



PHICARIA

ENCUENTROS INTERNACIONALES DEL MEDITERRÁNEO

I CONGRESO

SOBRE LA PRODUCCIÓN

EN LAS SOCIEDADES MEDITERRÁNEAS

LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Arqueología, historia y futuro de la dieta mediterránea

PHICARIA

Encuentros Internacionales del Mediterráneo.

I Congreso sobre la producción en las sociedades mediterráneas.

La producción de alimentos. Arqueología, historia y futuro de la dieta mediterránea.

© de los textos y las imágenes:

Sus autores.

© de esta edición:

Universidad Popular de Mazarrón.

Concejalía de Cultura.

COORDINACIÓN

José María López Ballesta.

COMITÉ CIENTÍFICO

Sebastián Ramallo Arcas.

María Milagros Ros Sala.

María del Carmen Berrocal Caparrós.

Jesús Bellón Aguilera.

Fernando Guil Cid.

Juan Francisco Belmar González.

PORTADA

Muher.

IMPRIME

I.G. Novoarte, S.L.

ISBN: 978-84-616--3667-9

Depósito Legal: MU-339-2013

Impreso en España / Printed in Spain

ÍNDICE

CULTIVOS Y RÍTMOS AGRARIOS: EL INICIO DE LA AGRICULTURA Y LA DOMESTICACIÓN DE LAS PLANTAS. Ramón Buxó Capdevilla	13
LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN LAS CIUDADES FENICIAS DEL SURESTE DE IBERIA. Carmen Ana Pardo Barrionuevo y José Luis López Castro	27
PASADO, PRESENTE Y FUTURO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS ORIENTADAS AL RIEGO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS: LA DESALACIÓN Y REUTILIZACIÓN COMO HERRAMIENTAS DE APOYO SOSTENIBLE AL CICLO DEL AGUA. Enrique Guardia Gómez	41
PRESENTE Y FUTURO DE LA DIETA MEDITERRÁNEA. Paula M. Perigo Bayonas	57
SABORES, MERCADOS E IDENTIDADES EN EL MEDITERRÁNEO. Jesús Contreras y Joan Ribas	71
NUTRICIÓN Y SALUD: DIETA SALUDABLE Y ALIMENTOS FUNCIONALES. Dr. Salvador Zamora Navarro y Dra. Francisca Pérez Llamas	81
LOS SILOS MEDIEVALES DEL YACIMIENTO DE "LOS VILLARES" (MURCIA). Jesús Bellón Aguilera y Benjamín Rubio Egea	101
LA DIETA AVÍCOLA EN EL SIGLO XV-XVI: CONSERVACIÓN Y CONSUMO DE AVES EN EL CASTILLO DE MONTSORIU (MONTSENY). Violeta Novella Dalmau y María Saña Seguí	109
PRODUCCIÓN Y CONSUMO CÁRNICO A INICIOS DEL NEOLÍTICO: ANIMALES DOMÉSTICOS EN EL POBLADO DE LA DRAGA (BANYOLES) (5300-5000 CAL BC). Vanessa Navarrete Belda y María Saña Seguí	119
LA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA EN EL MARRUECOS ANTIGUO: DE LA PRODUCCIÓN A LA DISTRIBUCIÓN. Mohamed El Mhassani	129
RITUALES Y COMENSALIDAD EN ÉPOCA CAMPANIFORME: LOS CASOS ITALIANOS DE PADRU JOSSU, SANLURI Y FOSSO CONICCHIO, VITERBO. Claudia Pau y Antonio Ruiz Parrondo	141
EL CONSUMO DE PESCADO Y MARISCO EN EL MUNDO FENICIO. Laura Moya Cobos	151
EL VALLE MEDIO DEL EBRO, ZONA DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE ALIMENTOS EN ÉPOCA ROMANA. Oihan Mendo Goñi	159
LAS ÁREAS DE ALMACENAMIENTO EN EL POBLADO IBÉRICO DE SANTA CATALINA DEL MONTE. LA ALBERCA DE LAS TORRES (MURCIA). Carlos Martínez Martínez y Noelia Labrador Pérez	169
EL TORCULARIUM BAJOIMPERIAL DE CADIMA. Oscar López Jiménez, Victoria Martínez Calvo y Francisco Llidó López	177
UN CENTRO COMERCIAL DEL s.IA.C. EN LA ALTA ANDALUCÍA, EL CERRO DE LA ATALAYA EN LA HIGUERA (JAÉN). Vicente Barba Colmenero y Alberto Fernández Ordoñez	181

**PASADO, PRESENTE Y FUTURO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE
AGUAS ORIENTADAS AL RIEGO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS:
LA DESALACIÓN Y REUTILIZACIÓN COMO HERRAMIENTAS
DE APOYO SOSTENIBLE AL CICLO DEL AGUA**

ENRIQUE GUARDIA GÓMEZ

PASADO, PRESENTE Y FUTURO EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS ORIENTADAS AL RIEGO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS: LA DESALACIÓN Y REUTILIZACIÓN COMO HERRAMIENTAS DE APOYO SOSTENIBLE AL CICLO DEL AGUA

ENRIQUE GUARDIA GÓMEZ

Síntesis del Autor:

La presente ponencia aborda el problema del déficit de recursos hídricos a nivel mundial, debido no solamente al incremento de la demanda y a las condiciones climatológicas adversas, sino también a una mayor necesidad de proteger y mantener los ecosistemas, lo que provoca una reducción de su disponibilidad. En este contexto, el 75 % del consumo de agua global está destinado al riego de cultivos agrícolas en sus distintas modalidades. Es por ello que tecnologías sostenibles como la reutilización o la desalación cobran hoy en día un peso fundamental y marcan las pautas de desarrollo del ciclo integral de gestión del agua en el futuro.

Haremos especial hincapié en la apuesta por la implantación de dichas tecnologías en la Región del Sureste Peninsular y la actual competitividad en materia económica y medioambiental en el marco agrícola respecto a otros usos convencionales del agua para riego.

Palabras clave:

Gestión del ciclo del agua, Desalación, Reutilización.

ÍNDICE

• **INTRODUCCIÓN: Gestión Integral del Ciclo del Agua.**

• BLOQUE I: Sistemas de Desalación

I) Introducción a la Desalación

II) Características básicas

III) Historia

IV) Esquema general de tratamiento

V) Sistemas de recuperación energética

• BLOQUE II: Sistemas de Reutilización

I) Introducción a la Reutilización de Aguas Residuales

II) Indicadores de calidad del agua

III) Legislación vigente

IV) Esquema General de tratamiento

• BLOQUE III: Análisis de Costes

I) Costes Económicos

II) Costes Medioambientales

III) Comparativa de costes

INTRODUCCIÓN:

Gestión Integral del Ciclo del Agua.

El ser humano desde que existe ha necesitado el agua para poder sobrevivir.

Por este principal motivo a lo largo del tiempo ha desarrollado su vida en torno a esta fuente mineral, desarrollando las técnicas de captación y suministro a lo largo de los siglos hasta llegar al punto a finales del s. XIX y por motivos de salubridad y medio ambientales de depurar las aguas residuales generadas por el hombre.

Este proceso antrópico de captación del agua y posterior devolución al medio natural es el denominado “Ciclo Integral del Agua”.

Pero para poder comprender el funcionamiento y gestión del Ciclo del agua es necesario previamente analizar los fenómenos asociados que generan el movimiento de las masas de agua en el medio natural: “El Ciclo Hidrológico”.

En el ciclo hidrológico, el agua en estado líquido se evapora de la superficie terrestre al recibir una fuente de calor externo proveniente de la radiación del sol (fase Evaporación). Las principales fuentes de evaporación son los océanos, lagos y ríos así como la evapo-transpiración de las plantas.

Posteriormente las masas de aire con presencia de vapor de agua se enfrían súbitamente provocando la condensación del agua y su paso a estado líquido (fase Condensación). Cuando las masas de aire se saturan descargan el agua y por efecto de la gravedad vuelve a parar a la corteza terrestre (fase de Precipitación), donde se distribuye de manera superficial infiltrándose en terrenos permeables y agrupándose por gravedad con otras masas de agua (fase de escorrentía), que continúan circulando hasta llegar al mar (fase de retorno), cerrándose de esta forma el ciclo hidrológico.

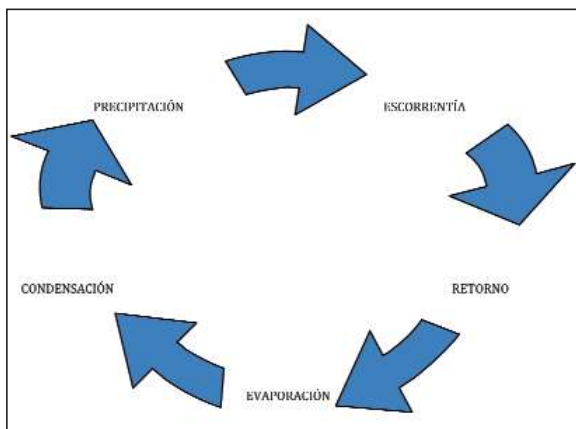


Gráfico 1: Etapas Ciclo Hidrológico (Fuente propia).

A continuación podemos observar de manera esquemática las etapas comentadas del ciclo hidrológico en el gráfico N°1.

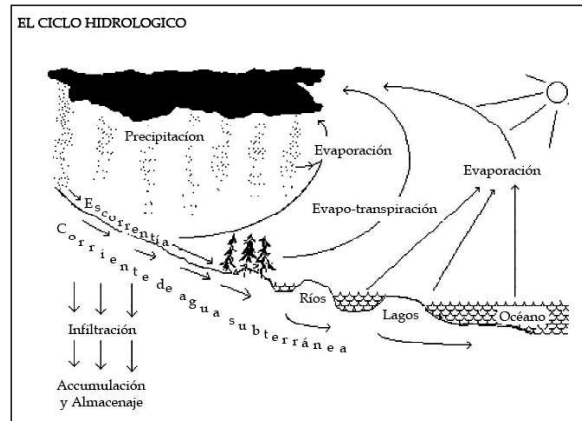


Ilustración 1: Ciclo Hidrológico (Fuente: International Center for Aquaculture, Auburn University, Alabama).

Este ciclo natural producido por la tierra, en el momento que el ser humano lo altera para su usufructo y necesidad, entra a formar parte de lo que hoy en día conocemos como Ciclo integral del Agua.

El Ciclo Integral del Agua es la expresión que define el recorrido hecho por el agua desde su captación en estado bruto en el medio natural por el ser humano hasta su disponibilidad potabilizada en nuestros hogares y, cerrándolo en sentido inverso, el que realiza para reintegrarse convenientemente depurada a la Naturaleza.

Como observamos la idea principio-fin (captación-retorno) del ciclo del agua es similar al del hidrológico, y la principal diferencia entre ambos es que el Ser humano se encarga de administrar, gestionar y preservar los recursos hídricos proporcionados por la naturaleza mediante diversas infraestructuras e instalaciones hidráulicas.

De esta forma podemos destacar tres subsistemas dentro del ciclo integral del agua:

1- Aportación del recurso hídrico: En esta fase no existe intervención humana, concentrándose todo el proceso en el denominado ciclo hidrológico. La producción hídrica por tanto será incierta y variable a lo largo del tiempo.

2- Fase de Abastecimiento: Engloba todas las etapas que transcurren desde la captación del agua, pasando por su tratamiento de potabilización correspondiente, almacenamiento y distribución mediante canalizaciones hidráulicas hasta el usuario final. En esta fase la gestión de los recursos por parte

del ser humano es fundamental para poder cubrir la demanda existente.

3- Fase de Saneamiento: Una vez aprovechado el recurso, el agua sobrante o utilizada es devuelta al medio natural no sin antes ser transportada mediante canalizaciones de saneamiento a estaciones depuradoras donde se tratarán previamente para obtener unas condiciones mínimas de calidad a efectos medioambientales.

Las etapas que forman parte del ciclo integral del agua se enumeran a continuación en el **gráfico N°2**:

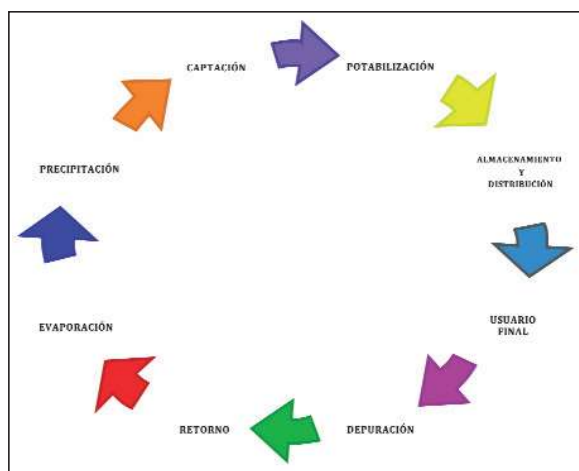


Gráfico 2: Ciclo de gestión integral del Agua (Fuente propia).

Gracias a la gestión integral del ciclo del agua, el ser humano puede disponer de este recurso en cualquier momento para los distintos usos que sean requeridos.

Pero los recursos hídricos existentes en la tierra son constantes. Si a ello le unimos que la población mundial sigue aumentando año tras año, lo que provoca un incremento de la demanda de agua para consumo, esto genera un estrés hídrico que se va acentuando cada vez más y más, convirtiendo al agua en un bien escaso.

Estudiando la distribución de recursos hídricos en el mundo (**gráfica N°3**) podemos observar como el 97% de los recursos se concentran en los mares y océanos (agua salada), mientras que únicamente el 3% corresponde agua dulce.

A su vez el agua dulce se descompone en un 68.7% en agua dulce de hielo y glaciares, un 30% en agua subterránea y un 0,3% en agua dulce superficial (lagos, ríos y pantanos).

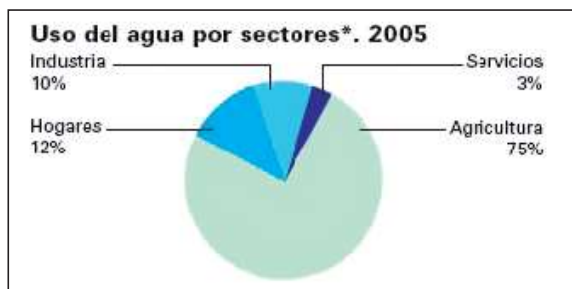


Gráfico 4: Distribución del agua por sectores (Fuente: MMA).

Observando estas estadísticas podemos obtener las siguientes conclusiones:

- El agua dulce superficial ocupa solo el 0,009% del total de agua del planeta.
- El agua dulce subterránea ocupa solo el 0,9% del total de agua del planeta.
- El ser humano por tanto dispone y aprovecha solo el 0.91% sobre el total de recursos hídricos existentes en el planeta.

Si a eso le unimos que la distribución de agua potable en la actualidad la concentra principalmente la agricultura con un 75% del total (**Gráfica N°4**), ocupando el agua para consumo humano únicamente un 15% (hogar y servicios), realmente solo destinamos un 0.136% sobre el total de recursos hídricos disponibles.

Por Tanto si realizamos un análisis de oferta-demanda del agua obtenemos los siguientes resultados:

- Reservas de agua: 1.386 Millones de Km³.
- Destinado a consumo (0,91%)=**12,61 Millones de Hm³**.

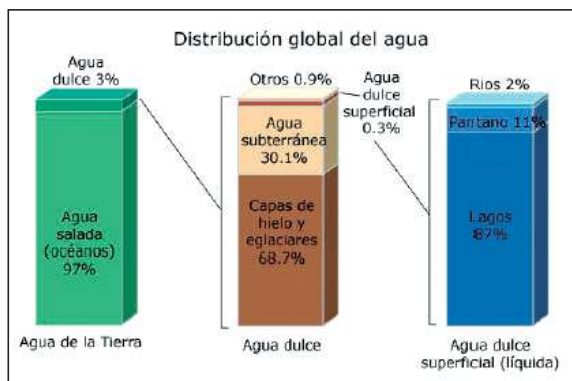


Gráfico 3: Distribución de recursos hídricos en el mundo (Fuente: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather)

- Población mundial en 2012=7.000 Millones de habitantes.
- Consumo medio per cápita según la OMS=660 m³/hab-año.
- Consumo total anual=4,62 millones HM³/año.

Consumimos el 35% de los recursos hídricos disponibles.

A este resultado hay que hacerle una serie de observaciones:

- Hay un gran % de agua subterránea que es inaccesible para el consumo humano debido a las dificultades de extracción que presentan y los niveles freáticos en los que se encuentran.
- El 50% de los recursos hídricos disponibles lo acaparan 6 países (Rusia, Canadá, EEUU, Brasil, China y la India), lo que genera un mayor desequilibrio en la balanza de distribución del agua.

Por tanto obtenemos que en la actualidad existen 26 países en el mundo con un déficit hídrico muy acentuado, lo que se traduce en más de 300 millones de habitantes que no tienen acceso al agua.

Llegados a este punto es cuando nos preguntamos como podemos conseguir parar el estrés hídrico al que se está viendo sometido el planeta a causa de la mayor necesidad de agua en nuestra vida diaria sabiendo que dicho estrés continuará acentuándose año tras año, tanto en los países desarrollados como subdesarrollados.

En este marco conceptual se desarrollan las tecnologías objeto de estudio del presente artículo.

Los sistemas de desalación y de reutilización de Aguas residuales persiguen aprovechar el agua que hasta hace pocos años se consideraba inaccesible para el consumo humano y en la actualidad se sitúan al frente de las tecnologías para obtención de agua.

Los sistemas de desalación surgen como sistemas nuevos y alternativos a los tradicionales para la captación de agua procedente del mar principalmente, explotando un recurso que supone el 97% del total de recursos hídricos (frente al 0,91% que aprovechamos únicamente), una fuente con un potencial ilimitado y una tecnología que puede integrarse en cualquier país con la única necesidad de disponer cerca de un mar u océano.

En cuanto a los sistemas de reutilización de aguas residuales, surgen en mayor medida en los países desarrollados, aprovechándose el agua residual depurada que en vez de devolverla al medio natural, se le aplica un tratamiento posterior para hacerla apta para diversos usos no consuntivos, como riego agrí-

cola o de campos de golf. De esta manera se consigue reaprovechar un agua que a priori no se tenía en cuenta en el propio ciclo hidrológico. Para poder desarrollar este tipo de tecnología es indispensable disponer de una estación de depuración de aguas residuales en perfecto estado de explotación.

A continuación desarrollaremos desde el punto de vista técnico ambos sistemas no convencionales de obtención de agua para consumo, así como su impacto socio económico y legislación aplicable en cada caso.

• BLOQUE I: Sistemas de Desalación.

I) Introducción a la Desalación.

La tecnología de la desalación nace bajo un doble problema existente en nuestra sociedad:

- Escasez de agua debido al estrés hídrico anteriormente expuesto.
- Recursos hídricos disponibles con niveles de calidad insuficientes para el consumo humano.

La definición de este tipo de tecnología desde el punto de vista ingenieril responde al proceso completo de separación de impurezas disueltas en agua salada para obtener agua pura.

El término “coloquial” usado a este tipo de tecnología y que venimos usando es la DESALACIÓN, aunque realmente si acudimos al diccionario de la real academia española (DRAE), la definición exacta de desalación es: “Quitar la sal a algo, como a la cecina, al pescado salado, etc”. Como observamos la expresión recogida es muy genérica y nada concisa para la terminología que estamos usando, mientras que el término técnico correcto será DESALINIZACIÓN, que tal como recoge el Drae: “Quitar la sal del agua del mar o de aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines”. Como se observa este término si recoge la esencia real del proceso tecnológico que estamos desarrollando en este artículo. La conclusión que podemos obtener de todo esto es que realmente los medios de comunicación transmiten mal la expresión correcta, hasta el punto que todo el mundo asocia el término coloquial desalación con este tipo de tecnología. Aunque resulte contraproducente a lo razonado, a efectos de no confundir al lector, la expresión a utilizar en el futuro desarrollo del artículo será la coloquial.

II) Características básicas.

Para poder llevar a cabo el proceso de desalación o desalinización es fundamental la necesidad de aportación de energía para poder llevar a cabo el proceso propio de separación. Sin este aporte es imposible se pueda producir agua pura a partir de agua salada.

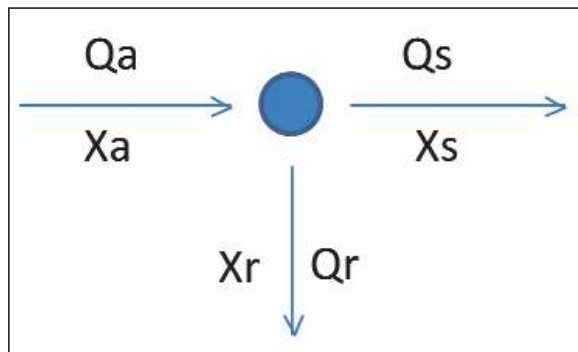


Ilustración 2: Balance materia Global Desalación (Fuente propia).

Otro punto importante será conocer el tipo de agua que se pretende desalar, puesto que en función de sus características físicas, químicas y microbiológicas podemos distinguir AGUAS SALOBRES o AGUAS DE MAR.

Otros parámetros básicos y muy importantes para el pre dimensionamiento de la planta serán:

- Factor de Recuperación (R): Expresa el rendimiento de desalación que tendrá la planta. Para aguas de mar suele rondar entre el 35-50%, mientras que para aguas salobres debido a su menor carga orgánica y mayor facilidad de separación su rendimiento será mayor, en torno al 70-80%.

- Factor de concentración (FC): Expresa el valor de concentración de la materia de rechazo, también denominada “salmuera”. Esta directamente relacionado con el factor de recuperación.

A partir de ambos términos podemos obtener el balance de materia global:

Siendo Qa el caudal de entrada a la planta desalación con una concentración Xa, y tras pasar por el proceso de separación se obtiene un caudal de salida Qs con una concentración Xs mínima y muy cercana a 0, y otro caudal de rechazo Qr con una concentración Xr muy elevada (Salmuera).

$$Qa/Qr = Xr/Xa = FC$$

A través de una serie de fórmulas y desarrollos obtenemos finalmente la relación existente entre rendimiento de la planta y factor de concentración:

FC =	1/R
	1/R -1

A continuación se expone un breve ejemplo de cálculo:

BALANCE MATERIA GLOBAL DESALACIÓN		
Caudal Entrada (Qa)	100	m3/h
Solución entrada (Xa)	1000	mg/L
Caudal Salida (Qs)	45	m3/h
Solución salida (Xs)	0	mg/L
Caudal rechazo (Qr)	55	m3/h
Solución rechazo (Xr)	1818,18	mg/L
Factor Recuperación (R)	45,00%	
Factor Concentración (FC)	1,82	

III) Historia

Sin entrar a desarrollar de sobre manera las evoluciones de esta tecnología en el tiempo, haremos especial hincapié en los principales hitos de la desalación en nuestro País, motivo por el cual ha hecho que estemos a la cabeza en la evolución tecnológica e innovación en los procesos de desalación.

El inicio del desarrollo de las tecnologías de desalación surge en las Islas Canarias debido al grave problema que tenían al no disponer de suficientes recursos hídricos para abastecer a su población, motivo por el cual tenían que venir en los años 60-70 barcos desde la península con agua potable. Ante este hecho se creó en 1964 en Lanzarote la primera planta de desalación, y durante los siguientes 30 años se fueron creando en el resto de islas plantas desaladoras. No será hasta 1993 cuando se instale la primera planta de Osmosis Inversa para agua de mar en la península, concretamente en Cabo de Gata (Almería). De esta forma durante los siguientes años hubo un fuerte desarrollo de la desalación en el Sureste peninsular (Almería, Murcia, costa levantina), produciendo un afianzamiento y maduración de esta tecnología lo que generó una reducción de costes en la ejecución de las propias plantas y sobre todo y más importante, en el €/m³ de producción de agua dulce.

Otro hito importante fue la construcción en 2005 de la planta desaladora de Carboneras (Almería), que con una producción de 120.000 m³/día se convirtió en la planta más grande de Europa.

En la actualidad España dispone de más de 700 desaladoras que producen un volumen de agua de 540 Hm³, y a través del programa estatal AGUA se pretende llegar a los 713 Hm³. Además nos hemos convertido en el país puntero a nivel europeo en el desarrollo de tecnología de Osmosis Inversa,

exportando conocimientos y patentes por el resto del mundo.

Un último apunte general que reseñar es que a nivel mundial, España ocupa en la actualidad el 5º puesto en volumen de agua desalada generada por detrás de los países árabes y estados unidos. El volumen anual generado en todo el mundo de agua desalada asciende a 10.220 Hm³, y su reparto en función de la tecnología de desalación utilizada es:

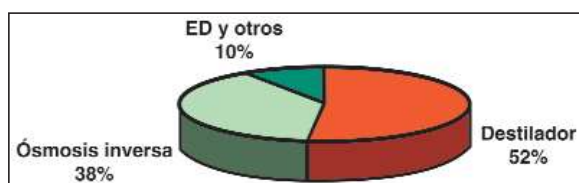


Ilustración 2: Balance materia Global Desalación (Fuente:Lenntech).

En la actualidad el desarrollo de la Ósmosis Inversa va ganando terreno de forma que en los próximos años se revierta el actual reparto y pase a la cabeza dicha tecnología.

IV) Esquema general de tratamiento

Una planta de desalación estará obligatoriamente compuesta por las siguientes partes:

- A) Sistema de captación.
- B) Pretratamiento físico-químico.
- C) Proceso principal de DESALACIÓN.
- D) Post tratamiento.

A continuación desarrollamos brevemente cada uno de los apartados de manera individual para poder entender de esta forma todo el proceso en si:

A) Sistema de captación.

Habrán distintos sistemas en función del agua a captar. Como vimos anteriormente habrá aguas salobres o de mar, y la captación podrá ser superficial o mediante pozos.

B) Pre-tratamiento.

Este sistema es obligatorio en cualquier proceso de desalación, y la elección del sistema dependerá principalmente de:

- Características de el agua a desalar.
- Sistema de desalinización elegido.

Los parámetros básicos a evaluar serán la turbidez y el recuento de clorofilas.

Las principales etapas/procesos suelen ser:

- Neutralización química
- Coagulación-Floculación
- Decantación
- Filtración granular/tamizado
- Filtro seguridad (cartuchos)
- MF/UF (en caso necesario)

Un ejemplo representativo de un sistema de pre tratamiento para aguas de mar con sistema de captación mediante pozos será el de la planta desaladora de Carboneras (Almería), donde las etapas de pre tratamiento antes de la entrada a la fase principal de desalación eran:

- Desarenado por decantación
- Adición de reactivos (floculante, biocida, regulador de PH)
- Filtrado sobre lecho de arena
- Filtrado secundario (20 micras)
- Ósmosis Inversa
- Posttratamiento según destino final.



Ilustración 3-4: Planta desaladora de Carboneras (Almería). Pretratamiento y Ubicación (Fuente: Acuamed)

C) Proceso de DESALACIÓN

Esta es la fase principal de la planta, en la cual se realiza mediante aporte de energía la separación de las impurezas del agua para obtener a su salida del proceso agua pura y una salmuera de rechazo a eliminar. Por ello en función del tipo de energía a utilizar distinguimos varios sistemas de desalación:

- Desalación por **DESTILACIÓN** (mediante Energía TERMICA).

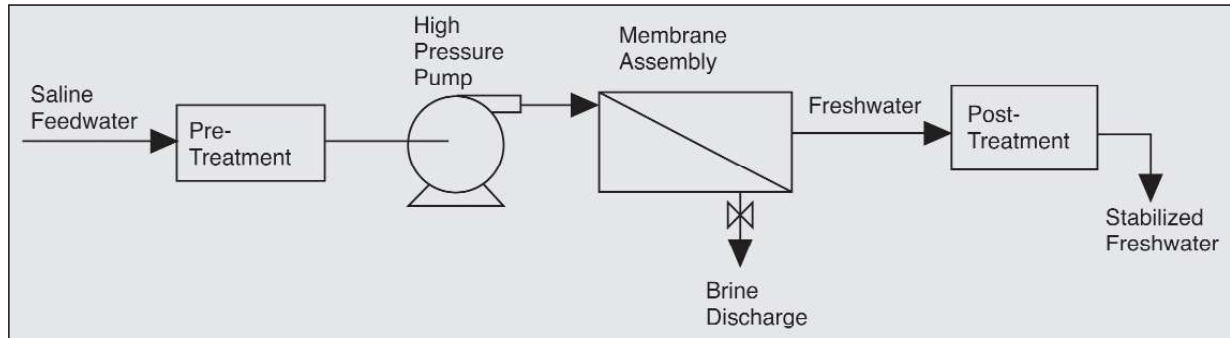


Gráfico 5: Reparto tecnologías desalación (Fuente: Medina, 2000).

- Desalación por **CRISTALIZACIÓN** (mediante energía **TERMICA**).
- **OSMOSIS INVERSA** (mediante energía **MECÁNICA**).
- **ELECTRODIÁLISIS** (mediante energía **ELECTRICA**).
- **INTERCAMBIO IÓNICO y EXTRACCIÓN** (mediante energía **QUÍMICA**).

Desarrollaremos brevemente cada una de las tecnologías y haremos especial hincapié en la Osmosis Inversa ya que es la tecnología con mayor asentamiento en nuestro País.

1- DESTILACIÓN:

Los procesos de destilación se caracterizan por la evaporación del agua salada mediante incremento de la T^a del agua para una posterior condensación consiguiendo así la deseada separación del agua y las impurezas en forma de salmuera. Tiene como inconveniente el alto consumo energético requerido para poder realizar el proceso de forma efectiva.



Gráfico 6: Esquema funcionamiento planta destilación (Fuente: Begoña Moreno Escobar, UGR)

Existen diversos procesos de destilación que a continuación enumeramos y que se diferencian en función del número de etapas, presión y T^a de trabajo:

1. SÚBITA MULTIETAPA (Multi Stage Flash)
2. MULTIEFECTO (Multi Effect Distillation)
3. COMPRESIÓN DE VAPOR (Vacuum Compression)
4. SOLAR

2- CRISTALIZACIÓN

Esta técnica, poco extendida, realiza la pulverización del Agua de mar en una cámara refrigerada y a baja presión, consiguiendo de esta forma la cristalización del agua pura y la separación de la salmuera. Al contrario que en la destilación se utiliza el descenso del agua para llevar a cabo el proceso de desalación.

3- OSMOSIS INVERSA

Para poder entender el funcionamiento de este tipo de tecnología, previamente hay que definir qué es la Osmosis.

La ósmosis es un fenómeno físico por el cual una solución diluida al entrar en contacto con una membrana semipermeable tiende a pasar al otro lado donde se encuentra una solución más concentrada, de forma que sin gasto de energía se equilibran la concentración de soluto de ambos lados. Este fenómeno sucede por ejemplo en el metabolismo celular de los seres vivos.

¿Pero que pasa si nuestro objetivo es el contrario? Si pretendemos en un lado obtener un soluto muy concentrado que ocupe el menor volumen posible y en el otro obtener la máxima solución posible con una concentración casi nula. Este proceso es el que denominaremos Ósmosis Inversa

(O.I) y para llevar a cabo este “equilibrio forzado” se requerirá del aporte de energía en forma de presión de forma que consigamos superar la presión osmótica, y de esa manera el flujo de agua irá en sentido contrario al del proceso de ósmosis normal.

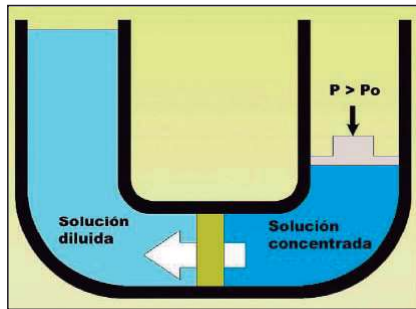


Ilustración 5: Proceso Ósmosis Inversa (Fuente:UGR).

Por tanto para diseñar este tipo de tecnología será muy importante seleccionar previamente en función de las características del agua a desalar que obtengamos del proceso previo de pre tratamiento el tipo de membrana que realizará el proceso de O.I así como la presión de trabajo requerida y la configuración de membranas a seleccionar para obtener el máximo rendimiento de esta tecnología.

En cuanto a la configuración de las membranas, destacamos la siguiente clasificación:

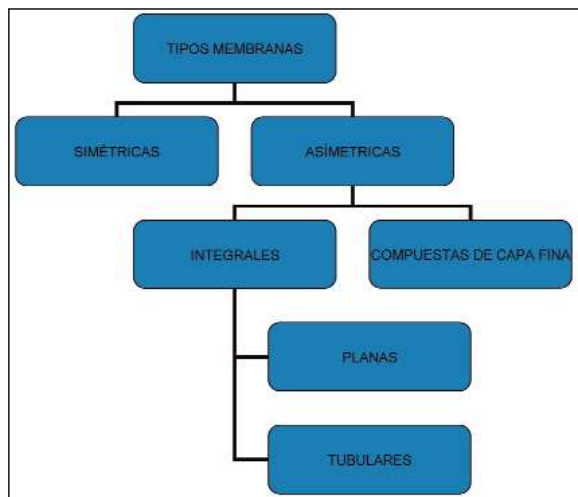


Gráfico 7: Clasificación membranas de O.I (Fuente propia).

Las más utilizadas en el mercado son las membranas asimétricas integrales, ya sean planas o tubulares.

Por otro lado según la presión de trabajo requerida podemos destacar la siguiente clasificación en función nuevamente al agua a desalar (conductividad del agua):

- Muy baja presión: 5-10 bares/Salinidad 500-1.500 mg/L.
- Baja presión: 10-20 bares/Salinidad 1.500-4.000 mg/L
- ◊REUTILIZACIÓN.
- Media presión: 20-40 bares/Salinidad 4.000-10.000 mg/L
- ◊AGUAS SALOBRES.
- Alta Presión: 50-80 bares/Salinidad > 15.000 mg/L
- ◊AGUA DE MAR.

Por último el módulo de O.I (Unidad de operación en la que se disponen las membranas para su utilización, y que está formado por la propia membrana, la carcasa, los puntos de entrada y salida de la concentración así como el punto de extracción de permeado), tiene una clasificación concreta según su montaje y la configuración de sus etapas (serie/paralelo):

- Placa y Bastidor
- Arrollamiento en espiral
- Tubular
- Fibra Hueca

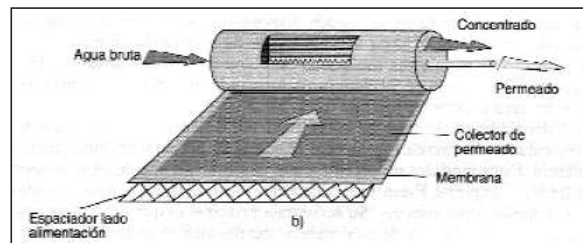


Ilustración 6: Ejemplo de módulo de O.I con sistema de arrollamiento en espiral. (Fuente: J.Manuel Poyatos, UGR).



Ilustración 7: Módulos de O.I en Desaladora de Carboneras, Almería. (Fuente: Acuamed).

Destacar finalmente la importancia de tener una limpieza periódica y permanente de las membranas de O.I ya que son las encargadas de realizar el proceso de desalación, y un ensuciamiento generará importantes disminuciones del rendimiento de la central.

4- ELECTRODIALISIS

Mediante aporte de energía eléctrica se consigue la migración de Iones hacia los electrodos atravesando una serie de membranas y así conseguimos retener selectivamente las sales disueltas en el agua.



Ilustración 8-9: Descripción funcionamiento Tecnología Electrodialisis-Planta tipo EDR, Llobregat (Fuente: Aguas del LLOBREGAT).

5- INTERCAMBIO IÓNICO Y EXTRACCIÓN

Ambos procesos son experimentales y en vías de desarrollo.

La tecnología de intercambio iónico se realiza mediante unas resinas sólidas insolubles que intercambian iones con la solución salina. Son muy Competitivas para concentraciones < 500 mg/L, pero tienen el principal inconveniente en que generan doble sales.

Mediante la tecnología de extracción se extraen las sales mediante disolventes (Trietilamina).

D) POST-TRATAMIENTO

El agua una vez desalada sale con unos parámetros no aptos aun para riego o consumo humano. Por este motivo es necesario readaptar esta agua mediante una serie de procesos para que sea apta para consumo tal y como marca el R.D 140/2003 y O.M.S:

- 6,5<pH<9,5
- TDS < 1.500 ppm.
- Dureza > 50 ppm como CO₃Ca
- Alcalinidad > 50 ppm. como CO₃Ca

Por ello los objetivos principales que tratará de resolver estos procesos de post tratamiento serán la neutralización química

(reducción de la agresividad del agua) y la mejora de la dureza mediante el aporte de Ca y Mg.

Los costes de esta etapa son despreciables en el conjunto global de explotación de la planta y el espacio ocupado es mínimo.

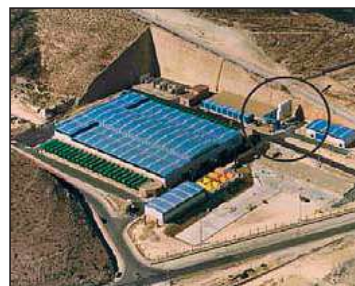


Ilustración 10: Espacio ocupado por el post-tratamiento dentro de una planta de Desalación (Fuente propia).

Dentro de las técnicas de post tratamiento para desalación, vamos a realizar una mención especial para la adecuación de aguas desaladas para RIEGO AGRÍCOLA, ya que en la zona del Sureste peninsular (Almería y Murcia principalmente), debido al estrés hídrico imperante muchas comunidades de regantes utilizan este tipo de aguas, que tienen un tipo de tratamiento especial debido a las características exclusivas de sus suelos.

El agua osmotizada tiene gran presencia de Na y casi desprovistas de Ca y Mg. Partiendo de esta premisa es importante tener en cuenta dos factores para adecuar un agua para riego agrícola: Su contenido en sodio y su dureza. Controlando estos dos parámetros y obteniendo un SAR (Índice de peligrosidad del sodio para suelos y cultivos) bajo, alargaremos la vida útil de nuestros suelos y cultivos.

Otras importantes recomendaciones para el riego con agua osmotizada serán:

- Además del postratamiento con carbonato cálcico se recomiendan enmiendas anuales con CaSO₄ para evitar la sodificación de los suelos.
- Se recomienda analizar la evolución de los suelos con análisis completos al menos una vez al año.
- Para evitar los problemas de toxicidad de boro y cloro se recomienda:
 - a) regar un 10% por encima de la ET del cultivo,
 - b) reducir la evaporación del suelo con alguna cobertura,
 - c) evitar los cultivos sensibles,

d) emplear preferiblemente riego por goteo.

- Para evitar carencias, aportar micro elementos, en especial Fe, Zn y Mn sobre todo en suelos poco fértiles.

V) Sistemas de recuperación energética

Uno de los principales problemas que genera la utilización de las plantas de desalación de Osmosis Inversa y que puede no hacer atractiva su aplicación son los elevados costes energéticos requeridos para poder realizar el proceso en sí. Por este motivo es fundamental aplicar sistemas de recuperación energética para abaratar costes. Si distinguen 3 tipos de recuperadores energéticos, que a continuación se describen brevemente:

- Bomba Invertida: Se trata de bombas centrífugas con sentido invertido que obtienen una recuperación energética del 30%.

- Turbina Pelton: La presión de rechazo pasa por la turbina convirtiéndose en E. Cinética reaprovechable. Recuperación energética 37%.

- Cámaras de intercambio de presión: Se trata de cámaras donde entra el agua de mar a baja presión, y una vez llena la cámara por el lado opuesto penetra la salmuera a alta presión empujando al agua de mar a salir por otro conducto a alta presión, y consiguiendo así recuperar la energía de rechazo. Permiten recuperaciones energéticas del 50%.



Ilustración 11: Cámara de intercambio de presión (Fuente: RO Kinetics).

• BLOQUE II: Sistemas de Reutilización

I) Introducción a la Reutilización de Aguas Residuales.

Los tratamientos terciarios o de reutilización se enmarcan dentro de los procesos posteriores a la depuración de aguas

residuales y son complementarios a ellos. Nacen con la necesidad de cubrir esa demanda de agua para riego principalmente y otros usos (riego zonas verdes y baldeo de calles, industrial, campos de golf, recarga de acuíferos,...) que existen en el mundo utilizando un agua depurada con un gran potencial y sin aprovechamiento específico previo.

La configuración de estos sistemas de reutilización dependerá principalmente de las características del agua regenerada y de la calidad requerida para el efluente de uso. Por estos dos motivos será fundamental realizar previamente a la elección del sistema un análisis exhaustivo de la calidad del agua.

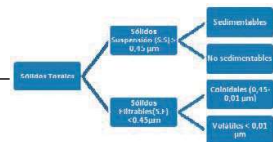
Hay que tener en cuenta la legislación vigente en materia de aguas residuales (Directiva 91/271 CEE) y los condicionantes para reutilización de aguas residuales (R.D 1620/2007).

II) Indicadores de calidad del agua

Existen diversos indicadores que marca la calidad del agua y en los cuales hay que estar dentro de unos umbrales para poder considerar el agua como apta para los posibles usos. Clasificaremos estos indicadores según sean parámetros físicos, químicos o biológicos:

• Físicos

- Sólidos en suspensión



- Turbidez: Ud Nefelométricas (NTU).

- Caract Organolépticas: Olor, color, sabor.

- Temperatura: afecta solubilidad y procesos biológicos.

- Conductividad: evaluador uso agua para riego.

• Químicos

- Ph: Agresiva/incrustante

- Dureza: (Mg y Ca) Indicador calidad del agua.

- Oxígeno disuelto: DBO5 / DQO

- Índice Biodegradabilidad: Relación DQO/DBO

- Materia Orgánica: COT

- Nutrientes: N y P. Eutrofización.

- Metales pesados: Contaminación suelos.

• Biológicos

- Indicadores Biológicos: Bacterias Coliformes (E. Coli) y Huevos Nematodo

III) Legislación vigente

Los parámetros mínimos de vertido para Aguas Depuradas permitidos por ley (Directiva 91/271):

Parámetro	Concentración	% eliminación
DBO ₅	25 mg O ₂ /l	70 - 90
DQO	125 mg O ₂ /l	75
SS	35 mg /l ₂	90
	> 10.000 h-cq 60 mg /l > 10.000 h-cq	70

Tabla 1: Parámetros min vertido (Fuente: Directiva 91/271).

En cuanto a los valores máximos admisibles en aguas reutilizadas según normativa (R.D 1620/2007), por ejemplo para riego agrícola, encontramos la siguiente tabla que recoge algunos de los parámetros antes descritos en el apartado anterior:

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
2- USOS AGRÍCOLAS ¹				
CALIDAD 2. ¹ a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a clases con los siguientes valores n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT

Tabla 2: Calidad del agua requerida para reutilización agrícola (Fuente: R.D 1620/2007).

Es más que evidente el gran potencial que tiene los tratamientos de reutilización en España. El 90% aproximadamente va destinado a riego, siendo los otros usos minoritarios, motivo por el cual nos centramos más en su desarrollo.

En las siguientes tablas obtenidas del INE en el año 2009 podemos observar varios datos reveladores:

Unidades: Hectómetros cúbicos/año (INE 2009)

	Volumen de aguas residuales tratadas	Volumen total de agua reutilizada	% total reutilizada
España	4.672,36	534,46	11,44 %
Andalucía	571,85	119,32	20,86 %
Murcia	110,71	93,90	84,81 %

Tabla 3: Recogida y tratamiento de las aguas residuales por comunidades y ciudades autónomas. (Fuente: INE 2009).

Unidades: Hectómetros cúbicos/año (INE 2009)

	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Otros recursos hídricos	TOTAL	% total reutiliz.-desal.
España	14.647,64	3.875,66	228,16	18.751,47	1,22 %
Andalucía	3.354,05	788,10	19,75	4.171,90	0,17 %
Murcia	175,53	329,12	66,46	570,10	11,48 %

Tabla 4: Disponibilidad de agua para riego por tipo de recurso y comunidad autónoma (Fuente: INE 2009).

En España solo se reutiliza un 11,4% del total de agua depurada, El total disponible asciende a 4.672 Hm³, número superior a los 3.875 Hm³ disponibles que hay en reservas de agua subterránea (acuíferos), y sabiendo que el 75% del consumo de agua se deriva a la agricultura podemos concluir que reutilizando el 90-100% de las aguas depuradas podríamos permitir no utilizar las reservas de agua subterránea existentes, colaborando de esa forma con el desarrollo sostenible medioambiental.

IV) Esquema General de tratamiento

Una vez vista la normativa actual en materia de reutilización así como sus principales indicadores de calidad, nos centraremos a continuación en el propio proceso de reutilización, describiendo todas las etapas que lo componen, que son las siguientes:



Gráfico 8: Esquema general de tratamiento Terciario (Fuente: PROPIA).

A) TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO:

Se trata del pretratamiento del sistema de reutilización. Su objetivo principal es la eliminación de coloides para así mejorar el color, la turbidez y reducir la materia orgánica. Las etapas que lo suelen componer son:

- *Depósito Regulación:* homogeneiza el efluente.
- *Neutralización química:* Reajusta el pH.
- *Coagulación:* Desestabiliza las partículas coloidales.
- *Floculación:* Forma flóculos de mayor tamaño a partir de las partículas coloidales desestabilizadas previamente.
- *Decantación:* Separa por gravedad las partículas floculentas.

B) MACROFILTRACIÓN

Esta etapa tiene como objetivo retener los sólidos en suspensión filtrables. Los tipos de filtros serán:

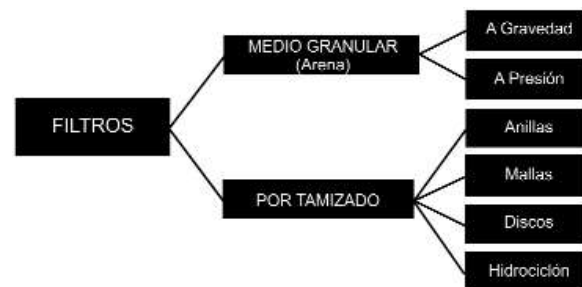


Gráfico 9: Clasificación tipos filtros mercado (Fuente: PROPIA).

C) TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA

Las tecnologías de membrana no son otra cosa que sistemas avanzados para la separación de aquellas sustancias del agua que por su tamaño no son retenidas en la etapa de filtración, pero que han de ser eliminada para poder cumplir con los parámetros mínimos de calidad del agua reutilizada destinada para cualquier consumo. Debido a su vez al gran desarrollo y comercialización en los últimos años de este tipo de tecnologías, se ha conseguido abaratar los costes de ejecución, lo que ha provocado una mayor implantación y penetración en los tratamientos terciarios actuales.

Los principales sistemas existentes se clasifican según el tamaño de paso de la membrana y son:

- **Micro Filtración**
- **Ultra Filtración**
- **Nano Filtración**
- **Osmosis Inversa**
- **Electrodialísis**

En la siguiente gráfica observamos el tamaño de paso de cada una de las distintas membranas y los elementos que consiguen retener:

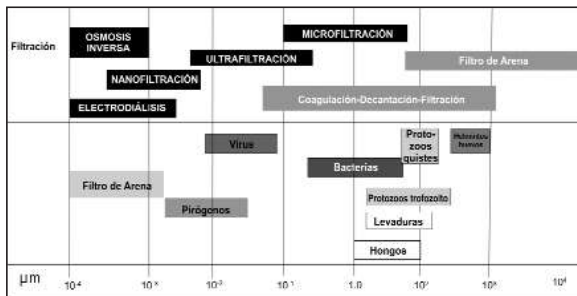


Ilustración 12: Tamaños de paso de las tecnologías de membrana (Fuente: UGR).

Las principales características (presión trabajo, tamaño poro y sólidos retenidos) de los distintos sistemas de membranas existentes se pueden ver en la siguiente gráfica:

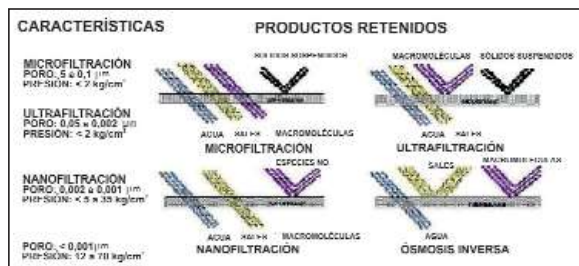


Ilustración 13: Características de las distintas tecnologías de membrana (Fuente: UGR).

Podemos concluir que la tecnología con mayor capacidad de retención será la Osmosis Inversa, pero también será la tecnología con mayor coste de implantación y mantenimiento, mientras que la microfiltración, tecnología muy madura y asentada, será más económica pero con menor capacidad de filtración. La aplicación de este tipo de tecnologías para los tratamientos de reutilización se hace casi básica, y será muy importante elegir la tecnología más correcta para poder obtener en el momento de explotación una calidad de agua acorde al uso que se le pretenda dar.

D) DESINFECCIÓN

Los tratamientos de desinfección son de vital importancia para la eliminación de organismos como bacterias, conformes,... en concreto distinguimos 4 tratamientos de desinfección principalmente:

- **Cloración:** Es el método más efectivo y económico. Se utiliza algún derivado del cloro y tiene como principal inconveniente la formación de subproductos y la afección del cloro residual en los cultivos.

- **Radiación ULTRAVIOLETA:** Método que no genera subproductos, requiere poco espacio para su instalación.

- **Ozonización:** Generación in situ de Ozono (O₃), el cual tiene mayor poder oxidante y desinfectante que el cloro pero genera bromatos y tiene un elevado coste energético.

- **Procesos de Oxidación Avanzada:** Procesos recomendados en presencia de Materia orgánica NO Biodegradable. Son sistemas caros y muy sensibles a la variación de Ph.

• BLOQUE III: Análisis de Costes

A continuación analizamos todos los costes asociados a la desalación, que se pueden resumir tal y como viene en el siguiente esquema:

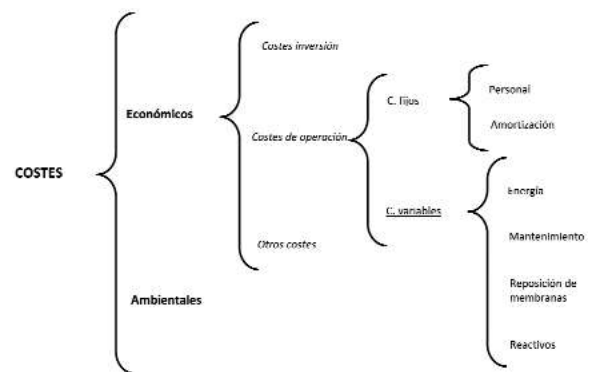


Ilustración 14: Clasificación de los costes de la desalación (Fuente: PROPIA)

A) COSTES ECONÓMICOS

La distribución de costes económicos responde a la siguiente gráfica:

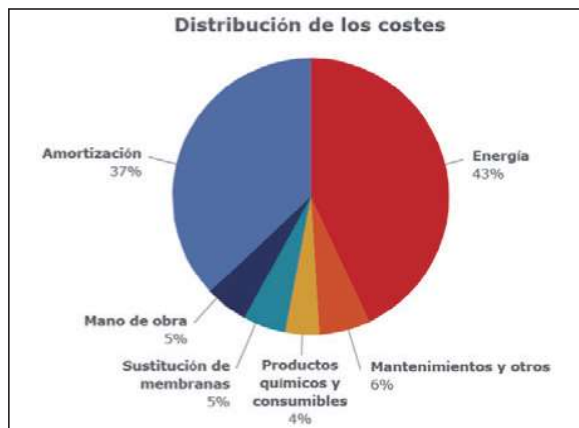


Gráfico 10: Distribución costes implantación planta desaladora (Fuente: M.M.A).

En cuanto a los costes de inversión, hay que reseñar que suelen suponer un 43 % del total. Variarán según el tipo de proceso de desalación seleccionado, pero principalmente dependen del tamaño, de la planta, ya que a mayor tamaño de la planta, menor coste de inversión asociado al m³ de agua producida. Para que nos podamos hacer una idea, el 60% del coste de inversión suele ser destinado a los equipos mecánicos y membranas. Para hacernos una idea, según el tamaño y proceso seleccionado, esta será la repercusión económica en la producción final:

Ósmosis inversa	De 15000 m ³ /día	1200 €/m ³
Ósmosis inversa	De 25000 m ³ /día	900 €/m ³
Destilación	De 15000 m ³ /día	1390 €/m ³
Destilación	De 25000 m ³ /día	1200 €/m ³

Tabla 5: Repercusión económica en la ejecución de una planta desaladora (Fuente: PROPIA).

A partir de los 30.000 m³/día de producción, la repercusión sobre el coste €/m³ producido de por la amortización se estabiliza en torno a 12 €/m³. Así mismo la vida útil de los distintos elementos que forman la planta de desalación es la siguiente:

- Obra civil ◊ 20 años.
- Equipos mecánicos y eléctricos ◊ 12-15 años.
- Membranas ◊ 8-10 años.

Otro coste fijo importante y a tener en cuenta será el de personal o mano de obra. Los costes variarán principalmente en función del tamaño de planta y la cualificación de sus em-

pleados. En la siguiente tabla se resume un poco la repercusión obtenida:

Tamaño de instalaciones	Coste de personal
Pequeñas	0,09 - 0,12 €/m ³
Medianas	0,04 - 0,07 €/m ³
Grandes	0,02 - 0,04 €/m ³

Tabla 6: Costes de personal según el tamaño de la planta (Fuente: PROPIA).

En cuanto a los costes energéticos, estos serán variables en función de la demanda y producción de la planta. Suponen en torno a un 30-60% de los costes totales de la planta. A mayor salinidad del agua de entrada en la planta, mayor coste energético se requerirá para poder desalar el agua. Este era el principal problema que en torno a los años 90 no hacía atractiva el agua desalada, ya que generar un m³ suponía una aportación energética muy importante. Pero en los últimos años y gracias a la mejora de las tecnologías y a los sistemas de recuperación energética el consumo energético ha estado bajando hasta estabilizarse por debajo de lo 4 Kwh/m³.

Otros costes variables a destacar serán:

- Productos químicos: tanto para los procesos de pre tratamiento como post tratamiento. Suponen una ínfima repercusión sobre el total.
- Mantenimiento: varían según la tecnología de desalación aplicada, siendo la ósmosis inversa la más cara debido a los continuos lavados requeridos para mantener las membranas en buen estado (0.015-0.021 €/m³).
- Reposición de membranas: En las de O.I. la vida útil ronda los 3-5 años.
- Otros costes: Distribución de agua, administrativos, canon de vertido,...

B) COSTES AMBIENTALES

Aunque la desalación colabore con el desarrollo sostenible hídrico, no quita que los residuos producidos (salmuera y otros subproductos del pre tratamiento) tengan un impacto medio ambiental importante y que ha de ser controlado. Estos impactos son los siguientes:

- Ubicación: Las plantas de desalación requieren de un importante espacio para su instalación. A su vez necesitan estar cerca de la costa para disminuir los costes de captación y estar cerca de las fuentes. El problema surge en que las zonas costeras están saturadas y poner una planta de este tipo influye en el negativamente en el turismo.
- Vertidos: La salmuera de rechazo así como otros subproductos de limpieza han de ser vertidos directamente al mar mediante largos y costosos emisarios, y que igualmente afectan a la flora y fauna del lugar.

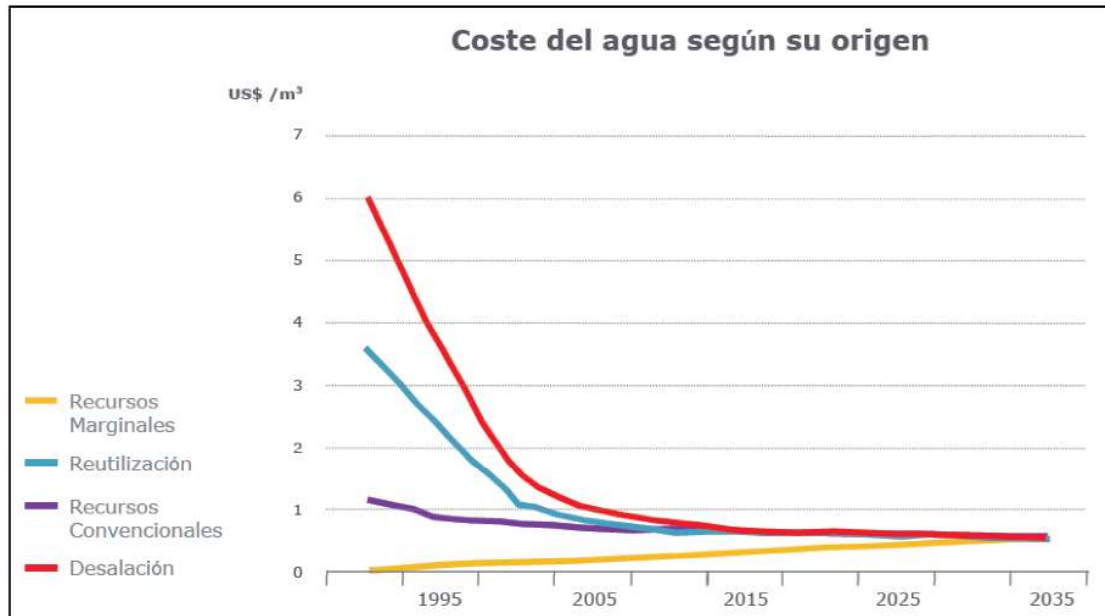


Gráfico 11: Costes del agua según su origen (Fuente: Internet).

- Energía y emisiones: Las plantas de desalación tienen un alto consumo energético, por lo que se debería abogar por la mayor utilización de fuentes de energía de origen renovable.

C) COMPARATIVA COSTES

Para concluir podemos observar una tabla con la evolución de costes del agua desalada en los últimos 15 años, donde se observa como se ha reducido a más de la mitad el coste de producción del m³ de agua desalada.

COSTES DEL AGUA DESALADA (Agua de mar)					
1. BASES DE CALCULO		1995	2002	2004	2010
Coste de inversión	€ m ³ y día	830	610	600	590
Periodo de amortización	años	15	15	15	15
Interés	%	10	4	4	4
Consumo específico	kw/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
2. COSTES AGUA DESALADA					
Energía eléctrica	€ m ³	0,408	0,196	0,176	0,139
Personal	€ m ³	0,038	0,038	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	0,016	0,018	0,016	0,014
TOTAL EXPLOTACIÓN		0,516	0,302	0,270	0,232
AMORTIZACIÓN		0,337	0,170	0,168	0,165
COSTE TOTAL	€ m ³	0,853	0,472	0,438	0,397

Tabla 7: Evolución de Costes del agua desalada (Fuente: UGR).

Así mismo en la siguiente gráfica podemos observar la evolución futura en los próximos 10-20 años que se prevé tengan tanto las tecnologías de desalación como de reutilización, de forma que se sus costes de producción se sigan reduciendo de forma significativa hasta igualarse con el coste de obtención de los actuales recursos hídricos convencionales.

Estas dos tecnologías desarrolladas en el presente artículo no son el futuro, son el presente. Los números empiezan a demostrarlo, y es de vital importancia para el desarrollo hídrico sostenible mundial que los países sigan apostando con fuerza en el desarrollo e implantación de estas tecnologías así como en la investigación de nuevas tecnologías que sigan abaratando costes para hacerlas competitivas contra la captación convencional.

La concienciación social está cambiando, ya todo el mundo sabe que el cambio climático es una realidad, pero no solo afecta al campo de las energías, sino que también hay que velar por la estabilidad del ciclo integral del agua, aprovechando estas nuevas fuentes que disponemos de manera ilimitada como son el agua de mar y las aguas regeneradas.

Espero y deseo que con este artículo haya colaborado a comprender un poco mejor la importancia actual y el papel futuro que tendrán estas tecnologías de la desalinización y reutilización en la gestión sostenible del ciclo integral del agua, así como su funcionamiento y repercusión.