

FUNDACIÓN 1 DE MAYO

Informes

111 · ENERO 2015



**LA DESALACIÓN MEDIANTE
ENERGÍA SOLAR COMO FUENTE DE
RECURSOS HÍDRICOS**

WWW.1MAYO.CCOO.ES

LA DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA SOLAR COMO FUENTE DE RECURSOS HÍDRICOS

FUNDACIÓN 1º DE MAYO
C/ Longares, 6. 28022 Madrid
Tel.: 91 364 06 01
1mayo@1mayo.ccoo.es
www.1mayo.ccoo.es

COLECCIÓN INFORMES, NÚM: 111
ISSN: 1989-4473

© Madrid, Enero 2015

LA DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA SOLAR COMO FUENTE DE RECURSOS HÍDRICOS

**MERCEDES DE LUIS LÓPEZ
MARÍA ANGELES GÓMEZ BENÍTEZ**

**TRABAJO DIRIGIDO POR:
BRUNO ESTRADA
DIRECTOR DE ESTUDIOS DE LA FUNDACIÓN 1º DE MAYO**

Si algún día conseguimos obtener agua dulce del agua salada de forma competitiva y barata (...) ello empujaría cualquier logro científico

John Kennedy (1961)

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. La evolución de la desalación	6
a. Historia de las desaladoras	6
b. La desalinización en el mundo	7
c. Líderes en el mercado	9
d. El caso particular español	10
3. Costes en el proceso desalador	14
a. Costes derivados del agua	14
b. Costes y gastos energéticos	16
c. Inversión inicial	18
4. Desarrollo tecnológico de la desalación: la energía solar como alternativa	20
a. La técnica de la ósmosis inversa	20
b. La energía fotovoltaica en la desalación	22
c. La ósmosis inversa mediante energía fotovoltaica	25
5. Aplicabilidad en la agricultura	28
a. Calidad y tolerancia del agua resultante del proceso desalador	28
b. Comparación entre el tratamiento de aguas residuales y la desalinización del agua para uso agrícola	29
c. Cantidad y valorización de residuos generados	32
6. Posible aplicación en zonas concretas	35
a. Contexto económico y actividad agrícola	36
I. Región de Murcia	39
II. Alicante	41
III. Islas Canarias	43
IV. Andalucía	46
b. Caso particular de desalación actual	48
I. Islas Canarias y desalación eólica	48
7. Conclusiones	52
BIBLIOGRAFÍA	54

1. Introducción

La gran masa de agua salada, en comparación con la de agua dulce, que contiene nuestro planeta ha dado pie a que la desalinización del agua sea estudiada desde la antigüedad y haya preocupado a grandes pensadores desde entonces. En la actualidad, existen grandes desaladoras instaladas en todo el mundo y empresas multinacionales con un fuerte potencial en el sector, entre ellas varias españolas. Este hecho, y el de vivir en un país con graves problemas hídricos nos ha llevado a plantearnos cómo ha evolucionado la eficiencia energética, rentabilidad y la reducción de costes medioambientales en este campo.

España está considerada como un país con un estrés hídrico alto, es decir, que en algunas zonas y períodos del año la demanda del agua es superior a la cantidad disponible o que su uso se restringe por la mala cantidad. A pesar de los esfuerzos realizados apenas se reutiliza un 10 % del total de las aguas residuales tratadas en nuestro país y las pérdidas en la redistribución están en torno al 15 % anual según el Observatorio de Sostenibilidad.

Mejorar las redes de suministro de agua y de las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales para su reutilización es imprescindible para desarrollar una agricultura competitiva y sostenible así como para seguir ofreciendo una actividad turística de calidad.

Aunque las infraestructuras con más potencialidad de impulso de la actividad económica son las relacionadas con la desalación, por los positivos efectos que podría tener obtener la disponibilidad de agua abundante y barata para la agricultura y la actividad turística.

El CIEMAT, a través de la Plataforma Solar de Almería se ha convertido en referente mundial en la depuración de agua por membranas, tanto por su acoplamiento con energía solar, reduciendo el coste energético, como por el uso de prototipos a escala real que han generado con flujos mayores que otras técnicas también utilizadas en los procesos de ósmosis inversas. La combinación, en esta tecnología de desalación, de las

ventajas de la destilación térmica con la de filtración por membranas, que es la más extendida comercialmente, hace que su consumo energético sea muy inferior.

No obstante, el impulso a la desalación con energías renovables se encuentra con una serie de dificultades para su desarrollo comercial. La principal es la separación entre las competencias de agua y energía a todos los niveles, desde el tecnológico, ya que la investigación de estos sistemas se suele desarrollar por separado, hasta el administrativo e institucional.

La potencialidad de esta tecnología para ser aplicada a sistemas para producción descentralizada a pequeña escala es muy importante, teniendo en cuenta la estructura de propiedad de gran parte de las tierras de cultivo del Levante español.

Así las cosas, el objeto de estudio ha sido una ardua tarea que nos ha llevado a corroborar la dificultad de hacer un análisis económico agregado a partir de la escasa información existente, muy limitada a casos de estudios particulares que impiden en muchos casos obtener una idea clara del rumbo que está tomando el sector. Asimismo, y siendo alta la diferencia de costes entre distintas plantas (dependiendo de su tamaño, localización, funcionamiento, etc.), se hace harto complicado el poder agregar costes en este proceso. A pesar de ello, consideramos que se trata de un tema de vital importancia —tanto por las necesidades hídricas de España como por ser un país con un gran potencial investigador en el tratamiento de aguas—por lo que animamos seguir desarrollándolo.

En los siguientes apartados intentaremos ofrecer una visión general de cómo ha evolucionado el sector, qué cambios se han producido, qué innovaciones se han introducido y qué ventajas e inconvenientes potenciales se derivan de la desalinización como fuente hídrica. En el siguiente punto nos centraremos en la evolución del proceso desalador a lo largo de la historia y observaremos el funcionamiento de este mercado. El punto tercero se centrará en el análisis económico, donde a partir de diversos datos obtendremos la tendencia actual en el sector. En el punto cuarto, continuaremos examinando el desarrollo de las distintas tecnologías aplicadas, así como la investigación y evolución de éstas. Asimismo, en este punto introduciremos la

idea de realizar la desalinización mediante energía fotovoltaica. En el punto cinco queremos observar la posible aplicación de este proceso en la agricultura, siendo en el sucesivo apartado donde analizaremos zonas concretas de uso potencial y veremos un caso particular de desalación con energía renovable. Por último, ofreceremos unas breves conclusiones para compendiar este escrito.

2. La evolución de la desalación

La importancia del agua para el desarrollo de la vida humana, ha dado pie a que la conversión de agua salada a dulce haya preocupado a las sociedades desde la antigüedad.

En nuestro planeta el 3 % del agua es dulce y el 97 % restante es agua salada, por lo que se trata de un bien escaso y con una demanda en ascenso, tanto para la agricultura, la industria o el uso doméstico. Hasta el punto, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido en 1.000 metros cúbicos de agua por persona y año la cantidad mínima imprescindible. Por ello, la desalinización del agua no es una cuestión trivial; si añadimos que el 75 % de la población mundial vive a menos de 100 km del mar, el problema se agrava por el aumento de la escasez en estas zonas y alienta la desalinización como método complementario de obtención de agua (Fayanás, 2003).

a. Historia de las desaladoras

Las primeras constancias de desalación, datan del siglo VII a.C. y las referencias más concretas se encuentran en los escritos de Tales de Mileto y Demócrito donde sugerían la posibilidad de obtener agua dulce filtrando el agua del mar a través de la tierra. Más tarde, Aristóteles en el S.IV a. C. discutió acerca de las propiedades del agua del mar y la posibilidad de desalación ideando el primer evaporador conocido. En el siglo I d.C. Plinio, en su enciclopedia sobre historia natural narra varios métodos de desalación; aunque el primer procedimiento de destilación, como método de obtención de agua dulce a partir de agua salada, es descrito por Alejandro de Afrodisias entre finales del siglo I y principios del II d.C. (Zúñiga, 2014).

En la Edad Media se extendió la curiosidad por la desalación del agua del mar, destacando la obra de Rosa Medicine escrita por John Gaddesden (1280-1361) en la que describe cuatro métodos de desalación del agua del mar.

Durante la Edad Moderna, se multiplican las observaciones científicas a causa de los descubrimientos geográficos, la expansión del comercio y la larga duración de las travesías por mar. Esto implicó que los barcos incorporaran pequeños destiladores para conseguir potabilizar el agua marina. En el S.XVI, Giovan Battista Della publicó la segunda edición de *Magiae naturalis* quien, además de describir los métodos de obtención de agua dulce, comprobó empíricamente algunos.

A comienzos del siglo XIX, los métodos de desalación “naturales” —evaporación solar, destilación y congelación— ya estaban bastante avanzados aunque su uso industrial tuvo un desarrollo lento, con excepción de las instalaciones de destilación para navíos. En la industria naval sí se produjo un rápido desarrollo tras la implantación de plantas de evaporación alimentadas por la energía residual del vapor de salida de la caldera ideadas por James Weir en 1884.

El uso de membranas para la desalinización se inició tras los estudios sobre la naturaleza y el comportamiento de éstas de Juda y Kressman en 1949, aunque sus propiedades de semipermeabilidad y selectividad eran conocidas desde principios del siglo XIX. Es a partir de 1950 cuando se construyen las primeras plantas para uso industrial mediante el intercambio de iones, como eran conocidas desde el siglo XIX, aplicándose a diversas industrias químicas y de desmineralización de aguas que tuvieran más de 1,5 g/L de sales disueltas (Zúñiga, 2014). Como estudiaremos con más atención en el siguiente apartado, se comienzan a instalar las primeras grandes desaladoras en Arabia Saudí y Kuwait, debido a la escasez de agua potable en sus territorios (Fayanás, 2011).

b. La desalinización en el mundo

El país que más agua desalada consume es Arabia Saudí —alrededor de cuatro de cada cinco litro consumidos provienen de desalinizadoras—, Emiratos Árabes Unidos, Libia y Qatar presentan cuotas parecidas. Otros países como Estados Unidos, Israel, Japón o España también tienen una importante producción de agua desalada (Fayanás, 2011).

Como ya hemos mencionado, la escasez de agua es un problema vital en algunas zonas del mundo, debido a esto, no es de extrañar el interés de algunos países por desarrollar proyectos de gran envergadura. Un ejemplo, es la defensa que hizo Israel

—en la conferencia de paz judeo-palestina celebrada en Moscú en enero de 1992— de la desalinización como única solución a largo plazo para las zonas pobres en agua y en consecuencia en todo el Oriente Medio. A finales de 2001, Israel puso en marcha una planta en Askaleon, con el objetivo de obtener agua a precio competitivo, a manos de la multinacional francesa Vivendi. Esta planta comenzó produciendo 50 hm³ anuales, a un precio de 47 céntimos de euro el m³. A comienzos del año 2002, la misma empresa ofreció al gobierno israelí la ampliación de la desalinizadora con otros 50 hm³ anuales, a un precio de 43 céntimos de euro —siendo ejemplo del potencial del sector—(Fayanás, 2011).

En la otra ala del mundo, los californianos rechazaron la desalinización durante mucho tiempo por ser menos costosa la obtención de agua del río Colorado y de sus acuíferos —debido a las grandes subvenciones del Estado—. No obstante, a medida que las sequías y la explotación irracional de sus aguas subterráneas plantean problemas de suministros, se han ido preocupando de su posible carencia y han invertido en el sector introduciendo tecnología bastante avanzada, convirtiendo el agua desalinizada en un agua cada vez más competitiva, con menor consumo energético y con menores costes medioambientales. Este incremento de la demanda también puede ser un nicho de mercado para España cuyas innovaciones en la obtención de agua desalada, a través del proceso de ósmosis inversa por energía solar en lugar de térmica, podría ser una oportunidad de exportación.

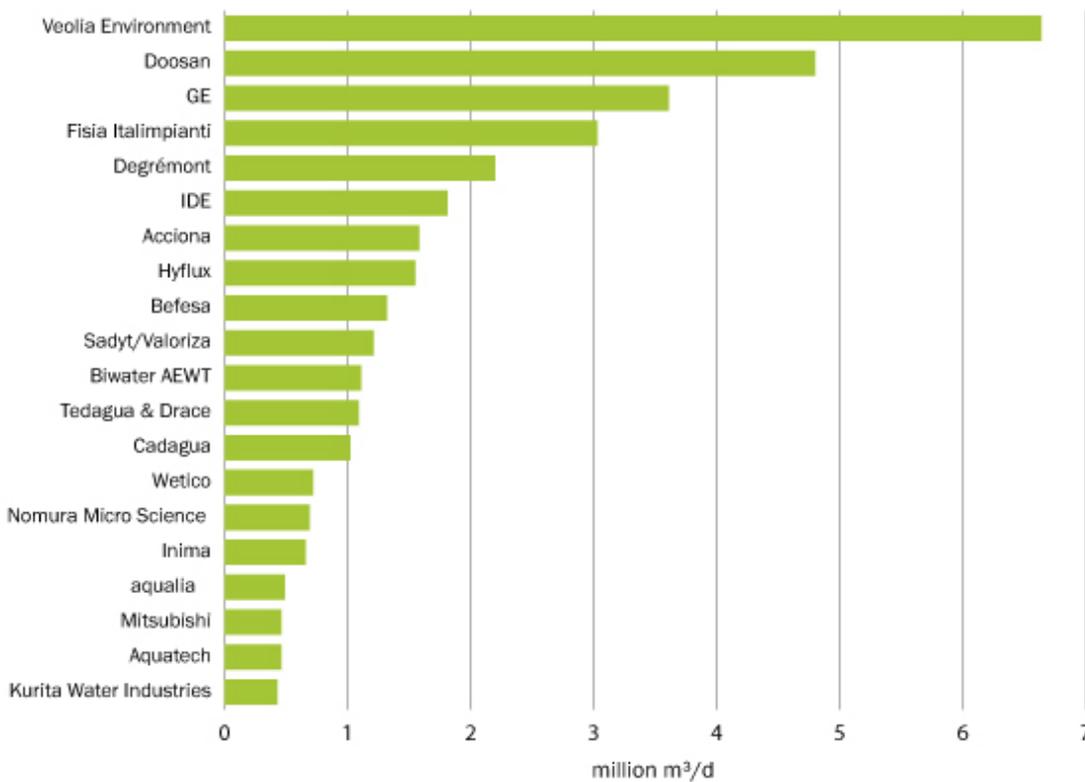
En enero del 2003, la compañía francesa ONDEO, líder mundial en el sector —en España controla Aguas de Barcelona— ganó el concurso convocado por el gobierno de Singapur para la construcción y explotación de una planta de desalinización con capacidad para 50 hm³ anuales que entraría en servicio en el 2005. El precio cerrado fue de 41 céntimos de euro por m³. Como podemos observar, los avances tecnológicos en el sector se traducen en bajadas notables de los precios (Fayanás, 2011).

En 2011, funcionaban en el mundo 8.000 plantas de todo tipo y tamaño creciendo esta cifra continuamente. De éstas, el 66 % se sitúan en Oriente Medio y el 26 % del total se encuentran en Arabia Saudita. La mayor planta está en este último, produciendo 485

millones de litros al día. La mayor parte del consumo doméstico de los sauditas y de otros países ricos en petróleo se cubre con agua desalinizada. El 12 % de la capacidad de desalinización se encuentra en América. Es de destacar, la planta de Yuma (Méjico), que es una de las de mayor tamaño del mundo, y que además cuenta con el apoyo del gobierno federal. La mayoría de las plantas americanas se sitúan en la zona del Caribe o en Florida, debido a la falta de ríos (Fayanás, 2011).

c. Líderes del mercado

Las plantas desaladoras son creadas mediante EPC¹. En términos de capacidad contratada y analizando el periodo 2000-2011, Veolia Environment lidera el ranking — véase gráfico 1— de contratistas de EPC. En el puesto número seis encontramos a



Acciona —empresa española— lo que nos da un pista del potencial de nuestro país en el sector como analizaremos más adelante.

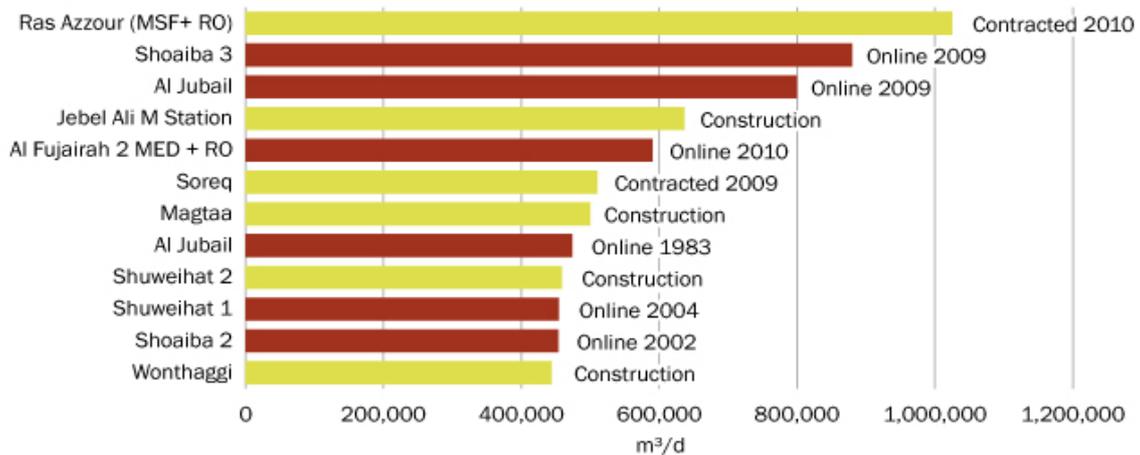
Gráfico 1 – Ranking de empresas desaladoras mundiales

Fuente: <http://www.desalination.com/market/who-are-market-leaders>

¹ Por sus sigas en inglés “Engineering, Procurement and Construction”. El contratista EPC (EPCC) se compromete a realizar la ingeniería, la adquisición del terreno y la construcción, es una forma muy común de contrato dentro de la construcción en la industria.

Las plantas desalinizadoras han crecido sustancialmente en los últimos años. En el gráfico 2 observamos el ranking de plantas mundiales por tamaño.

Gráfico 2 – Ranking de desaladoras mundiales por tamaño



Fuente: <http://www.desalination.com/market/who-are-market-leaders>

A principios de 2015, la empresa española Abengoa ha sido seleccionada por Advanced Water Technology (AWT)² para construir conjuntamente la primera planta desaladora del mundo a gran escala operando con energía solar en Arabia Saudí. La planta producirá 60.000 m³ /día de agua y abastecerá a la región Al Khafji —al noroeste de Arabia Saudí—. Además de incorporar una planta solar fotovoltaica, contará con un sistema de optimización del consumo eléctrico y un pre-tratamiento para reducir el alto índice de salinidad, aceites y grasas que contiene el agua del mar en esta área. Con este proyecto, Abengoa se afianza su posición en el sector del agua ampliando su capacidad total de desalación a casi 1,5 millones de m³ /día, cantidad para abastecer a 8,5 millones de personas (Iagua, 2015).

d. El caso particular español

España es un país con unos grandes desequilibrios hídricos, en especial en toda la zona costera mediterránea, con su gran desarrollo industrial y turístico. Por eso es el quinto país en desalinización mundial —que encabeza Arabia Saudita y los Emiratos

² Es una nueva compañía dedicada a proporcionar soluciones asequibles al sector del agua a través de la innovación y la sostenible. Es la entidad comercial de KACST (King Abdulaziz City Science and Technology) y pertenece a Taqnia.

Árabes—y el primero en su utilización para la agricultura. Las primeras iniciativas de desalinización en España surgieron en las Islas Baleares donde se construyeron cuatro grandes desalinizadoras —la isla de Ibiza se surte prácticamente de ella para su población—. Asimismo, Canarias se ha convertido en líder tecnológico de la ósmosis inversa, ya hay más de un millón de canarios que utilizan el agua desalinizada. La isla de Lanzarote, con escasos recursos hídricos, implantó la primera desalinizadora. Se trataba de una planta por evaporación que funcionaba con petróleo, condensando el vapor ya separado de la sal marina. En el año 2004 más de 150.000 habitantes se abastecían de esta planta, que actualmente desaliniza por ósmosis inversa, lo que ha permitido bajar sus costes generalizando su uso. De esta manera, en Fuerteventura y Lanzarote el agua desalada representa la totalidad del agua consumida (Fayanás, 2011).

El gobierno impulsó en 2004 el programa A.G.U.A —véase cuadro 1— para garantizar el abastecimiento de agua en las zonas más desérticas del país. Se centraba en la optimización de los recursos existentes y en el aprovechamiento las nuevas tecnologías para la obtención de este recurso a través de:

- un incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos
- una mejora en la gestión de los recursos hídricos
- una mejora de la calidad del agua, prevención de inundaciones y restauración ambiental (Cámara de Zaragoza, 2004: 3)

Con las actuaciones dirigidas a lograr un incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos, se pretendía alcanzar los 1.063 hm³ de agua en las regiones más deficitarias de la Comunidad Valenciana, Murcia, Cataluña —Barcelona, Tarragona y Girona— y Andalucía —Málaga y Almería—. Mediante la desalación se esperaban obtener unos recursos totales de unos 600 Hm³/año adicionales en el periodo 2005-2008 (Miliarium, 2008).

Cuadro 1 – Plantas y sus capacidades (Programa A.G.U.A.)

Desalinizadoras/desaladoras	Plantas	Capacidad total aproximada (Hm ³ /año)
2004	Canarias	200
	Marbella	168
	Carboneras	168
2005	Alicante I	168
	San Pedro de Pinatar I	168
	El Atabal (Málaga)	168
2006	San Pedro de Pinatar II	n.d.
	Valdelentisco (Murcia)	187
	Alicante II	187
2007	Alcudia (Baleares)	187
	Santa Eulalia (Baleares)	187
	Andratx (Baleares)	187
	Ciudadela (Baleares)	187
	Canarias	187
	Melilla	187
2008	Torre vieja (Alicante) Bajo	160 +100
	Almanzora (Almería)	160+100
	Águilas (Murcia)	160+100
	Campo de Dalías (Almería)	160+100
	Denia	160+100
	Sagunto	160+100

Fuente: Elaboración propia a partir de Cámara de Zaragoza

Por estos motivos el Programa A.G.U.A. incluía un total de 34 plantas desalinizadoras a lo largo del territorio que conforman las cuencas mediterráneas. El desarrollo de estas infraestructuras supone una inversión conjunta de 1.945 millones de euros y una capacidad de producción anual total de 713 hm³. De esta capacidad, se preveía destinar aproximadamente el 32 % para riego agrícola (Araus, 2007).

Los sucesivos períodos de sequía impulsaron la construcción de pequeñas plantas desaladoras en numerosos puntos para usos agrícolas, sobre todo para cultivos intensivos de hortalizas y frutales, estando concentradas en la zona del Campo de Cartagena, Mazarrón y Águilas. El aumento del consumo de agua en la región de

Murcia y, en general en la cuenca del Segura, ha contribuido considerablemente al impulso de las desaladoras. Sin embargo, la primera gran planta desaladora de la cuenca—destinada a producir agua para paliar el déficit de la Mancomunidad de Canales del Taibilla— fue la del canal de Alicante, puesta en marcha en el año 2003. Con una capacidad de desalación de 18 Hm³, estaba llamada a paliar el déficit de esta región, abasteciendo con sus aguas a una población de entre 2.300.000 y tres millones de habitantes —en función de si se trataba o no de fechas estivales (Asamblea De Murcia)—.

La desaladora de San Pedro del Pinatar I —también conocida como desaladora del Canal de Cartagena— incrementó de forma notable, en el año 2005, los volúmenes disponibles de agua para el consumo en la región. Con una producción de 65 millones de litros diarios o, lo que es lo mismo, 24 Hm³ anuales, constituía una de las mayores desaladoras europeas destinadas al consumo humano cubriendo las localidades de San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares, Torre-Pacheco, Cartagena y la Unión. A estas dos desalinizadoras se unieron en el año 2007 sus correspondientes ampliaciones: San Pedro del Pinatar II y Alicante II, con una capacidad anual 24 Hm³ cada una. Y la desaladora de Valdelentisco, en Mazarrón, con 57 Hm³ anuales, lo que propiciará que, desde finales de ese año, se incorpore a la cuenca del Segura un volumen anual de 116 Hm³ de agua desalada. Con este volumen se pretendía garantizar el abastecimiento del sureste español a medio plazo (Asamblea de Murcia).

El tratamiento de agua es uno de los sectores emergentes liderado por nuestro país. En el año 2013, el sector creció a una media anual del 5 % con una facturación de 23.000 millones de euros. Además, somos el primer país europeo en número de publicaciones científicas sobre el agua —aunque no en números de patentes registradas—. Empresas como Acciona, Ferrovial, FCC o Sacyr son líderes mundiales con un potente *know-how*³, controlando de forma casi absoluta el mercado de las infraestructuras de desalinización, y con gran peso en mercados africanos y latinoamericanos (Pérez, 2013).

³ Know-How (saber-cómo) es una forma de transferencia de tecnología. Se denomina así a los conocimientos preexistentes no siempre académicos, que incluyen: técnicas, información secreta, teorías e incluso datos privados (como clientes o proveedores).

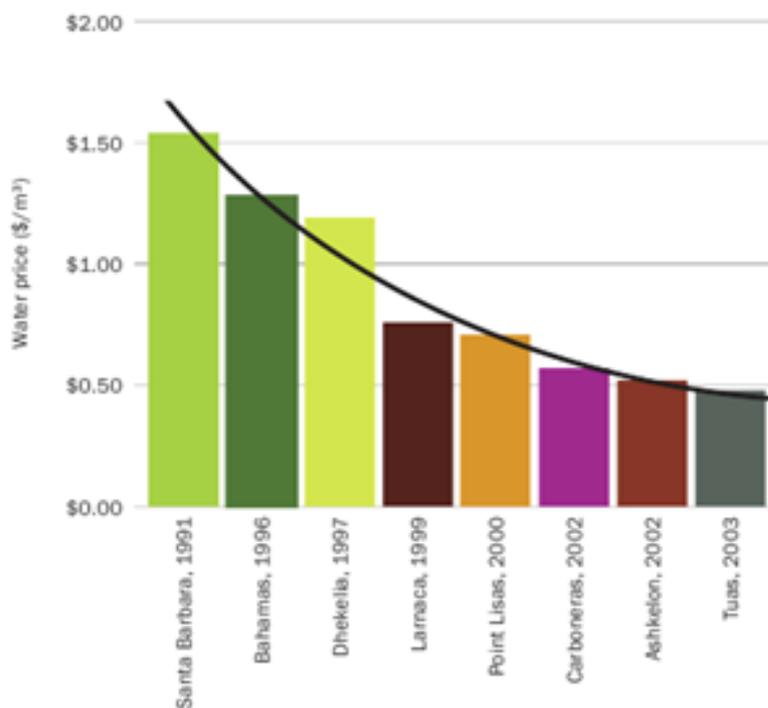
3. Costes en el proceso desalador⁴

El tema de los costes del agua desalada es siempre un asunto controvertido, pudiéndose decir que resulta imposible proporcionar un valor exacto. Tras el análisis, ni siquiera podríamos dar un intervalo estrecho de valores, ya que el coste final del agua desalada depende mucho de la localización específica y del tamaño de la planta.

a. Costes derivados del agua

Como observamos en el gráfico 3, los costes del agua en los proyectos de ósmosis inversa existentes en la etapa 1991-2003 tenían una tendencia claramente decreciente.

Gráfico 3 - Precios del agua en los proyectos de ósmosis inversa, 1991-2003



Fuente: Informe “Desalination Markets 2010” elaborado por el GWI (2010)

⁴ Todos los datos que aparecen en el apartado 3 “Costes en el proceso desalador” han sido aportados por Diego Alarcón, técnico del CIEMAT.

Cuadro 2 - Precios del agua de proyectos de desalación, desde 1991

Plant	Contract year	Water price (\$/m ³)	Process	Capacity (m ³ /d)
Santa Barbara, CA, USA	1991	\$1.54	SWRO	25,360
Bahamas	1996	\$1.28	SWRO	9,840
Dhekelia, Cyprus	1997	\$1.10	SWRO	40,000
Larnaca, Cyprus	1999	\$0.76	SWRO	54,000
Taweelah C, UAE (est)	2000	\$0.72	SWRO	325,000
Ashkelon, Israel	2001	\$0.52	SWRO	326,144
Taweelah A1, UAE	2001	\$0.70	MED	236,185
Carboneras, Spain	2002	\$0.67	SWRO	120,000
Point Lisas, Trinidad	2002	\$0.71	SWRO	119,000
Tuas, Singapore	2003	\$0.48	SWRO	136,360
Tampa Bay, FL, USA	2004	\$0.55	SWRO	95,000
Tianjin, China	2005	\$0.50	SWRO	100,000
Sheelbe 3, Saudi Arabia	2005	\$0.57	MSF	881,150
Beni Saf, Algeria	2005	\$0.70	SWRO	200,000
Cap Djinet, Algeria	2005	\$0.73	SWRO	100,000
Skikda, Algeria	2005	\$0.74	SWRO	100,000
Douaouda, Algeria	2005	\$0.75	SWRO	120,000
Palmachim, Israel	2005	\$0.78	SWRO	110,000
Hamma, Algeria	2005	\$0.82	SWRO	200,000
Atzew, Algeria	2005	\$0.90	SWRO	86,000
Reliance Refinery, India	2005	\$1.53	MED	14,400
Fukuoka, Japan	2005	\$1.84	SWRO	50,000
El Paso, USA	2006	\$0.40	SWRO	104,000
Hidd, UAE	2006	\$0.69	MED	273,000
King Abdulaziz Int. Airport, KSA	2006	\$0.78	SWRO	30,000
Jubail (Marafiq), Saudi Arabia	2006	\$0.83	MED	800,000
Tampa Bay, FL, USA (rehab)	2006	\$0.84	SWRO	95,000
Shuqaiq, Saudi Arabia	2006	\$1.03	SWRO	213,475
Blue Hills, Bahamas	2006	\$1.30	SWRO	27,250
Perth 1, Australia	2006	\$1.24	SWRO	143,700
Hadera, Israel	2007	\$0.60	SWRO	330,000
Mostaganem, Algeria	2007	\$0.72	SWRO	200,000
Malta (various, avg)	2007	\$0.72	SWRO	20,000
Carlsbad, CA, USA (est)	2007	\$0.77	SWRO	189,250
Fujairah 2, UAE	2007	\$0.85	Hybrid	590,000
Dhekelia, Cyprus (rehab)	2007	\$0.88	SWRO	40,000
Tianjin, China	2007	\$0.95	SWRO	150,000
Chennai, India	2007	\$1.10	SWRO	100,000
Sur, Oman	2007	\$1.20	SWRO	80,200
Gold Coast, Australia	2007	\$2.49*	SWRO	133,000
Mactaa, Algeria (bid)	2008	\$0.56	SWRO	500,000
Tuas, Singapore (update)	2008	\$0.57	SWRO	136,360
Tenes, Algeria	2008	\$0.59	SWRO	200,000
Oued Sebt, Algeria	2008	\$0.68	SWRO	100,000
Ashkelon, Israel (update)	2008	\$0.78	SWRO	326,144
Palmachim, Israel (update)	2008	\$0.78	SWRO	83,270
Ras Laffan B, Qatar	2008	\$0.80	MSF	272,520
El Tarf, Algeria (bid)	2008	\$0.89	SWRO	50,000
Ad Dur, Bahrain	2008	\$0.93	SWRO	218,000
Shuweihat 2, Abu Dhabi, UAE	2008	\$1.13	MSF	454,610
Taunton, MA, USA	2008	\$1.53	SWRO	18,925
Perth 2, Australia	2008	\$1.92	SWRO	140,000
Sydney, Australia	2008	\$2.04*	SWRO	250,000
Jeddah Barge, Saudi Arabia	2008	\$2.27	SWRO	52,000
Episkoppi, Limassol, Cyprus	2009	\$1.14	SWRO	40,000
Pointe à Pierre, Trinidad	2009	\$1.15	SWRO	45,400
Qingdao, China	2009	\$1.29	SWRO	100,000
Wonthaggi, Australia	2009	\$2.14*	SWRO	411,000
Adelaide, Australia	2009	\$2.06*	SWRO	300,000
Caofeidian, China	2010	\$0.71	SWRO	50,000
Djerba, Tunisia**	2010	\$0.81	SWRO	50,000
Soreq**	2010	\$0.58	SWRO	510,000
Carlsbad, CA USA**	2010	\$0.89	SWRO	189,250

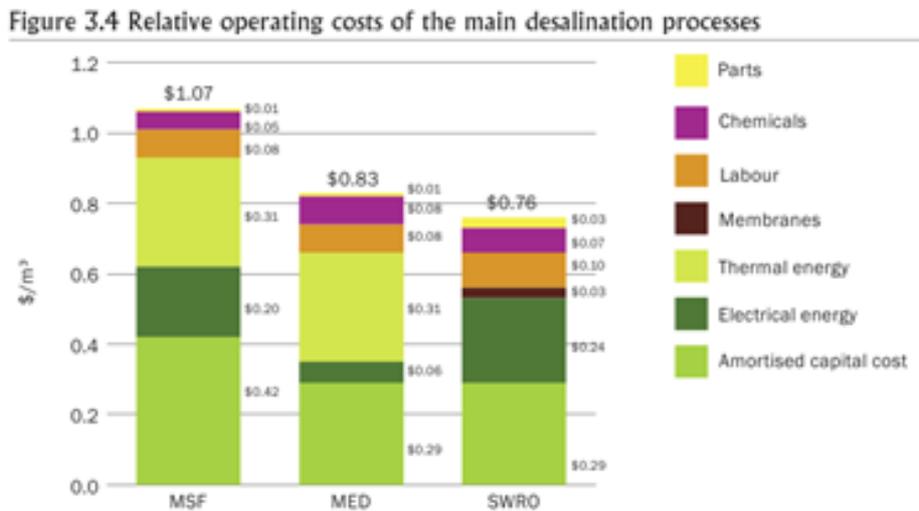
* Unofficial calculated figure ** Financing not yet closed

Fuente: Informe "Desalination Markets 2010" elaborado por el GWI (2010)

Como ya hemos mencionado, para una misma tecnología se pueden tener costes específicos del agua dispares. Cuando en las tecnologías de destilación térmica —a evaporación súbita multietapa (MSF) o la destilación multiefecto (MED)— se obtienen valores por debajo de las ósmosis inversa de agua de mar (SWRO), nos encontramos frente a un proceso de cogeneración o de aprovechamiento de calor residual de otro proceso industrial, donde se está atribuyendo coste cero a la energía térmica requerida por el proceso desalador.

A efectos comparativos, el siguiente gráfico nos muestra unos valores promedio de las tres principales tecnologías.

Gráfico 4 – Costes operativos relativos de los principales procesos de desalación



Fuente: Informe “Desalination Markets 2010” elaborado por el GWI (2010)

Para más precisión, analizaremos los costes, gastos energéticos y de inversión que conllevan el proceso de desalinización y determinan el precio del agua desalada, así como de las condiciones que éstos dependen.

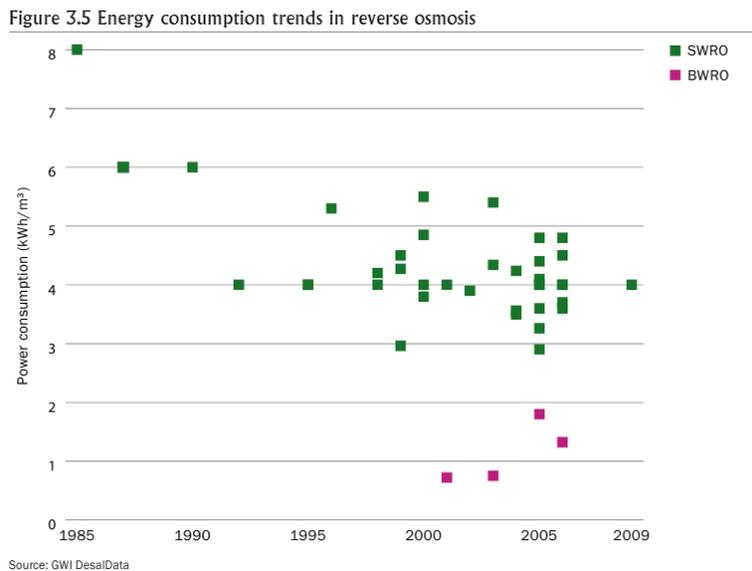
b. Costes y gastos energéticos

Si analizamos la evolución del consumo energético a lo largo de la historia del desarrollo tecnológico de la desalinización, vemos como en 1970, se necesitan 22 kw/h/m³. En 1990, a 8,5 kw/h/m³, y en el año 2004 a 4 kw/h/m³. Como vemos, con las nuevas tecnologías se va consiguiendo un menor coste energético. El precio mínimo

del kw/h rondaba en 2011 los 0,04 euros. El 40 % del coste de la desalinización es imputable al consumo de electricidad (Fayanás).

En el caso de las tecnologías de membranas, tales como la ósmosis inversa y la electrodiálisis, los costes de desalación se pueden diferenciar en función del agua utilizada como materia prima (salobre o salada). En éstas, el consumo de energía es proporcional al contenido en sal del agua. Sin embargo, en el caso de las tecnologías térmicas, el consumo energético no depende de la salinidad del agua, y por esa razón están desaconsejadas en la desalación de aguas salobres, ya que los costes son prohibitivos comparados con los de la ósmosis inversa.

Gráfico 5 - Tendencia del consumo de energía mediante ósmosis inversa



*BWRO (ósmosis inversa de aguas salobres)

Fuente: Brackish Water

En el caso de la ósmosis inversa de agua de mar podemos ver, en el gráfico 5, que el consumo energético (sólo electricidad) se situaría en torno a 3–5 kWh/m³ (3 en el Mediterráneo y 5 en regiones con aguas más difíciles como en el Golfo).

Otros estudios aseveran que el consumo medio de la desalación por osmosis inversa es de 3,5 Kwh/m³, teniendo dos impactos medioambientales: el vertido de subproductos y las emisiones de CO₂. Con un consumo medio de 3,5 Kwh/m³ se emiten 0,350 KgCO₂/Kwh. Para un consumo eléctrico de 3,71 Khw/m³ la emisión de CO₂ es de 1,549

kgCO₂/m³. El consumo energético, como ya mencionamos, depende de la salinidad de agua, siendo ésta la siguiente:

- Oceánica: 0,769 Kwh/m³

- Mediterránea: 0,813 Kwh/m³

En el caso de las tecnologías térmicas es más difícil dar un valor, ya que al final existe un balance entre el coste de inversión y el consumo energético (coste de operación). Es decir, cuanto más compleja es la planta (mayor coste de inversión) más eficiente es desde un punto de vista energético (menor coste de operación). Al final, el equilibrio se obtiene de un análisis del coste final del agua. Hablando en valores numéricos, los valores típicos de GOR—*Gain Output Ratio*: kilogramos de vapor consumidos por cada kilogramo de agua destilada producida— de una planta MSF se sitúan en la horquilla de 8-10 (81 – 65 kWh/m³). Y en el caso de la destilación multiefecto, los valores de GOR puede ser tan altos como entre 12-14 (54 – 46 kWh/m³).

Aquí debemos advertir que no podemos confundir estos valores de kWh con los de la ósmosis inversa. En el caso de la ósmosis inversa son kWh de electricidad, mientras que en MSF y MED son kWh térmicos.

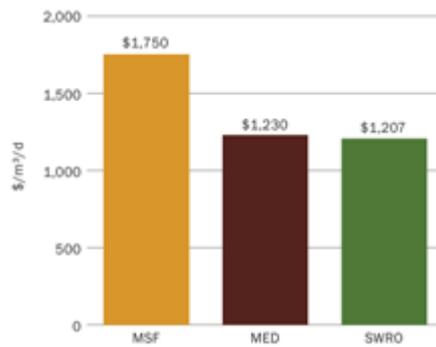
Asimismo, no hay que olvidar que en el caso de las tecnologías térmicas, éstas conllevan también un consumo de energía eléctrica para captación de agua de mar, trasiego de agua entre subsistemas y finalmente la devolución de la salmuera al mar y la extracción del destilado de la planta. En el caso de la tecnología MSF este valor puede ser tan alto como 4-5 kWh/m³ mientras que en el caso de la tecnología MED este valor se sitúa en 1-1.5 kWh/m³.

c. Inversión inicial⁵

En el siguiente gráfico se puede observar un resumen del coste de inversión (en USD/m³/día) de las tres principales tecnologías.

⁵ Por m³ de agua “producida” para calidades agrícolas.

Gráfico 6 - Costes medios relativos EPC por m³ de los principales procesos (grandes plantas)



Fuente: GWT DesaData

Las plantas térmicas (MSF, MED) producen siempre agua pura que puede ser utilizada para una aplicación industrial o para agricultura —mezclándola previamente con algo de agua salada para alcanzar la concentración salina deseada—.

Otros análisis hablan de un coste de inversión de aproximadamente 590 €/m³ al día en el año 2010 y teniendo éste, una amortización de 15 años. Siendo el consumo medio de 0,35€/m³, aunque en España se sitúa alrededor de 0,397 €/m³.

Asimismo, los costes de inversión en desaladoras de agua marina por ósmosis inversa dependen de la capacidad de la planta, siendo éstos los mostrados en el cuadro 3.

Cuadro 3 – Capacidad e inversión en m³/día

Capacidad en m ³ /día	2000	5000	10.000	50.000	100.000	150.000
Inversión en € por m ³ /día	1.472,5	1.172	1.081,8	781,3	721,2	691,2

Y la recuperación es de aproximadamente 15 años.

Fuente: Fariñas (2005)

En el siguiente apartado, estudiaremos la instalación de la energía solar como alternativa a la obtención de energía a través de centrales térmicas actuales como método de mejora de eficiencia a largo plazo.

4. Desarrollo tecnológico de la desalación: la energía solar como alternativa

Tras haber descrito la evolución del proceso desalador y los costes en los que se incurren mediante la técnica actual, en este apartado veremos el desarrollo tecnológico acaecido durante los últimos años y la posibilidad de utilizar la energía solar como alternativa. En primer lugar, explicaremos la técnica que actualmente se utiliza con asiduidad como es la de la ósmosis inversa, para más tarde ver cómo podemos encajar la energía fotovoltaica en el proceso desalador y concretamente, ver la nueva posibilidad que se atisba de integrar la ósmosis inversa con la energía solar.

a. La técnica de la ósmosis inversa

La desalinización por ósmosis inversa imita el proceso que utilizan las plantas cuando captan el agua a través de las membranas de sus raíces, pero se aplica a la inversa en las desalinizadoras. De manera simplificada, esta tecnología se basa en el paso por una membrana semipermeable del agua salada a una presión determinada, que depende de la concentración de sal, obteniendo un permeado de agua con una concentración salina dentro de los límites del agua potable. Para agua de mar, el ratio de permeado obtenido es del 45%, si bien es cierto, en aguas salobres este ratio es mayor. Adicionalmente, se produce un efluente de rechazo hipersalino, con el doble de concentración de sal en el caso de agua de mar. Este efluente debe ser gestionado correctamente con el fin de no producir alteraciones en su medio receptor (Araus, 2007: 7).

Figura 1 - Funcionamiento de la presión osmótica y de la ósmosis inversa

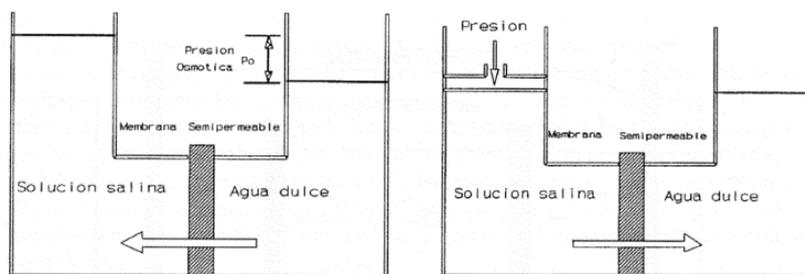


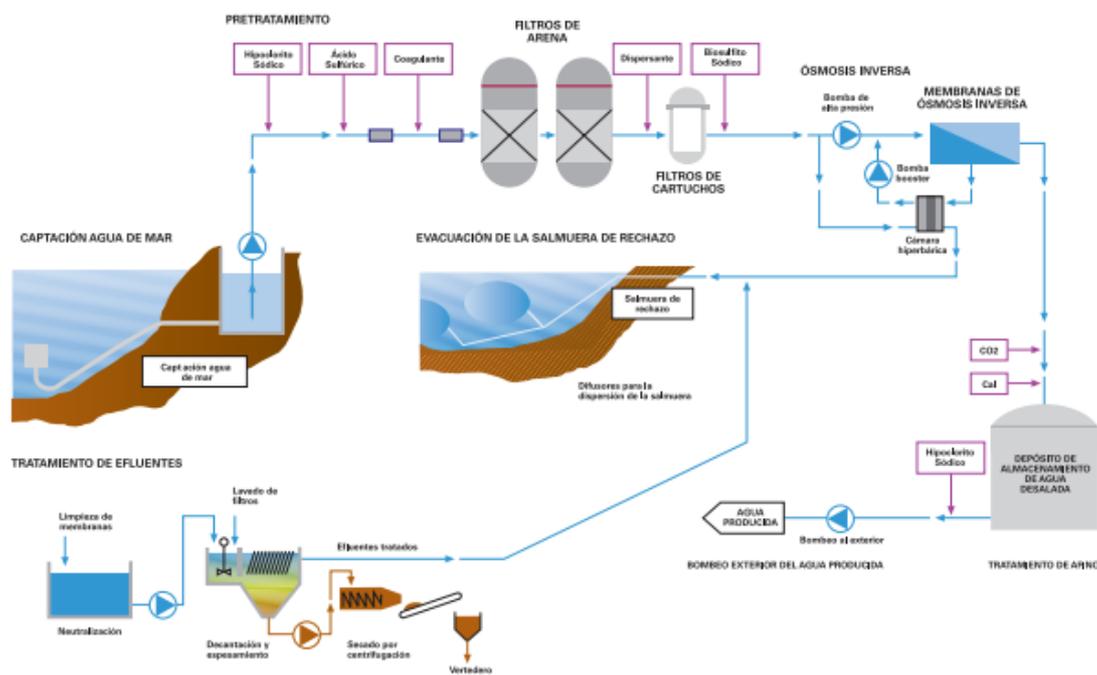
Figura 4a. Presión Osmótica

Figura 4b. Ósmosis Inversa

Fuente: Zarda, E. (1997)

A un lado de la barrera semipermeable queda el agua dulce y al otro, una concentración de sales de salmuera (Díaz, 2004). Especificando en una zona geográfica, el contenido de sal del agua del Mediterráneo es elevado, de 37-38 gr/l, ya que el agua salobre tiene entre 6-7 gr/l y el agua potable como máximo debe tener 0,5 gr/l (Fayanás, 2011).

Gráfico 7 - Etapas de la ósmosis inversa



Fuente: ICEX, 2007: 11

Esta técnica de desalación, ya sea de mar o de aguas salobres con menor salinidad, permite paliar situaciones de desabastecimiento. Por un lado, garantiza la total disponibilidad de recursos hídricos al no depender de factores climáticos para cumplir su función. Y por otro, la evolución que ha sufrido este sistema de desalinización permite implantar infraestructuras modulares y flexibles, adaptables a diferentes modelos de evolución de desarrollo territorial con unos costes admisibles hoy en día dado el avance de esta tecnología (Araus, 2007: 6-7).

Su mayor coste es el gasto eléctrico que necesitan las bombas para tomar el agua del mar y lanzarla a presión a través de las membranas para bombearla hasta los depósitos. Esta particularidad del proceso hace que se encarezca la desalinización.

b. La energía fotovoltaica en la desalación

Así las cosas, ¿por qué no pensar en energías renovables cuando hablamos de desalación? Existen diversos factores que hacen de la desalinización de agua del mar una aplicación atractiva para estas energías. Por un lado, está el hecho de que muchas zonas con escasez de agua desalinizada, poseen un buen potencial de alguna de dichas energías, especialmente de la eólica o de la solar. Así, existen muchas localizaciones en las que el viento es un factor climatológico frecuente, como es el caso de un elevado número de islas mediterráneas, a la vez que existe una apreciable escasez de agua potable, lo que obliga a realizar su suministro mediante buques cisternas (Zarza, 1997: 167).

Asimismo, existen muchas regiones en las que la escasez de agua potable va acompañada de un adecuado nivel de insolación (exposición a la radiación solar), Almería sería un claro ejemplo de este tipo de zonas.

Además de los factores medio ambientales ya mencionados, existen otros factores que aumentan el atractivo del uso de las energías renovables para la desalinización de agua de mar.

Uno de ellos es la simultaneidad estacional entre la demanda de agua potable y la disponibilidad de dichas energías. En numerosas localidades costeras y centros turísticos, la demanda de agua potable crece espectacularmente en verano, motivado por el gran aumento que experimenta la población debido al turismo. Y es, precisamente, en verano cuando la disponibilidad de la radiación solar es máxima (Zarza, 1997: 167).

Todas estas razones han motivado que numerosas instituciones y organismos oficiales hayan desarrollado, o estén desarrollando, proyectos destinados a mejorar y hacer más competitivos los sistemas de desalinización de agua de mar que funcionan con alguna de aquellas energías renovables, que presentan unas características adecuadas para este tipo de proceso. En particular, analizaremos la aplicación de la energía solar en el proceso desalador, ya que su tecnología está cada vez más avanzada y su aplicabilidad se nos presenta como una seria alternativa a considerar.

Antes de nada, debemos dar algunos apuntes previos si queremos hablar de la utilización de energía solar en el proceso de desalación.

Para producir electricidad, el aprovechamiento del recurso solar se realiza mediante dos tecnologías fundamentales, la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica. La primera, genera vapor de agua que se dirige hacia una turbina para hacerla girar y, de ahí, obtener energía eléctrica. Ese vapor se obtiene concentrando los rayos del sol mediante unos espejos (helióstatos) sobre una torre por la que se hace circular agua a presión. El segundo procedimiento, en el cual nos centraremos, permite obtener energía eléctrica directamente mediante unos dispositivos denominados “células solares”. Mientras que la primera puede almacenarse unas pocas horas (no la electricidad directamente, pero sí el vapor de agua), la segunda no, salvo pequeñas cantidades que pueden almacenarse en baterías, de modo que hay que consumirla según se obtiene (Mártil y San Andrés, 2014).

Tanto en valores absolutos, como en relación con los procedimientos convencionales de producción de energía eléctrica, las células solares comerciales de silicio (el 95% de las que se comercializan hoy en día) tienen eficiencias cuyo valor depende en gran medida del fabricante, pero que están comprendidos en un margen de entre el 16 y el 22 %. Cuando se agrupan en los paneles solares, esos valores se sitúan en torno al 14-17 %, aunque hay fabricantes que comercializan paneles con eficiencias por encima del 21 % (Mártil y San Andrés, 2014).

Las células solares que alimentan los satélites artificiales tienen eficiencias aún mayores, próximas al 30 %. Esas mismas células, utilizadas en la tierra en los denominados sistemas de concentración, alcanzan eficiencias del 40 % y en laboratorio hay prototipos que se sitúan en el 45 %, y en un plazo de tiempo muy corto se espera alcanzar el 50 %. Por comparación, las centrales térmicas convencionales alimentadas por gas, carbón o uranio tienen eficiencias del 30-35 %. De manera que los valores que se obtienen con las células solares están muy próximos o son incluso superiores a los convencionales. Es más, salvo para situaciones en las que hay una fuerte limitación en el espacio disponible, este no es un parámetro demasiado relevante en la viabilidad económica de una instalación. Sin embargo, en una red extensa y bien distribuida, las

fluctuaciones en la generación tienden a compensarse. Asimismo, la generación próxima al punto de uso reduce significativamente las pérdidas de distribución, que actualmente debemos compensar a las compañías eléctricas (Mártil y San Andrés, 2014).

Si bien es cierto, la energía fotovoltaica sigue resultando demasiado costosa, aunque hoy día, empleando el simulador PVWatts y con datos de 2014 de precios de instalación podemos calcular un coste de entre 0,12-0,2 €/kWh (dependiente de la localización de la instalación). A efectos comparativos, el precio de la energía eléctrica de origen nuclear es 0,05-0,1 €/kWh; sin considerar la totalidad de los costes externos de la gestión de residuos nucleares durante miles de años. Para situar esos datos, en los últimos meses, el precio al que se paga la energía eléctrica consumida en los hogares españoles es de 0,12 €/kWh, con ligeras variaciones de un distribuidor a otro (Mártil y San Andrés, 2014).

El precio de los sistemas fotovoltaicos se debe fundamentalmente al proceso de obtención y purificación del material con el que se fabrican la gran mayoría de las células solares, el silicio. El silicio es el elemento más abundante en la superficie de la tierra, ya que cerca del 30 % de la corteza terrestre está formada por compuestos en los que está presente. Pero, su proceso de purificación es muy costoso en términos energéticos, así como el proceso de fabricación de las células solares también lo es en términos económicos. No obstante, los costes han disminuido drásticamente: en 1980 el coste de las células solares era de 25 €/W; en 2000 de 5 €/W y el año pasado, 2013, de 0.8 €/W. La demanda del mercado y las economías de escala han favorecido estas bajadas de precio aceleradas, por lo que de seguir la tendencia actual en uno o dos años se habrá alcanzado la “paridad de red”, situación en la que el precio de la energía solar fotovoltaica ya será similar a la de las otras fuentes de energía (Mártil y San Andrés, 2014).

En los últimos años se ha incorporado la energía solar como una fuente más de las que componen el “mix” energético de un país, mediante el incentivo de políticas públicas. Es lo que se hizo en España en 2007-2009, en Italia desde 2010, en Alemania de modo

continuado desde comienzos de siglo, etc. Y es lo que se ha hecho siempre y se sigue haciendo con prácticamente todas las fuentes de energía (Mártil y San Andrés, 2014).

Asimismo y como antes mencionamos, la energía solar fotovoltaica no se puede almacenar, aunque en pequeñas instalaciones aisladas de la red es posible efectuar tal almacenamiento en baterías de tamaño moderado. Pero la energía producida en las grandes plantas, hoy por hoy, no es posible almacenarla, debiendo volcarla en la red de distribución en el momento de la generación (Mártil y San Andrés, 2014).

La energía fotovoltaica utiliza una gran cantidad de superficie necesaria para otros usos. Cualquiera que haya pasado cerca de algún huerto solar, habrá visto la gran cantidad de terreno que se necesita para obtener cantidades apreciables de energía. La central solar de mayor potencia de Europa está situada en Neuhardenberg (Brandemburgo, Alemania). Tiene una potencia nominal de 150 MW (la cuarta parte de la que suministra Garoña) que los obtiene con 600.000 paneles solares, distribuidos a lo largo y ancho de 240 hectáreas. La necesidad de esta gran extensión de terreno se debe a que la potencia que suministra una célula solar es pequeña, aproximadamente de 2 W, con un tamaño de 250 cm² y el sol sólo luce la mitad del día y no lo hace cuando está nublado, de manera que si se quiere obtener energía eléctrica en cantidades equiparables a las de las centrales térmicas convencionales, es preciso utilizar miles de paneles solares y por lo tanto, decenas de miles de células solares (Mártil y San Andrés, 2014).

Así las cosas, la aplicación de la energía eléctrica de origen fotovoltaico en el proceso desalador tendría otros beneficios como los que detallamos a continuación: (1) no consume combustible, pues obtiene su energía del sol, lo cual significa que, el precio del combustible, la radiación solar, es gratuito e inagotable; (2) al generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión, desde el punto de vista medioambiental, significa que es un proceso de generación de energía limpia, lo que evita emisiones de CO² a la atmósfera; (3) los sistemas fotovoltaicos no producen contaminación acústica cuando operan debido a que no poseen partes móviles y (4) aunque se requiere una gran extensión, la instalación de los sistemas fotovoltaicos es relativamente simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos básicos.

Además, tienen una vida útil larga (más de 20 años), su mantenimiento es sencillo y con costes muy bajos, y, se genera empleo en el entorno donde se instalan (Mártel y San Andrés, 2014).

Tras haber visto unos apuntes previos en lo referente a energía fotovoltaica, hay que preguntarse, ¿cómo funciona este tipo de energía en la desalinización?

La energía solar puede ser clave en determinadas zonas para desalinizar el agua para el consumo humano y para su uso en la agricultura con un menor coste energético.⁶ En la actualidad, en Grecia, se hallan funcionando varias instalaciones de destiladores solares para el abastecimiento de agua potable. Según el tipo de construcción y las condiciones climatológicas imperantes, con una superficie media de condensación de 2 450 m², pueden obtenerse de 7,5 a 15 m³ de agua potable por día (Infoagro, 2006).

En Freeport, en el Golfo de México, se obtienen diariamente 4 millones de litros de agua por el procedimiento LTV (*LongTube Vertical MultipleEffectDestilation*). Éste, se trata de un sistema de etapas múltiple que por un proceso de evaporación progresiva, a una presión constantemente decreciente, garantiza un balance energético relativamente favorable. El agua bombeada del Golfo de México se somete a un total de 12 condensaciones. La proporción de agua de mar dulce obtenida, es de 4:3. Un sistema que compite totalmente con este procedimiento es el proceso de distensión de etapas múltiples MFP (*Multiple Flash Process*). Se trata de una instalación de destilación de diez etapas en San Diego, en la que se producen por día unos 300.000 litros de agua dulce (Infoagro, 2006).

Actualmente, se está investigando otro modelo que consta de un colector solar, una torre de evaporación y de una torre de condensación. El agua asciende al colector solar por capilaridad por unos microtubos; aquí el agua se calienta y pasa a la torre de evaporación donde tiene lugar dicho proceso. El vapor de agua atraviesa la cámara de condensación, donde se produce la condensación del agua cuando el vapor de agua

⁶ La utilización de la energía solar para la destilación del agua es una práctica que se viene realizando desde hace mucho tiempo. El primer documento que habla sobre esta cuestión data de 1551 y fue redactado por alquimistas árabes. En 1589, Della Porta describe un sistema de destilación de agua con energía solar. En 1862, Lavoisier experimenta estas técnicas mediante el uso de grandes lentes que concentran la radiación solar.

entra en contacto con las superficies frías de dicha cámara. A veces, el agua salada es precalentada mediante un intercambiador de placas situado en la cámara de condensación. De este modo, el calentamiento del agua en el colector solar se producirá más rápidamente al estar el agua ya a una temperatura elevada. El agua que no se ha evaporado se recoge en un depósito, donde se encuentra el agua salada, y cuando la concentración de sales es muy elevada, se desecha (Infoagro, 2006).

Para poder dar conclusiones certeras respecto a la energía fotovoltaica en la desalinización se necesitaría realizar un profundo estudio donde se considerase (Infoagro, 2006):

- Agua necesaria: Esta cantidad de agua viene determinada por la media de consumo diario de agua, a la que habrá que sumarle un tanto por ciento relativo a las pérdidas. También habrá que tener en cuenta la calidad de agua que necesita la explotación, puesto que en ocasiones, tal como ocurre con el riego localizado, se pueden utilizar aguas con mayor concentración en sales que en el riego tradicional. Asimismo, se habrá de tener en cuenta el volumen de agua que se debe almacenar teniendo en cuenta la climatología del lugar y previendo posibles emergencias.
- Productividad por unidad de área: Este dato es la cantidad de agua que una instalación puede desalinizar por unidad de área de intercepción de la radiación solar. La productividad se calculará mediante una serie de fórmulas empíricas, que son fruto de la investigación en este tipo de sistemas.
- Superficie solar: En función de la productividad por unidad de área y de las necesidades de agua, se calcula la superficie solar necesaria de intercepción.
- Radiación solar: La disponibilidad de radiación solar en las fechas en las que las necesidades de agua son mayores, es un requisito indispensable para poder proyectar una instalación. Ha de conocerse la distribución de la radiación solar en las distintas épocas del año. También en este caso existen una serie de fórmulas que nos permiten calcular la radiación solar incidente, en función de la latitud del lugar, altura y otros parámetros.

Así las cosas, este tipo de análisis no nos interesa en nuestro estudio, ya que no plantemos este tipo de proceso, aunque haya sido necesario estudiar el funcionamiento de esta técnica. Tras haber visto, tanto el proceso de ósmosis inversa y el de energía fotovoltaica, lo que se quiere argumentar es una alternativa en la desalinización como es la combinación de ambas técnicas.

c. La ósmosis inversa mediante energía fotovoltaica

Como ya hemos mencionado anteriormente, tanto la tecnología de ósmosis inversa como la de energía solar fotovoltaica tienen un elevado grado de madurez. Asimismo, poseen una amplia red comercial de fabricantes y suministradores. Sin embargo, apenas existen empresas capaces de ofrecer sistemas combinados (planta desaladora combinada con campo fotovoltaico).

Si bien es cierto, existe una destacada experiencia en la instalación, ensayo y operación de estos sistemas - probado a escala piloto y con cinco unidades funcionando (Túnez y Marruecos) en pueblos aislados con demanda de agua potable. Este método combinado otorgaría una posición ventajosa frente a la falta de combustibles fósiles o su encarecimiento en países desarrollados. Se plantea una alternativa, no competitiva con los precios de la energía convencional actuales, pero de cara al futuro la experiencia ganada servirá para promocionar esta tecnología de manera descentralizada (ITC, 2011).

Como vemos, esta alternativa que planteamos no está desarrollada ni se encuentra lo suficientemente avanzada como para poder mostrar estudios certeros. Pero, lo que queremos enunciar es la posible combinación de ambas tecnologías, que con el actual descenso de costes en el proceso desalador, se torna como una posibilidad nada despreciable que poder dibujar en un horizonte a medio y largo plazo. A continuación, veremos la aplicabilidad de distintos tipos de desalinización en la agricultura, mediante el análisis de aspectos importantes. Por último y antes de llegar a las conclusiones del escrito, plantearemos determinadas zonas de España donde el uso de la ósmosis inversa mediante energía fotovoltaica sería posible, así como deseable.

5. Aplicabilidad en la agricultura

a. Calidad y tolerancia del agua resultante del proceso desalador

El agua desalada no es asequible para la mayoría de los cultivos, en ocasiones puede resultar que sólo lo sea para los cultivos de gran valor, especialmente cuando se subvencionan los gastos de inversión (De la Cruz, 2006: 23). El agua salobre, al contener menos sal que el agua de mar, es preferible para la desalinización, en especial con miras a su utilización en la producción agrícola. Asimismo, se prefieren las plantas desalinizadoras situadas cerca del lugar donde van a ser utilizadas, para reducir al mínimo los gastos de transporte, aunque en lo que respecta a su funcionamiento y mantenimiento, las plantas pequeñas y medianas tienden a ser menos rentables que las grandes (FAO, 2005: 3).

Tras ver el grado de sensibilidad que necesitan los distintos tipos de cultivos, podemos analizar la calidad del agua resultante del proceso de desalación. Dependiendo del lugar donde se recoja el agua, se obtendrán distintas calidades tras desalarla (Tejerina, 2014):

- Agua del Mar Mediterráneo: 35.000 ppm
- Agua del Mar Rojo: hasta 45.000 ppm
- Calidad de agua obtenida: entre 500 y 800 ppm

Si hablásemos de agua salobre la salinidad puede variar desde 100-150 ppm, como puede ser agua de Madrid, a 1.500 – 2.000 ppm si es agua de Barcelona, Valencia e incluso en zonas costeras podemos encontrarnos pozos de 6.000 ppm, ya que existen infiltraciones de agua de mar.

Según los expertos consultados (Tejerina, 2014), el reparto de estas sales es muy difícil de determinar sobre todo el de agua salobre, mientras que el residuo seco del agua marina está compuesto en un 85-90 % de cloruro sódico (sal). La calidad de agua requerida va a depender del tipo de cultivo que estemos regando, dato que debería ser facilitado por el propio agricultor, aunque generalmente éste no posee ese tipo de información.

La calidad de agua requerida no tiene por qué ser mejor que la del agua de consumo humano, dependiendo del cultivo se requiere un agua u otra, y si el agua requerida debe ser muy buena (existe alta sensibilidad) se necesitaría un segundo paso de osmosis, es decir, tratar mediante otra nueva osmosis el permeado de la primera, siendo lógicamente más costoso. Sin embargo, esto podría no ser interesante para los agricultores, ya que con la ósmosis quitas sales y éstas son necesarias en los cultivos (Tejerina, 2014).

El residuo seco del agua de mar, como ya mencionamos anteriormente, se compone en un 85 – 90 % de cloruro sódico, por lo que si se tratase de regar con el permeado de la osmosis probablemente produciría un notorio deterioro en todas las plantas. Por lo que, en este caso, habría que hacer una remineralización de esa agua, siendo las sales que se añaden diferentes a las que se extraen. Es decir, se eliminaría CL- (cloro), Na+ (sodio) y se añadiría HCO₃⁻ (bicarbonato) y dureza (Tejerina, 2014).

Si bien es cierto, a la hora de hablar de la tolerancia del agua podemos ver una clasificación algo genérica, donde debemos atender a los distintos cultivos y al índice RAS de aguas de irrigación, de esta manera podremos clasificar el agua de acuerdo a distintos niveles de tolerancia. Esto lo podemos observar a continuación en la siguiente tabla:

Cuadro 4 - Tolerancia de los cultivos a la salina

Tolerancia	RAS de aguas de irrigación*	Cultivos
Muy sensible	2-8	Frutas, frutos de cáscara, cítricos y aguacates
Sensible	8-18	Judías
Moderada	18-46	Trébol, avena y arroz
Tolerancia	46-102	Trigo, cebada, tomates, remolacha y cereal alto

*RAS: índice usado que expresa la absorción de sodio, mediante la relación entre los iones de sodio, el calcio y el magnesio existente en el suelo. Fuente: Riesgo del sodio en regadío en <http://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/sar/riesgo-sodio-en-regadios.htm>

b. Comparación entre el tratamiento de aguas residuales y la desalinización del agua para uso agrícola

Tanto el tratamiento de aguas residuales como la desalinización del agua constituyen posibles fuentes de agua para la agricultura y otros fines. Las tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales terciarias y a la desalinización del agua tienen ciertos elementos comunes. La reutilización de aguas residuales en la agricultura es, por lo general, menos costosa que la desalinización del agua. Sin embargo, la reutilización de aguas residuales tratadas plantea también problemas en lo que respecta a la percepción del público y a posibles riesgos para la salud y el medio ambiente (FAO, 2005: 3).

En la agricultura urbana y periurbana se puede recurrir a soluciones híbridas, como por ejemplo una combinación de depuradoras de aguas residuales y plantas de desalinización. Aun así, es muy importante establecer normas relativas a la calidad de las aguas procedentes de depuradoras y la consiguiente vigilancia de los efluentes (FAO, 2005: 4).

Si bien es cierto que la OMS y la FAO han elaborado directrices sanitarias para la reutilización de aguas residuales tratadas, no existen normas comunes debido a la falta de una aplicación sistemática en países, con diferentes métodos de valoración de beneficios y costes del tratamiento.

Las conclusiones dadas por un grupo de expertos de la FAO (2005: 4) en procesos desaladores para aplicación agrícola en relación a este tema fueron las siguientes:

- La principal aplicación de la desalinización del agua es el suministro de agua potable.
- La aplicación de la tecnología de desalinización del agua en la agricultura es, normalmente, poco rentable. En particular, la desalinización del agua es en la actualidad mucho más costosa que la reutilización de aguas residuales tratadas para fines agrícolas.

- Hasta la fecha, la aplicación de la desalinización del agua a la agricultura se limita a cierto número de zonas, sólo se utiliza en el caso de algunos cultivos de gran valor cuando el gobierno subvenciona los gastos de inversión.

Así las cosas, los expertos de la FAO (2005: 4) destacaban la función de la desalinización del agua en la agricultura y con el objetivo de implantar esto se proponían ciertas medidas como son:

Vigilar periódicamente los avances en la desalinización del agua para uso agrícola y para el abastecimiento de agua con fines domésticos en las zonas rurales en situaciones de emergencia, para ofrecer la información más actualizada posible a los Estados miembros que lo soliciten; y reforzar, en el programa de trabajo del Plan a Plazo Medio 2006-11, las actividades de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas relativas a la reutilización sin riesgo de aguas residuales tratadas como fuente alternativa de agua para los agricultores donde ésta escasea. FAO (2005: 4)

Es decir, por lo que podemos rescatar de esta comparación es de vital importancia las subvenciones estatales de inversión para poder aplicar la desalación a usos agrícolas y que ésta sea rentable para los agricultores. Además de observar la evolución de esta tecnología, especialmente en estos momentos donde asistimos a una tendencia decreciente de sus costes. Asimismo y como veremos más adelante, en España esta técnica ya se utiliza en determinadas zonas geográficas.

c. Cantidad y valorización de residuos generados

Tras haber profundizado en los distintos procesos de desalación existentes, comparar técnicas y haber hablado del tipo de agua resultante, nos preguntamos: ¿qué ocurre con los residuos? Antes de nada, debemos destacar que dependiendo del método escogido existirán diferencias en la cantidad de residuos generados, principalmente siendo éstos salmuera. Contamos con un parámetro característico de los procesos de desalación denominado “Razón de Conversión” (*Recovery Ratio*) y que expresa los kilogramos de agua desalada producidos por los kilogramos de agua bruta (agua de

mar o agua salobre) incorporados al proceso desalador y por tanto, la diferencia entre ambos nos proporcionará el residuo (Alarcón, 2014).

En el caso de la ósmosis inversa de agua de mar este parámetro se sitúa en torno a un 35-45 % (Alarcón, 2014). Es decir, si estamos ante una razón de conversión del 45 % significa que de cada 100 kg de agua de mar que se introducen en el módulo de membranas, se producen 45 kg de agua dulce (Alarcón, 2014). Un ejemplo, si estamos ante una planta de ósmosis inversa con una producción de 50.000 m³/d, un factor de conversión del 45 %, una salinidad del agua de mar de 35.000 ppm. y una temperatura de 20°C, el caudal de salmuera será de 2.546 m³/h, con una concentración de sales de 63.316 ppm (Sánchez, 2003).

En el caso de la ósmosis inversa de aguas salobres, este factor puede llegar hasta el 80 % o incluso más (dependiendo de la salinidad original del agua). Cuanto menor la salinidad original, mayor puede ser la razón de conversión. En el caso de los procesos MED (Evaporación de Efecto Múltiple, *Multi-Effect Distillation*) y MSF (Evaporación Flash de Multietapas, *Multi Stage Flash*), la razón de conversión para agua de mar se sitúa entre el 33 y el 37,5 % (Alarcón, 2014).

Este tipo de actividad presenta una barrera muy elevada asociada al vertido de las salmueras (residuos trasladados y evacuados en el mar), ya que ocasionan grandes inversiones que encarecen elevadamente el precio final del agua y originan altos costes medio ambientales. En particular, tienen un gran impacto sobre las praderas de fanerógamas marinas, entre las que destaca la poseidonia oceánica (arraigadas a los lechos marinos del Mar Mediterráneo). Estas praderas son muy sensibles al aumento de la salinidad, por lo que el vertido de salmueras tiene un efecto grave sobre las mismas, a menos que se tomen las medidas adecuadas. La tolerancia a la salinidad de la poseidonia oceánica se ha fijado en 38,5 unidades prácticas de salinidad que son equivalentes a 39 gr/l (Fayanás, 2011).

La simbiosis entre plantas desalinizadoras y ecosistemas salobres se presentan, por tanto, como fuente idónea de recursos para la regeneración de humedales y también como alternativa ecológica para la evacuación de salmueras procedentes de la

desalinización de las aguas continentales. CEDAS y otros organismos científicos españoles han desarrollado un proyecto que consiste en abrir difusores de salmuera a lo largo del emisario de modo que se mezcle con el agua en una amplia zona lo que evita una fuerte concentración de sal, que se van difuminando por el efecto del oleaje. Los ecologistas de WWF/Adena aconsejan, asimismo, que se viertan en la superficie de mar para que se diluya mejor y no se acumulen en los fondos (Fayanás, 2011).

Sin embargo, la preocupación por los posibles efectos de los vertidos de salmuera de las desalinizadoras en la flora y fauna marina es relativamente reciente. Existen desalinizadoras funcionando desde hace muchos años y no se ha observado ningún cambio en la flora y fauna en la zona de vertido (Fayanás, 2011).

Así las cosas, técnicos del CIEMAT con los que hemos contactado (Alarcón, 2014) argumentan que la valorización de la salmuera de una planta desaladora sólo tiene sentido si existe una restricción medioambiental severa al vertido de la misma al mar:

De ninguna manera, desde un punto de vista económico, el tratamiento posterior de la salmuera ofrece hoy día un producto más económico que el que se pueda obtener por otros medios. (Alarcón, 2014)

6. Posible aplicación en zonas concretas

La escasez de agua dulce ha favorecido un desarrollo exponencial de la desalación a nivel internacional. Dentro de los procesos de desalación, el de ósmosis inversa es el que ha tenido mayor avance debido a su modularidad y a la importante reducción de los consumos de energía (menos de 3 kWh/m³). Sin embargo, la energía eléctrica que está asociada al consumo de fuentes tradicionales de energía primaria (combustibles fósiles, energía nuclear) tiene importantes impactos medioambientales (ITC, 2011).

Por otro lado, su aplicación precisa de la existencia de una red eléctrica de calidad. La implementación de sistemas de desalación autónomos con energías renovables ofrece la solución a esta situación, especialmente en lugares con escasez de agua dulce aislados de la red eléctrica (ITC, 2011).

Actualmente, las zonas geográficas del África Subsahariana, América del Sur e incluso Oriente Medio, se perfilan como idóneas para la instalación de este tipo de sistemas. Gozan de un importante recurso solar y sufren una menor disponibilidad de agua potable per cápita. Las previsiones de Naciones Unidas indican que el recurso del agua dulce será cada vez más escaso en todo el planeta, pero especialmente en los países en vías de desarrollo (ITC, 2011).

Como ya hemos visto, la tecnología de ósmosis inversa podría utilizar la electricidad procedente de un campo solar fotovoltaico con acumulación de energía para obtener el agua potable necesaria en cualquier entorno costero o del interior con agua salobre aislado de la red eléctrica.

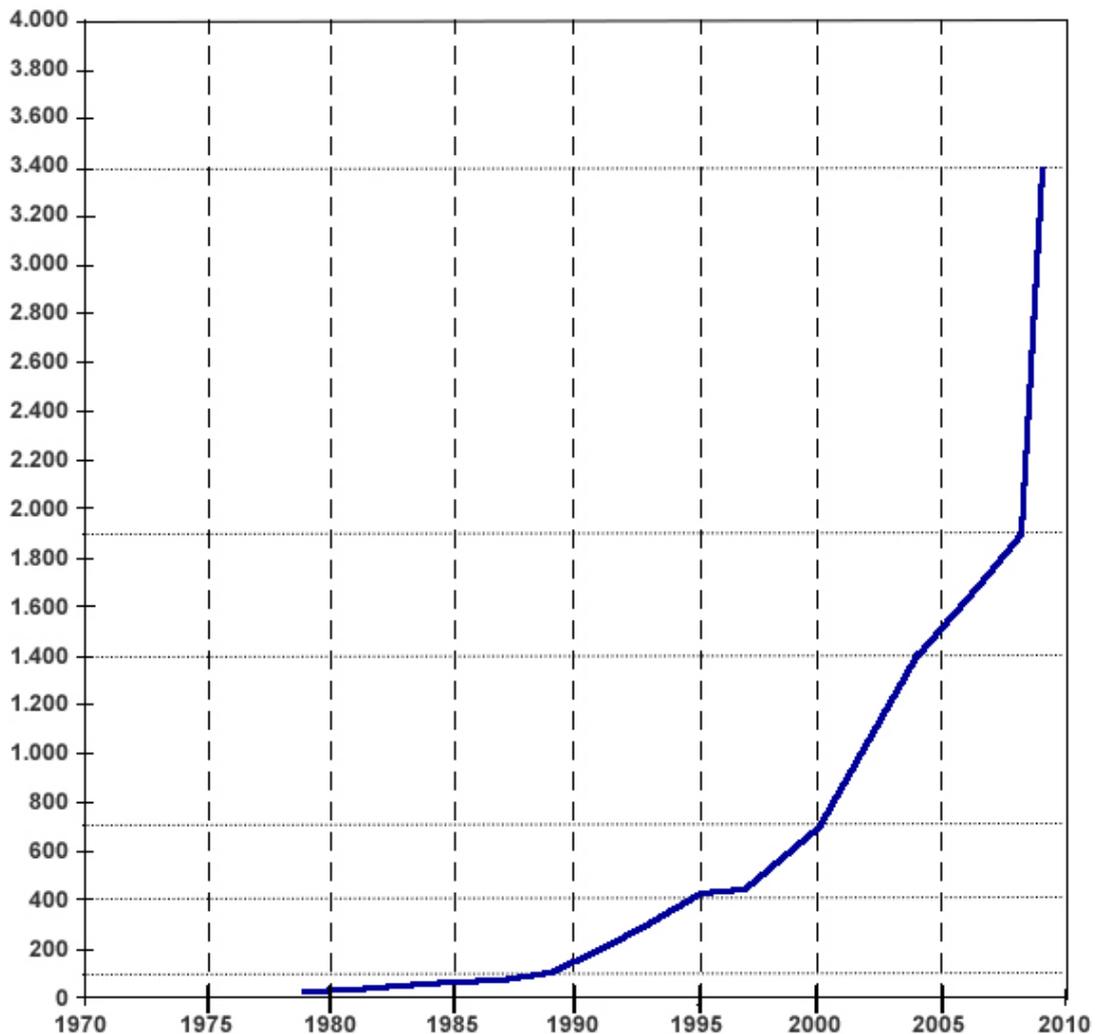
El sistema está concebido para pequeñas poblaciones (1-1500 habitantes), puesto que el factor de escala/coste de la inversión/suelo necesario limita la capacidad de producción instalada a 100 m³/día (algo más de 4 m³/h). Todo ello implica una producción real de unos 30 metros cúbicos al día (7-8 horas de producción diaria), por disponibilidad solar y optimización del sistema de acumulación de energía (ITC, 2011).

Los costes de inversión de un sistema de este tipo oscilan entre los 4.000 y 7.000 € por metro cúbico al día de producción nominal, dependiendo de la salinidad del agua de alimentación, la latitud del lugar y su aislamiento y el nivel de mantenimiento y seguimiento que se espera del sistema (remoto o presencial) (ITC, 2011).

a. Contexto económico y actividad agrícola

Como ya hemos mencionado, España es un país con grandes desequilibrios hídricos, toda la zona costera mediterránea, que tiene un gran desarrollo industrial y turístico, sufre de graves carencias hídricas. Como observamos (véase gráfico 8) la cantidad de agua desalada producida en nuestro país ha crecido exponencialmente en los últimos años.

Gráfico 8 - Evolución de la producción de agua desalada en España (medido en 100 m³ por día)



Fuente: Velilla, 2009

Las desalinizadoras instaladas a lo largo del territorio español se suelen concentrar en unas zonas concretas. Como vemos en los siguientes mapas, las pertenecientes al Programa A.G.U.A. del Ministerio de Medio Ambiente se agrupan en la costa

Mapa 3 - Situación de las plantas desalinizadoras del Programa A.G.U.A. (en hm³/año)



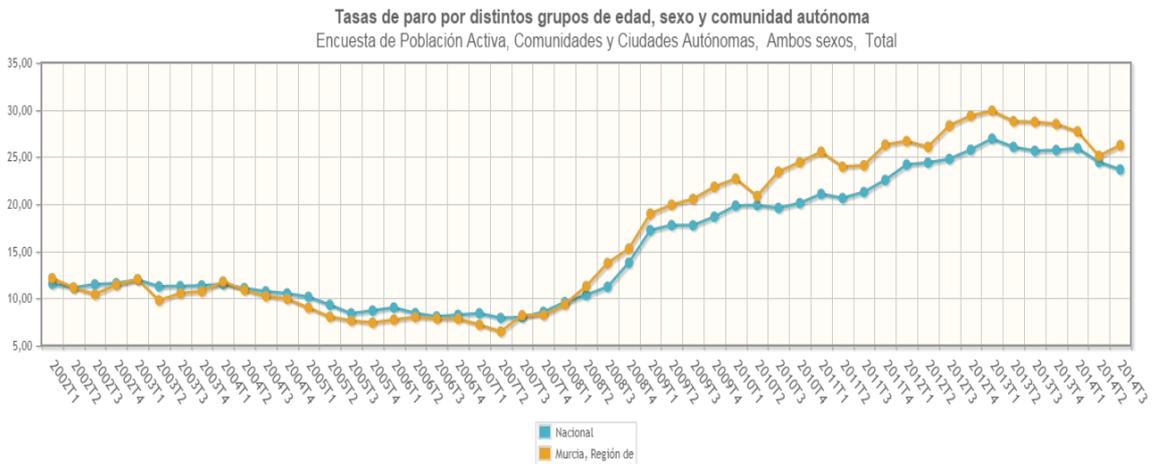
Fuente: Araus, 2007: 13

A finales del siglo pasado e inicios de este, España (gobernada por el Partido Popular) retrasó y dilató en el tiempo los proyectos para la desalinización, que se tenían para la cuenca del Segura, obstaculizando las iniciativas privadas y negando la evidencia de que en Murcia y Almería la desalinización constituye una alternativa solvente, competitiva en costes, para la solución de los problemas de escasez a corto y medio plazo, que es preciso tener seriamente en consideración.

Así las cosas, a continuación veremos un pequeño contexto económico, en particular observaremos la importancia o peso de la actividad agrícola en cuatro regiones donde abundan estas instalaciones: Murcia, Alicante, las Islas Canarias y Andalucía.

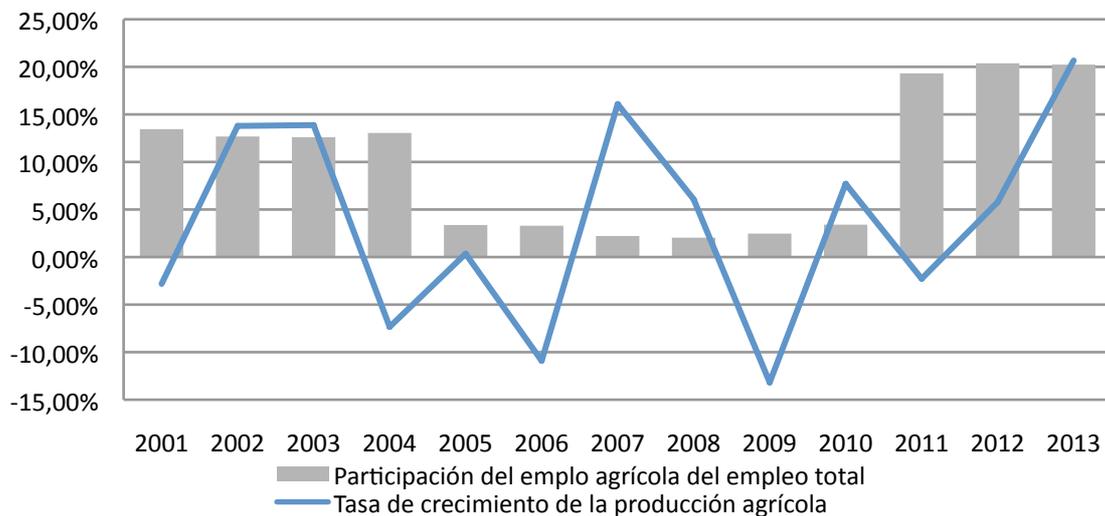
I. Región de Murcia

Gráfico 9 – Tasas de paro nacional y de la Región de Murcia, 2002-2014 (cuatrimestral)



Fuente: INE

Gráfico 10 – Peso de la agricultura en el empleo y tasa de crecimiento de la producción agrícola, Región de Murcia 2001-2013

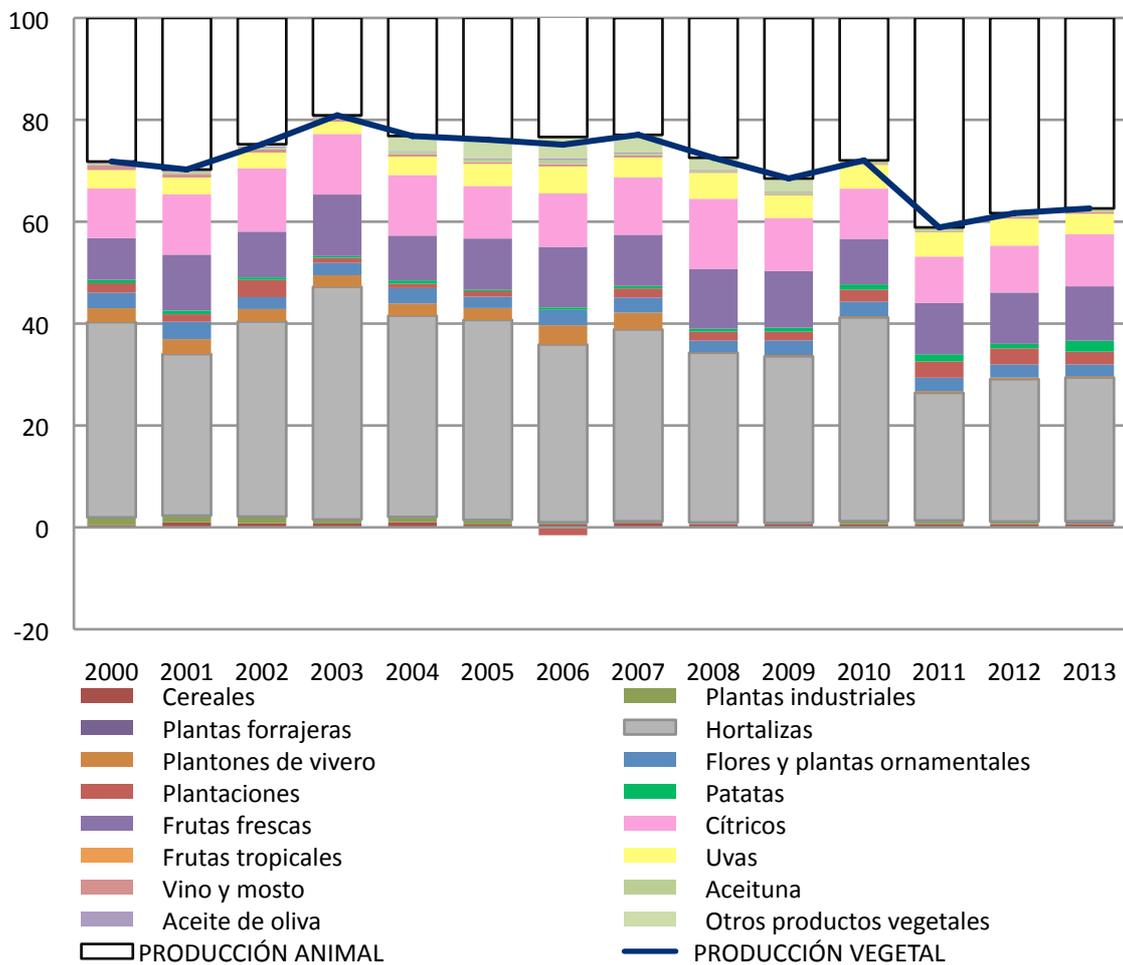


Fuente: Elaboración propia a partir de Centro Regional de Estadística de Murcia (CARM)

En el gráfico 9 podemos ver cómo la tasa de desempleo en la región de Murcia crece a un ritmo superior a la española teniendo el pico más alto en el primer trimestre de 2013, mientras que en el período 2005-2007 presentaba sus niveles más bajos. Es

precisamente entre 2005-2009 —plena burbuja— cuando la importancia del empleo agrícola en la región pierde importancia tanto por el aumento del empleo en otras ramas como por la disminución en ésta, aumentando hasta nivel preburbuja en 2011 —tanto por disminución en otras ramas como por aumento del número de personas que aglutina el sector. La tasa de crecimiento de la producción agrícola muestra una tendencia dentada desde 2001 por lo que es difícil describir una evolución que sólo parece realmente creciente a partir de 2011.

Gráfico 11 – Producción vegetal del total agrícola y peso de cada cultivo en la producción agraria total, Región de Murcia 2000-2013



Fuente: Elaboración propia a partir de CARM

La producción vegetal del total de la producción agrícola murciana es su principal componente aunque muestra una tendencia decreciente pasando de ser un 71,82 % en el 2000 a un 62,61 % en 2013. Los principales cultivos son —de mayor a menor peso

en la producción—las hortalizas, las frutas secas, los cítricos, las uvas y las flores y plantas ornamentales

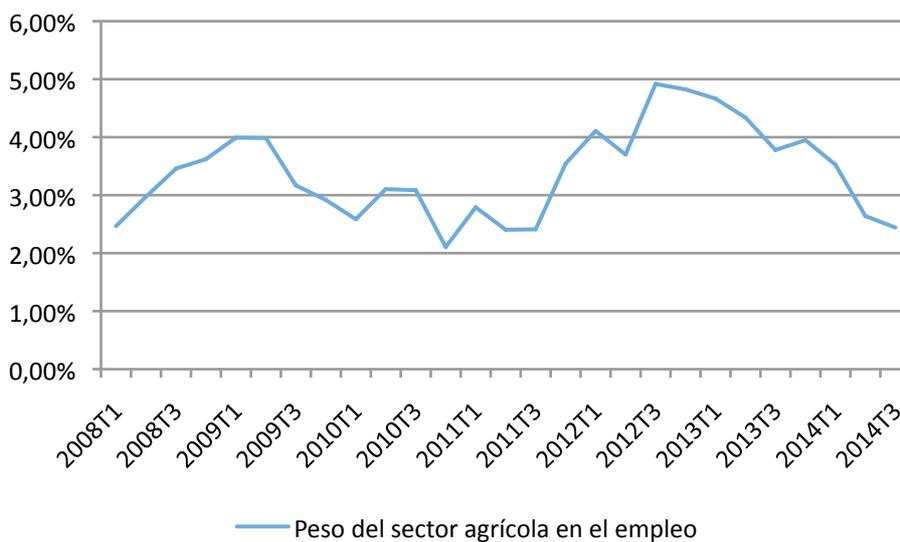
II. Alicante

Gráfico 12 – Tasa de paro, Alicante 2002-2014 (cuatrimestral)



Fuente: INE

Gráfico 13 – Peso del sector agrícola en el empleo total, Alicante 2008-2014



Fuente: elaboración propia a partir de la EPA (encuesta de población activa)

La tasa de desempleo en la provincia —gráfico 12— se ha acrecentado aceleradamente desde la crisis de 2008 mientras que la ocupación agrícola con respecto de la total se ha mantenido en valores entre el 5 y el 2 % —gráfico 13—.

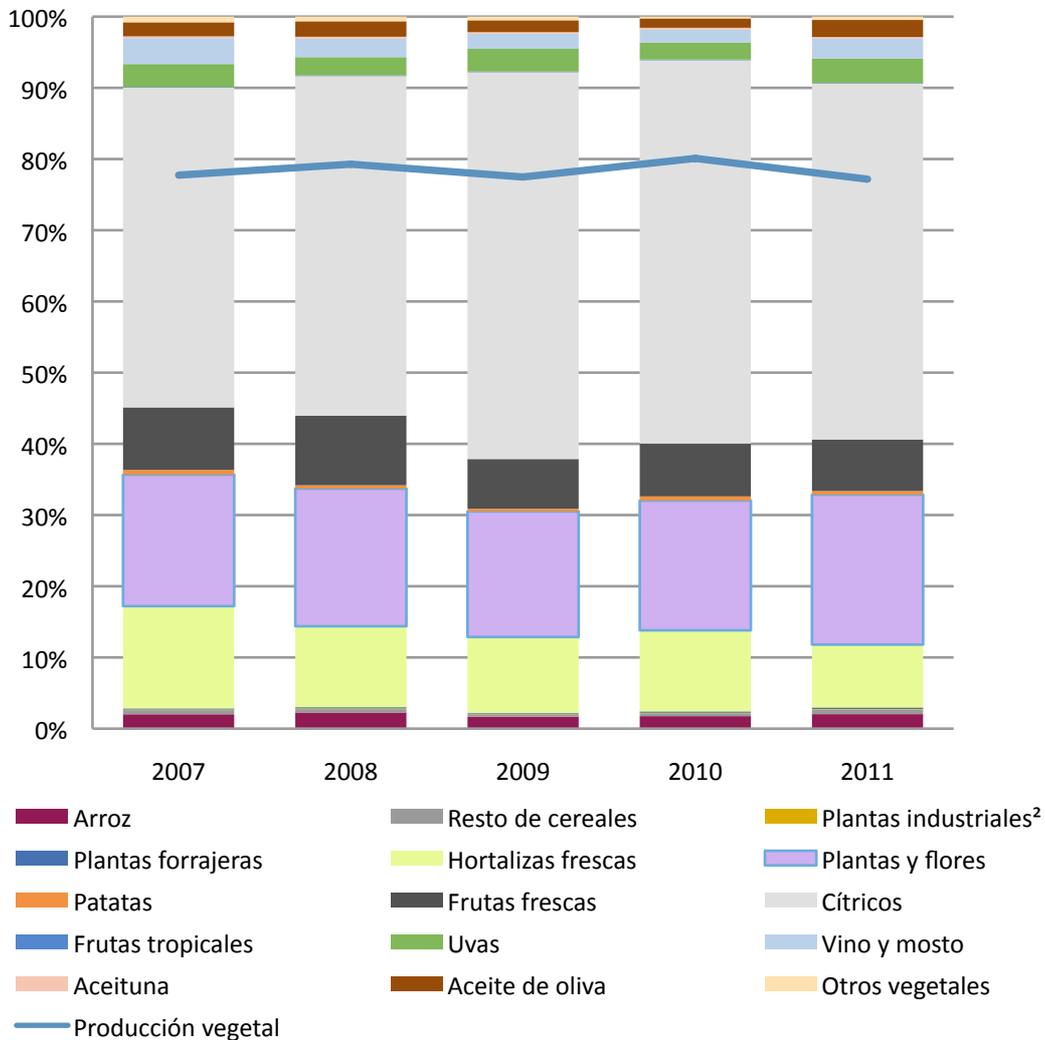
Gráfico 14 – Porcentaje de la producción agrícola con respecto a la producción total, Alicante 2009-2011



Fuente: elaboración propia a partir del IVE (Instituto Valenciano de Estadística)

El peso de la agricultura ha en la producción total disminuyó considerablemente en el año 2011 —gráfico 14— mientras que la producción de vegetales se ha mantenido constante en relación con la producción agrícola total siendo los cítricos, las plantas y flores, las hortalizas y frutas frescas los más cultivados —gráfico 15—.

Gráfico 15 – Participación de la producción vegetal en la producción agraria total (línea continua) y de los distintos productos vegetales en la producción vegetal total (eje izquierdo), Alicante 2007-2011

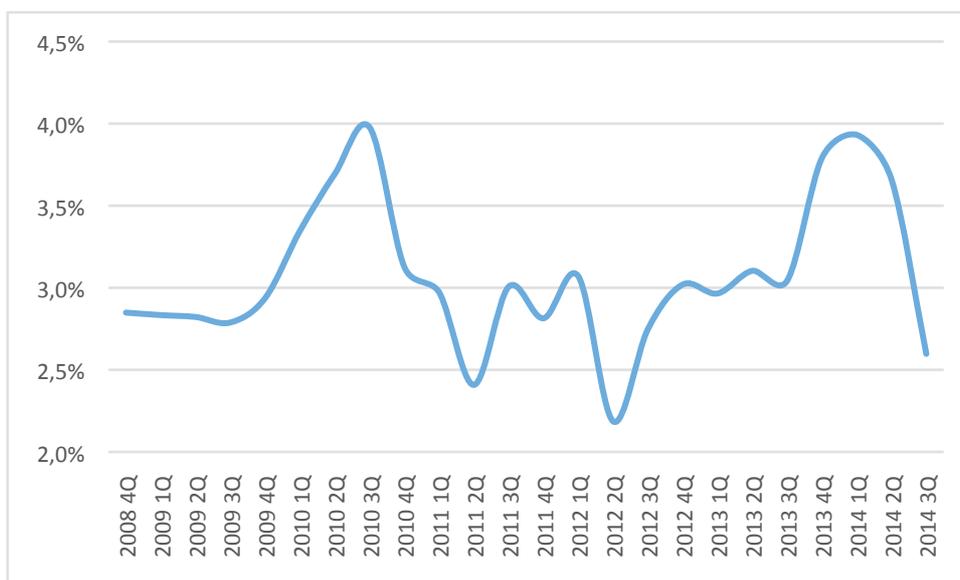


Fuente: elaboración propia a partir del IVE

III. Islas Canarias

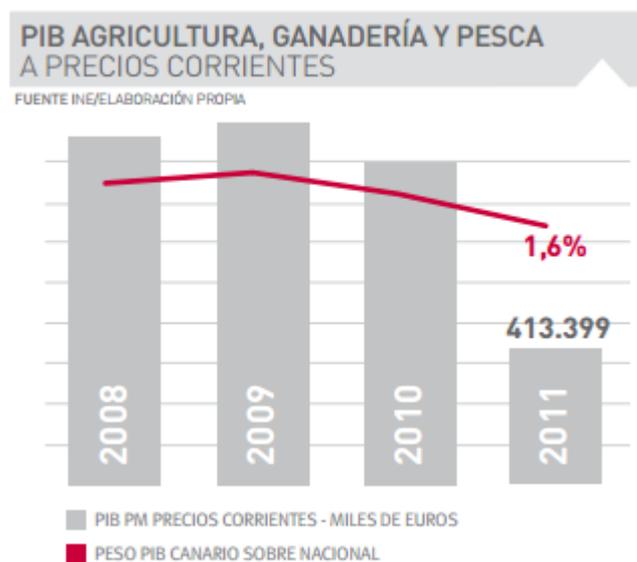
Como podemos observar en los anteriores gráficos, la agricultura en la economía Canaria tiene un peso, si nos fijamos en el empleo, de en torno al 2-4 %, vemos cómo en el año 2012 hay una caída situándose en el nivel más bajo del periodo. Asimismo, la tasa de paro de las Islas Canarias es especialmente elevada, mayor del 30 % en la época de crisis y bastante mayor que la nacional.

Gráfico 16 – Peso de la agricultura en el empleo, Islas Canarias 2008-2014 (cuatrimestral)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE y del ISTAC

Gráfico 17 – PIB agricultura, ganadería y pesca (a precios corrientes) y peso del PIB canario sobre nacional, 2008-2011



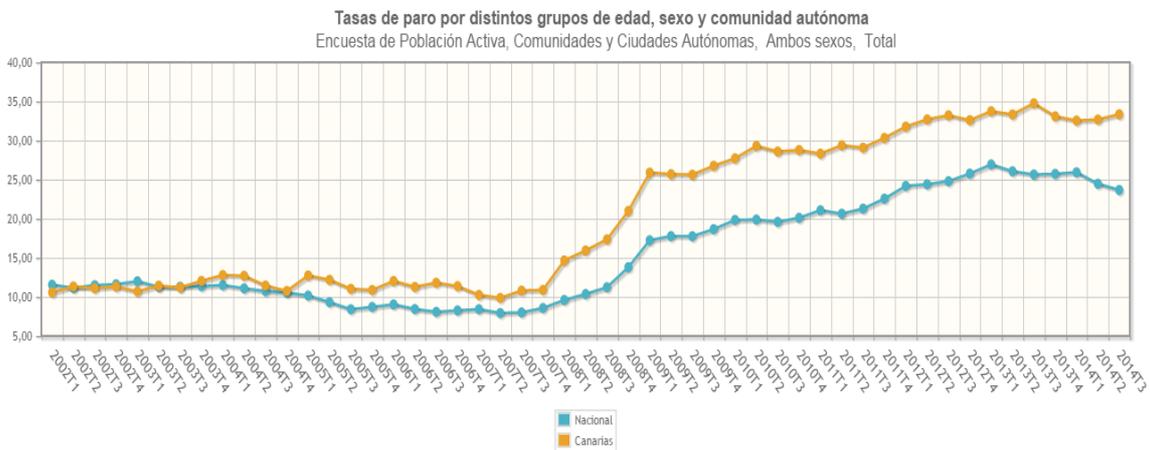
Fuente: Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Santa Cruz de Tenerife

Gráficos 18, 19 y 20 – Número de ocupados y parados en Canarias en sector agricultura (2010 y 2011); Paro registrado en agricultura en Canarias (2011) y Afiliados a la Seguridad Social en agricultura en Canarias (2011)



Fuente: Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Santa Cruz de Tenerife

Gráfico 21 – Tasa de paro nacional y de las Islas Canarias, 2002-2014 (cuatrimestral)



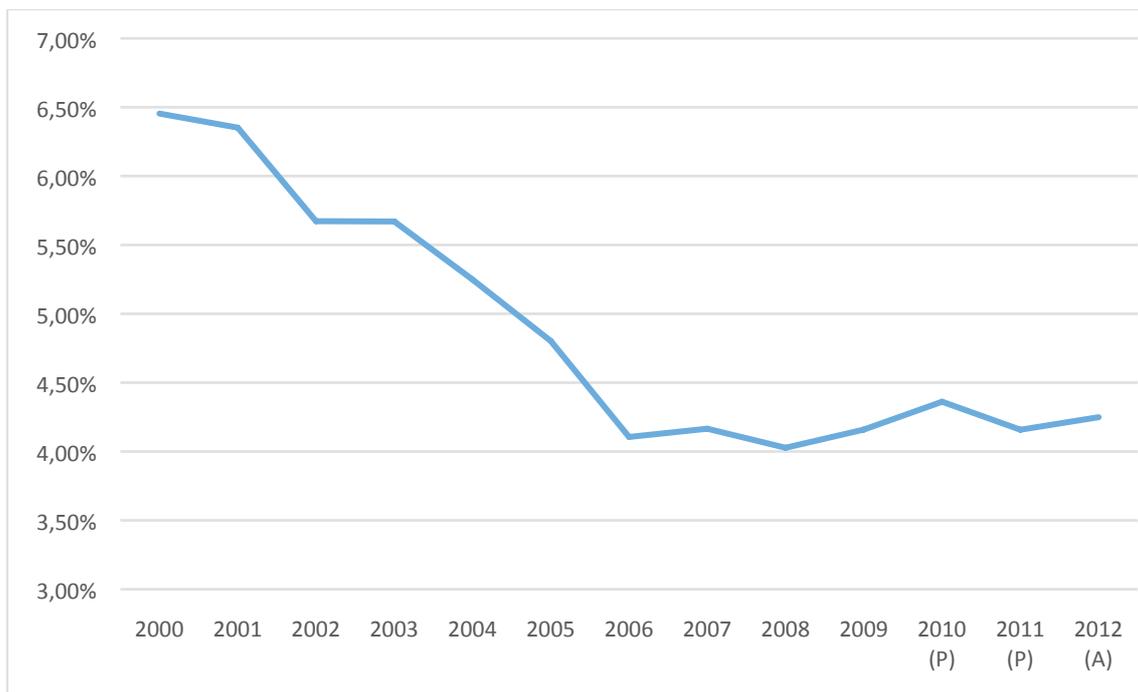
Fuente: INE

Los cultivos trabajados en la comunidad canaria son principalmente: el tomate, el plátano –ambos con importantes cifras de exportación-, la patata, el pepino y las flores.

IV. Andalucía

Si observamos el gráfico 22 podemos ver la importancia de la agricultura en el producto andaluz, siendo su peso de en torno al 4-6,5 %. Vemos también cómo la crisis pone fin a la tendencia decreciente de ésta, a partir del 2007 se estabiliza su porcentaje en torno al 4 %.

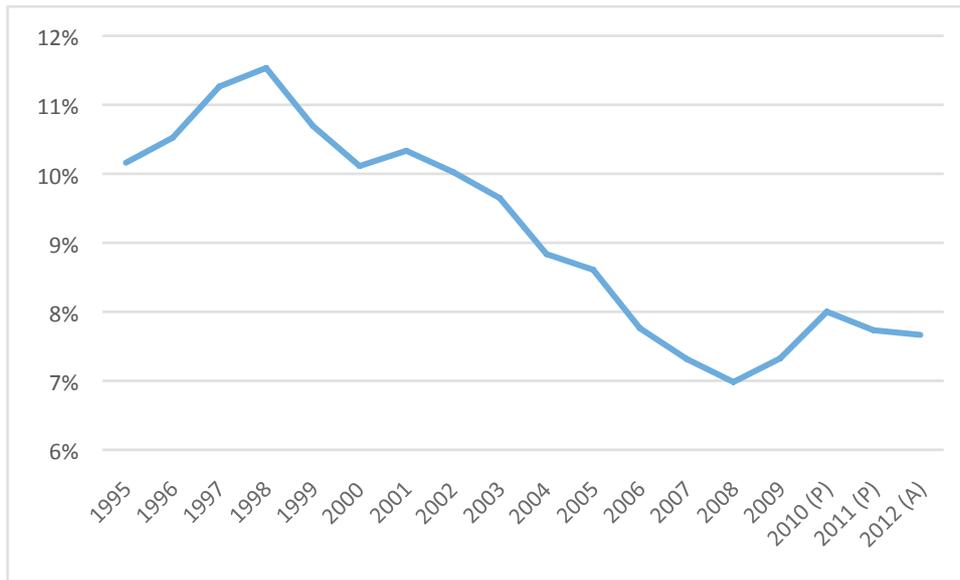
Gráfico 22 – Peso de la agricultura en el PIB de Andalucía, 2000-2012



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía

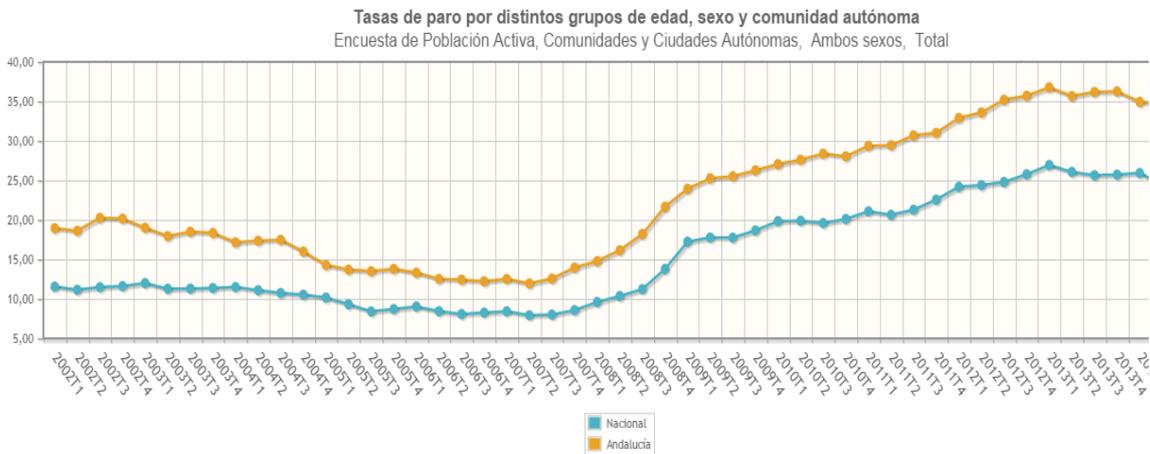
Por otro lado, y hablando del peso en el empleo en Andalucía (véase el gráfico 23) podemos observar cómo tiene un porcentaje no despreciable, que oscila entre el 7 y el 12 %. Al igual que en las otras regiones la tasa de paro de Andalucía es superior a la tasa nacional (véase gráfico 24), siendo esto previo a la crisis y siendo superior durante todo el periodo analizado y llegando a tasas enormemente elevadas, mayores al 35 %.

Gráfico 23 – Peso de la agricultura en el empleo andaluz, 1995-2012



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía

Gráfico 24 – Tasa de paro nacional y de Andalucía, 2002-2014 (cuatrimestral)



Fuente: INE

La agricultura en Andalucía se ha basado tradicionalmente en el cultivo del trigo, el olivo y la vid, la llamada tríada mediterránea. En las últimas décadas los cultivos tradicionales han ido retrocediendo en el interior en favor de los cultivos intensivos y extensivos de trigo, arroz, remolacha, algodón y girasol. Del mismo modo se han extendido los cultivos bajo plástico en invernaderos, destacando los cultivos hortícolas del Poniente Almeriense y la floricultura en Chipiona y su entorno (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía).

b. Caso particular de desalación actual

I. Islas Canarias y desalación eólica

Hemos escogido el caso canario para observar un caso particular de desalación en territorio español, primero veremos las funciones investigadoras del Instituto Tecnológico de Canarias y a continuación, hablaremos de la isla de Lanzarote y del proyecto de desalación a través de energía eólica en el municipio de Corralejo como ejemplo de este tipo de tecnología aplicado actualmente.

Canarias se ha convertido en líder tecnológico de la ósmosis inversa, ya hay más de un millón de canarios que utilizan el agua desalinizada. Desde 1965, año en el cual el turismo se desarrolló, provocó un fuerte aumento de la población y en consecuencia un aumento muy importante de la demanda de agua.

El Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) lleva probando y supervisando sistemas de desalinización con energía eólica, solar y fotovoltaica durante más de 15 años. Las instalaciones del ITC se ubican en Pozo Izquierdo, donde cuentan con fácil acceso al agua de mar, abundante energía eólica y solar, infraestructuras punteras y expertos con alta cualificación (ITC, 2014).

ITC es una Empresa Pública, creada por el Gobierno de Canarias mediante Decreto 139/1992 de 30 de julio, y adscrita a la Consejería Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias, cuya actividad se enmarca en el campo de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación, desarrollándose principalmente en el ámbito del Archipiélago canario. Entre sus fines esenciales está el impulsar el avance tecnológico orientado a mejorar las condiciones y calidad de vida del entorno social, y apoyar el desarrollo integral del Archipiélago canario, a través de la ejecución de prácticas y proyectos relacionados con la I+D+i (ITC, 2014).

La primera desalinizadora se implantó en la isla de Lanzarote, con escasos recursos hídricos. Es una planta por evaporación que funciona con petróleo, condensando el vapor ya separado de la sal marina. En el año 2004, más de 150.000 habitantes de la isla utilizaban esta planta que funciona por el método de ósmosis inversa, lo que ha permitido bajar sus costes generalizando su uso. Asimismo, la mitad de los habitantes de Gran Canarias utilizan el agua desalinizada. Hay que destacar, que la desalinización

únicamente resulta rentable para el suministro de agua en puntos situados en una cota inferior a los 400 m de altitud.

Recientemente el ITC se ha sacado un nuevo producto compacto de desalación de agua de mar o salobres autónomo denominado DESSOL. Básicamente, la tecnología de ósmosis inversa hace uso optimizadamente de la electricidad procedente de un campo solar fotovoltaico con acumulación de energía para obtener el agua potable necesaria en cualquier entorno costero o del interior con agua salobre aislado de la red eléctrica.

En principio, ha sido creado para pequeñas poblaciones (1-1500 habitantes), puesto que el factor de escala/coste de la inversión/suelo necesario limita la capacidad de producción instalada a 100 m³/día (algo más de 4 m³/h). Ello implica una producción real de unos 30 metros cúbicos al día (7-8 horas de producción diaria), por disponibilidad solar y optimización del sistema de acumulación de energía. Sus costes de inversión oscilan entre los 4.000 y 7.000 € por metro cúbico/día (de 24 horas), de producción nominal instalado dependiendo de la salinidad del agua de alimentación, la latitud del lugar y su aislamiento y el nivel de mantenimiento y seguimiento que se espera del sistema (remoto o presencial). Ya existen cinco unidades de funcionamiento (Túnez y Marruecos) en pueblos aislados con demanda de agua potable.

Sus ventajas frente a otras tecnologías son:

- Puede producir miles de litros al día de agua potable al momento sin conexión eléctrica o grupos de diésel.
- Su diseño le permite adaptarse a las condiciones locales de una ubicación específica.
- Funciona casi automáticamente con un personal mínimo de mantenimiento.
- Ofrece una alternativa a los combustibles fósiles y al encarecimiento de estos en países desarrollados.

Este nuevo sistema está patentado por el ITC, que cuenta con un know-how protegido asociado a la combinación de las tecnologías, su diseño, operación y control aunque cedió la patente a la empresa canaria SATAI en 2011 por cinco años para que siga investigando en esta nueva tecnología y ha acordado con esta servicios de asesoramiento e inversión relacionados con esta nueva tecnología para la concepción y

el diseño de los tres primeros sistemas DesSol: para agua salobre, para agua de mar y uno que incluya aporte eólico de apoyo.

Además de en España, la tecnología DESSOL ya está patentada en 18 países más (Marruecos, Túnez y las naciones integrantes de la Organización Africana de la Propiedad Intelectual OAPI: Benin, Burkina Faso, Camerún, Chad, Congo, Côte d'Ivoire, Gabón, Guinea, Guinea Bissau, Guinea Ecuatorial, Malí, Mauritania, Níger, República Centroafricana, Senegal y Togo) (energías renovables, 2011).

Un grupo de ingenieros de la empresa china *Power Engineering Consulting Group Corporation* visitó a comienzos de 2013 la planta potabilizadora que el Consorcio de Abastecimiento de Aguas de Fuerteventura (CAAF) gestiona en el municipio isleño de Corralejo. Esta instalación es singular debido a que está asociada a un parque eólico de autoconsumo de 1,7 MW. La desaladora de Corralejo tiene una capacidad diaria de producción de agua potable de 4.000 m³ (EFE, 2013).

El Consorcio de Abastecimiento de Aguas de Fuerteventura, donde un 60 % es propiedad del Cabildo de Fuerteventura y un 40 % corresponde a seis entes municipales (Barrero, 2013), a comienzos de siglo se planteó como estrategia dotarse de pequeños parques eólicos de autoconsumo (Peñate, 2013: 32) para sus desaladoras, dado que el gran problema de la desalación en nuestros días ya no es la tecnología, sino la excesiva dependencia que esta tiene de la energía. Así, CAAF puso en marcha a mediados de 2010 el Parque Eólico de Autoconsumo de la Planta Desaladora de Corralejo, de 1,7 MW, en el que invirtió en torno a 2,6 millones de euros (CAAF, 2014).

La energía generada por el parque ronda los 3.400 MWh al año y, según el CAAF, actualmente el 83 % de la electricidad necesaria para operar la desaladora de Corralejo sale del parque eólico asociado. Así las cosas, "el objetivo es llegar a producir el 100% de la energía que necesitamos para desalar agua de fuentes renovables; para ello, el CAAF también trabaja actualmente en la ampliación de la potencia del parque eólico de Jandía, para pasar de los actuales 10 MW hasta 16 MW, reduciendo el número de aerogeneradores al sustituirlos por otros de última tecnología" (Barrero, 2013).

Por su parte, el parque de Jandía de 10,26 MW, fue promovido por CAAF en 1989 "en el ánimo de mitigar lo más posible la alta repercusión que tiene el capítulo energético en el coste del metro cúbico de agua producida". Se afirma que aún "sin la prima a las renovables, los autoconsumos asociados a las plantas desaladoras de agua de mar siguen siendo rentables" (Barrero, 2013).

En los últimos 25 años, Canarias ha tenido tres planes energéticos. El primero de ellos, de 1986, apostaba por el carbón como solución a las necesidades energéticas del archipiélago, satisfechas entonces con petróleo. El segundo, de 1989, se posicionaba ya a favor del gas natural, que era entonces contemplado como "alternativa más eficiente y menos negativa para el medio ambiente" que el carbón. El tercero, Plan Energético de Canarias (Pecan) 2007-2015, persigue un "objetivo básico": alcanzar un 30 % de la generación eléctrica mediante fuentes de energía renovable. El objetivo eólico es conseguir 1.025 MW en 2015. Aunque el balance del año 2012 publicado por la Asociación Empresarial Eólica (cerrado a 31 de diciembre) registraba en el archipiélago menos de 160,1 megas, muy lejos, del objetivo previsto hace más de un lustro (Barrero, 2013).

7. Conclusiones

La necesidad de agua dulce en el mundo tiene una tendencia creciente a medida que la población, industria y agricultura se aglutina en zonas con escasez de recursos hídricos. De ahí la importancia de mejorar la eficiencia y competitividad del agua desalada en el mundo.

España no se destaca por su capacidad tecnológica en general, sin embargo, se ha convertido en pionera de las técnicas de desalinización por ósmosis inversa, además de situarse en la vanguardia de las energías alternativas. Somos el quinto país en desalinización mundial, lista que encabeza Arabia Saudita y los Emiratos Árabes, y el primero en su utilización para la agricultura.

En nuestro país, debido a las condiciones meteorológicas, la implantación de desaladoras ha sido muy útil en lugares intensivos en agricultura y turismo con grandes dificultades hídricas como puede ser Canarias, Andalucía o el sureste español. Esta cercanía hacia el problema del agua ha favorecido la investigación e innovación sobre desalación en el país, convirtiéndonos en punteros y posicionando empresas líderes como Acciona, Ferrovial, FCC o Sacyr.

El precio del agua desalada ha tenido una tendencia decreciente en los últimos veinte años, debido a la reducción de costes —tanto energéticos como de inversión— siendo éstos cada vez más competitivos, aunque dependan mucho del tipo de agua y del tamaño de la planta siendo imposible poder dar unos parámetros generales para el sector.

En un gran número de casos, la falta de agua dulce natural coincide con lugares con un gran número de horas de sol al año, lo que permite plantear el uso de la energía solar fotovoltaica — permite la obtención de energía eléctrica mediante células solares— en el proceso de ósmosis inversa como modelo menos contaminante, aunque todavía se necesite avanzar en la disminución de los coste energéticos de la fabricación de células solares, la capacidad de almacenamiento de ésta y en el espacio necesario para obtener cantidades de energía apreciables. A pesar de ello, su aplicación al proceso desalador tendría claros beneficios —la obtención de energía sería muy barata, inagotable y limpia, al no consumir combustibles fósiles no habría emisiones de CO₂,

no produce contaminación acústica y su instalación y mantenimiento es relativamente simple—. Sin embargo, para poder concluir acerca de su viabilidad sería necesario un estudio más profundo teniendo en cuenta: el agua necesaria, la productividad por unidad de área, la superficie solar y la radiación solar.

La utilización de agua desalada en la agricultura depende del tipo del cultivo del que se esté tratando —sensibilidad de este a la salina del agua—en ocasiones, se necesitará tratar el agua dos veces lo que elevará sus costes y en otras las sales de las aguas menos puras servirán de nutrientes. A pesar de que la reutilización de agua residuales en la agricultura es menos costosa que la desalinización, ésta presenta más problemas con respecto a la percepción del público, los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente. Es por esto la importancia de las subvenciones estatales tanto para la inversión en desaladoras con usos agrícolas como en la investigación de nuevas tecnologías para conseguir una reducción paulatina de costes.

El mayor coste medioambiental que presenta la desalación es el vertido de salmueras al mar que alteran las praderas de fanerógamas marinas, por ello los técnicos del CIEMAT advierten de la necesidad de una regulación medioambiental estricta con respecto al vertido y tratamiento de estos residuos puesto que su valorización no es económicamente rentable en muchos casos.

España es un país con graves problemas hídricos sobre todo en el sureste del país —el cual cuenta con una rica industria, turismo y agricultura intensiva—. Esto conlleva a la búsqueda de nuevas fuentes de agua complementarias a las naturales y a que exista una red de desaladoras extendidas por las zonas donde la escasez de agua es más aguda — Murcia, Alicante, Almería, Málaga y las Islas Canarias—. En definitiva, las regiones en España que presentan mayor gravedad de problemas hídricos son a su vez las que mayores horas de sol al año presentan y, por tanto, se podría obtener un mayor aprovechamiento en el uso de la energía fotovoltaica. Asimismo, la agricultura intensiva juega un papel importante en sus economías (tanto en producto como en empleo) y estas zonas presentan una tasa de paro muy elevada, por lo que la innovación en la desalación la consideramos crucial para la evolución de éstas.

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, D. (2014) Información proporcionada en entrevista personal, Técnico del CIEMAT

Asamblea de Murcia (sin fecha) Murcia y el agua. Historia de una pasión. En [asambleamurcia.es](http://www.asambleamurcia.es), disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): http://www.asambleamurcia.es/murcia_agua/cap15.htm

Araus, M. (2007) Programa AGUA. Desalinización como instrumento de autosuficiencia hídrica territorial, ACUAMED (Agua de las Cuencas Mediterráneas, S.A.) en Biblioteca Digital de CICCIP (Colegio de Ingenieros de Camino

Barrero, A. (2013) China se interesa por la desalación eólica canaria, en Energías Renovables, 29 de marzo de 2013, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.energias-renovables.com/articulo/china-se-interesa-por-la-desalacion-eolica-20130329>

Buitrago, M. (2014) “La Confederación apuesta por desalinizar más agua para salvar parte del regadío” en La Verdad, disponible en la web (última visita: 5 de noviembre de 2014): <http://www.laverdad.es/murcia/201409/30/confederacion-apuesta-desalinizar-agua-20140930015637-v.html>

CAAF (2014) Información recogida en la página web del Consorcio de Abastecimiento de Aguas de Fuerteventura (CAAF), disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://caaf.es/>

Cámara de Zaragoza (sin fecha) El programa AGUA, disponible en la web (última visita: 22 de Diciembre de 2014): <http://www.camarazaragoza.com/medioambiente/docs/publicaciones/publicacion87.pdf>

CARM (2014) Datos del Centro Regional de Estadística de Murcia

Hernández, E. (2007) “La desalación, alternativa viable para la obtención de agua” en Revista DAPHNIA, número 42, Primavera 2007.

Díaz, A. (2004) El mar, gran reserva de agua dulce. Reportaje: La eliminación de la mayor obra del plan hidrológico, en El País, 19 de junio de 2004, Madrid, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): http://elpais.com/diario/2004/06/19/espana/1087596005_850215.html

De la Cruz, C. (2006) La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables. Documento de trabajo 88/2006, en Laboratorio de Alternativas (Fundación Alternativas), ISBN: 84-96653-01-3

EFE (2013) Ingenieros chinos conocen el sistema de desalación de agua con energía eólica, en Inversión y Finanzas, 27 de marzo de 2013, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.finanzas.com/noticias/empresas/20130327/ingenieros-chinos-conocen-sistema-2258254.html>

Energías renovables. El periodismo de las energías limpias (2011). Disponible en la web (última visita: 3 de Enero de 2015): <http://www.energias-renovables.com/articulo/canarias-apuesta-por-la-desalacion-solar>

Estevan, A. (2007) "Desalación, energía y medio ambiente". En Fundación Nueva Cultura del Agua, Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Convenio Universidad de Sevilla-Ministerio de Medio Ambiente

FAO (Comité de agricultura) (2005) "Desalinización del agua para aplicaciones agrícolas", 19º período de sesiones, Roma, 13-16 de abril de 2005, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.fao.org/docrep/meeting/009/j4238s.htm>

Fariñas, M. (2005) "La desalación por ósmosis inversa: aspectos técnicos, económicos y medioambientales". En Jornada sobre la dessalació d'aigües, Colegio de Ingenieros Industriales de Cataluña, Barcelona, mayo 2005.

GWI (2012) Who are the market leaders? En desalination.com, 2012, disponible en la web (última visita 22 de Diciembre de 2014): <http://www.desalination.com/market/who-are-market-leaders>

Fayanás, E, (2004) El problema del agua en Oriente medio. En elconformistadigital.com, 20 de junio de 2003, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.elinconformistadigital.com/modules.php?file=article&name=News&op=modload&sid=549>

Fayanás, E. (2011) ¿Es la desalación el futuro del agua? En nuevatribuna.es, 23 de julio de 2011, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): <http://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/-es-la-desalacin-el-futuro-del-agua-en-el-mundo/20110723190425058416.html>

Hanna Instruments (2014) Desalinización en Blog Hanna, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): <http://www.hannainst.es/blog/desalinizacion/>

Hernández, E. (2007) "La desalación, alternativa viable para la obtención de agua" en Revista DAPHNIA, número 42, Primavera 2007.

Iagua (2015) Información recogida en la página web de iagua, disponible en la web (última visita: 25 de enero 2015): <http://www.iagua.es/noticias/arabia-saudita/abengoa/15/01/21/abengoa-y-awt-desarrollaran-primera-desaladora-mundo-que>

ICEX (2007) La desalinización en España. Cuadernos sectoriales, en España, Technology for life. Ciclo del Agua, 02, Spain Business, Ministerio de Medio Ambiente, Enero de 2007

INE (2014) Datos

Infoagro (2006) Desalinización de aguas para riego con energía solar, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): http://www.infoagro.com/riegos/energia_solar.htm

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (2014) Datos

ISTAC (2014) Datos del Instituto Canario de Estadística

ITC (Instituto Tecnológico de Canarias) (2011) Desalación por ósmosis inversa mediante energía solar fotovoltaica-DESSOL®, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): <http://www.itccanarias.org/web/tecnologias/agua/dessol.jsp?lang=es>

IVE (2014) Instituto Valenciano de Estadística

Lenntech (sin fecha) Riesgos del sodio en regadío. En lenntech.es, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/sar/riesgo-sodio-en-regadios.htm>

Mártel, I.; San Andrés, E. (2014) “¿Tiene alguna ventaja la energía solar?” en el Blog de econoNuestra en Público, disponible en la web (última visita: 21 de diciembre de 2014): <http://blogs.publico.es/econonuestra/2014/10/27/la-energia-solar-poco-eficiente-impredecible-costosa-tiene-alguna-ventaja/>

Miliarium (2008) Introducción al programa AGUA. En miliarium. Com, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/ProgramaAGUA/Introduccion.asp>

Peñate, B. (coord.) (2013) Plan de ECOGESTIÓN en la producción y distribución de agua de Canarias (2014-2020), Estudio realizado por el Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. dentro de la encomienda Orden nº 196/2013, de 15 de abril por parte de la Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias. Departamento de Agua, División de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Noviembre de 2013

Pérez, D (2013) ¿Pesimista? Cuatro sectores emergentes que lidera España. En elconfidencial.com, 28 de agosto de 2013, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre 2014):http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2013-08-28/pesimista-cuatro-sectores-emergentes-que-lidera-espana_21766/

Sánchez, J.M. (2003) El fenómeno de la Osmosis en la dispersión de la salmuera en un lecho marino, Jornada científica: Plantas desaladoras y vertido al medio marino, EcoAgua Ingenieros, Murcia, 13 de marzo de 2003

Tejerina, S. (2014) Información proporcionada en entrevista personal, Grupo SETA, Responsable del Departamento Técnico-Comercial

Velilla, J. (2009) La desalinización como fuente de recursos hídricos. En Geopress, 24 de diciembre de 2009, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): http://www.catedu.es/geografos/index.php?option=com_content&view=article&id=438:la-desalinizaciomo-fuente-de-recursos-hicos&catid=145:actividades&Itemid=260

Zarza, E. (1997) “Desalinización del agua del mar mediante energías renovables”, Plataforma Solar de Almería-CIEMAT

Zúñiga, J. (sin fecha) La desalinización: una opción a tener en cuenta, disponible en la web (última visita: 22 de diciembre de 2014): <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia26/HTML/articulo04.htm>