

***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

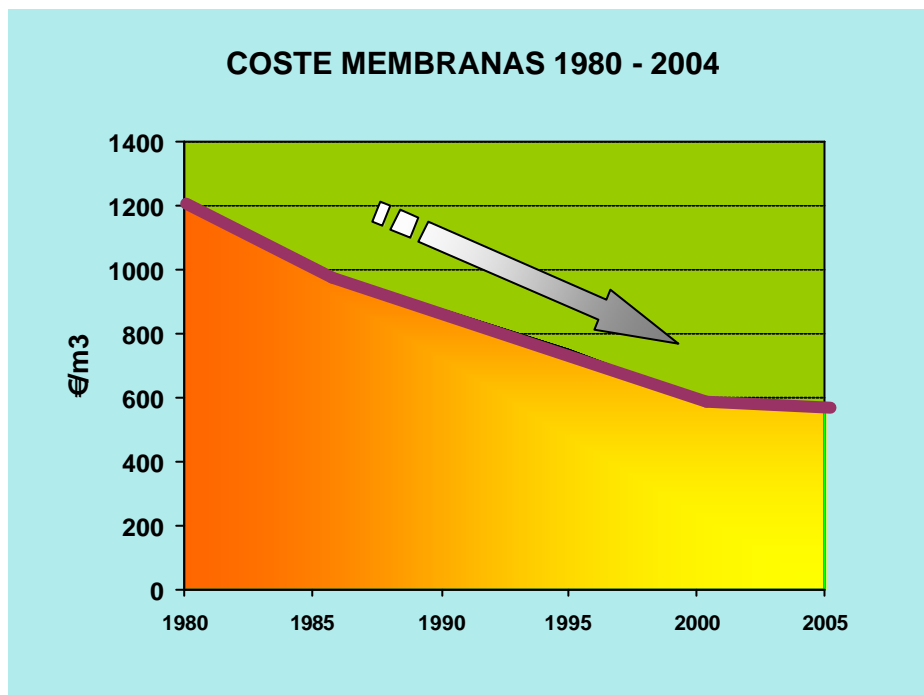
REGIÓN	INVERSIÓN 2005-2015 Millon \$			OPERACIÓN Millon \$
	Membranas	Térmico	TOTAL	(2015)
Americas	3650	90	3750	840
Asia	2110	100	2210	430
Mediterráneo	6120	2790	8930	1770
Gulf& Red sea	5050	9780	14830	3410
TOTAL	16940	12760	29720	6450

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.

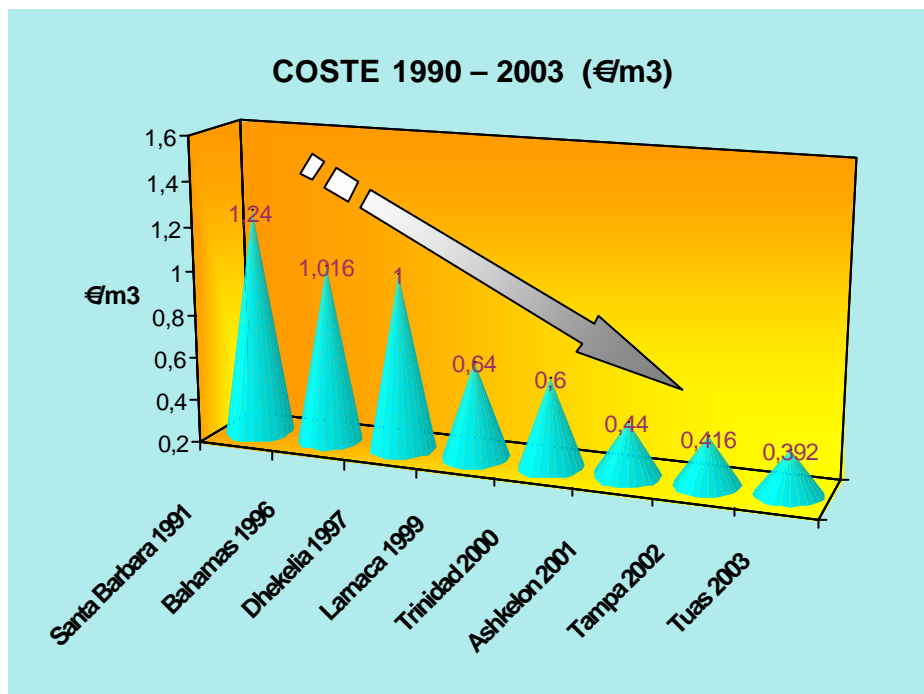
Costes totales

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.

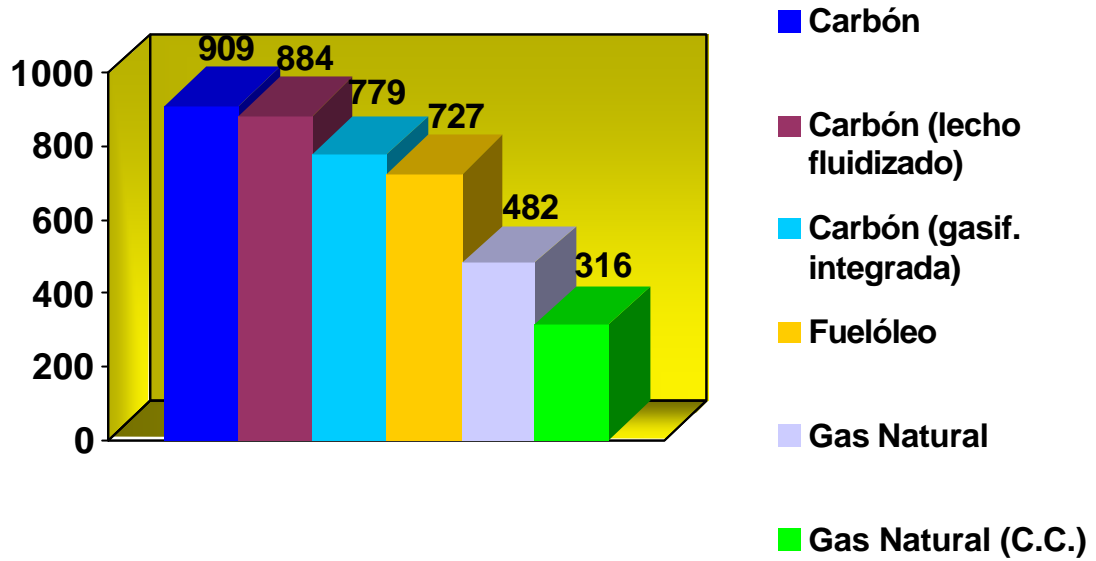
Los resultados de aquel estudio determinaron la escasa tolerancia de la Posidonia a los vertidos hipersalinos, así como la recomendación de ubicar las instalaciones de desalación en zonas de ausencia de la fanerógama o en su defecto asegurar una dilución previa mediante el empleo de difusores especiales.



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.