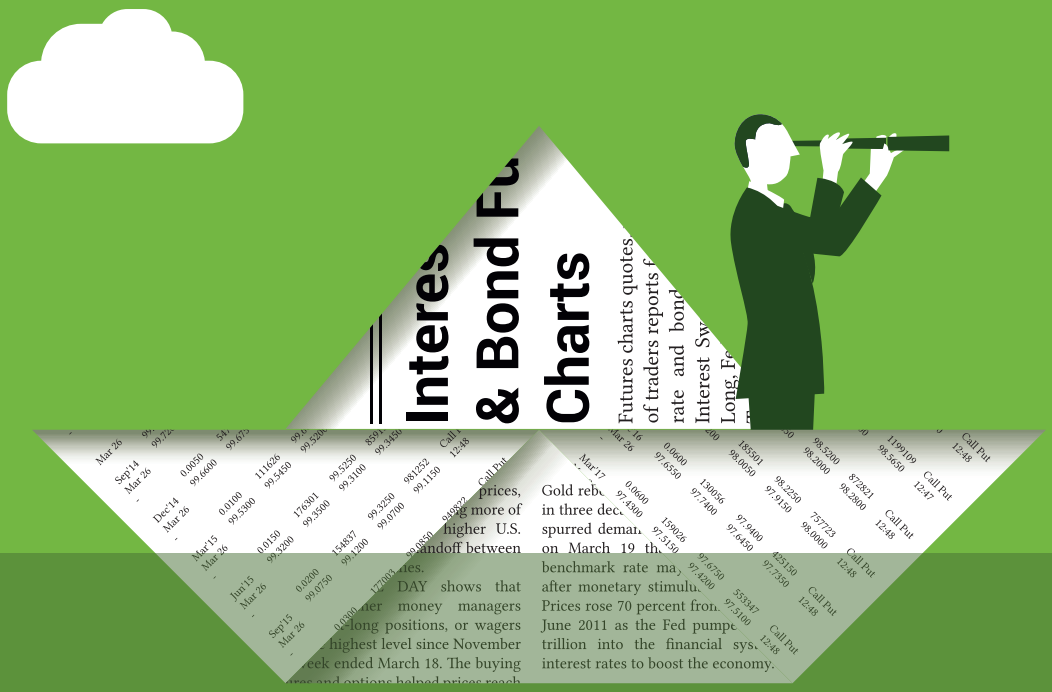
AQUAE TESIS

Análisis económico de la

DESALINIZACIÓN

Borja Montaño Sanz



AQUAe FUNDACIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA DESALINIZACIÓN

BORJA MONTAÑO SANZ

TESIS DOCTORAL DIRIGIDA POR:

JOAQUÍN MELGAREJO MORENO

DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS ECONÓMICO APLICADO

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

2011

Análisis económico de la desalinización

Borja Montaño Sanz

Departamento de Análisis Económico Aplicado

Universidad de Alicante

AGRADECIMIENTOS:

Quisiera dar las gracias por su amistad y la colaboración que me ha ofrecido en todo momento al Dr. Daniel Prats Rico, director del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales y catedrático del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante, quien ha puesto sus conocimientos, así como los recursos del Instituto a mi alcance.

Merece un especial agradecimiento el Dr. Martín Sevilla Jiménez, catedrático del Departamento de Análisis Económico Aplicado y miembro del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales, por su colaboración, por su amistad y por lo mucho que me ha enseñado acerca de la gestión de los recursos hídricos.

Debo dar también un especial agradecimiento a mi buen amigo Manuel Rubio Visiers, presidente de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR) y fundador de Sadyt. Manuel me ofreció su apoyo desde el primer momento y ha desempeñado un papel fundamental en este trabajo pues conoce en primera persona el proceso de internacionalización de las empresas de desalinización, los modelos de financiación y funcionamiento de los proyectos así como el sector de la desalinización.

Siguiendo con la colaboración especializada, debo destacar el papel clave que ha desempeñado el ingeniero químico Domingo Zarzo Martínez, profesor asociado de la Universidad de Alicante y director técnico de Sadyt, una de las principales empresas dedicadas a la construcción y explotación de desalinizadoras. Gracias a Domingo y a Sadyt, he podido acceder a

información empírica y actualizada sin la cual no se podría haber desempeñado este trabajo.

Este trabajo se ha realizado en parte, gracias a la del Dr. Ingeniero agrónomo David Martínez (del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario), Manolo Soler de la Asociación para la Defensa de la Calidad de las Aguas (ADECAGUA), los compañeros del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales (con los que he trabajado en diversos proyectos), los miembros del Departamento de Fundamentos del Análisis Económico Aplicado (donde comencé mi formación de postgrado) y los colegas del Departamento de Análisis Económico Aplicado (donde se ha desarrollado y va a ser defendido este trabajo con el apoyo de su director J. Antonio Miranda).

Públicamente debo expresar mi gratitud hacia la ayuda percibida del programa de becas predoctorales de la CAM que ha financiado este trabajo. Del mismo modo agradezco al Departamento de Análisis Económico Aplicado, los medios materiales y humanos que ha puesto a mi disposición.

Esta investigación se ha beneficiado de los proyectos: “Generación de recursos hídricos de calidad mediante procesos de membrana” (NF MBR/NF) CTQ200766780 y “Tratamiento y reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible” (CONSOLIDER) (CSD200644).

Mi mayor agradecimiento va destinado al doctor Joaquín Melgarejo Moreno, catedrático del Departamento de Análisis Económico Aplicado y miembro del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales, por la oportunidad que me ha brindado para poder llevar a cabo este trabajo. Su inestimable colaboración y asesoramiento han sido fundamentales para el desarrollo y consecución de esta investigación. Joaquín ha actuado en todo momento con el fin de enseñarme, dirigiendo mis primeros pasos en la

investigación y en este trabajo tanto en los momentos de euforia como de disforia. Siempre presumiré y estaré orgulloso de haber tenido y tener un director que me ha ofrecido desinteresadamente todo su conocimiento, paciencia y amistad.

En el ámbito personal quería dar las gracias por el apoyo recibido de mis padres así como de mi familia en general, de mis amigos, y en especial de Olga. Vuestro cariño, sonrisas, afecto y apoyo han aportado a mi vida el equilibrio necesario para poder desempeñar este trabajo.

Índice

1.- Introducción----------12

2.- La desalinización----------23

2.1.- En qué consiste la desalinización----------23

2.2.- Historia de la desalinización----------30

2.2.1.- Situación actual de la desalinización----------48

2.3.- Análisis de la situación actual de la desalinización en el mundo----51

2.3.1.- Introducción a la situación mundial----------51

2.3.2.- La desalinización en Oriente Medio, Magreb y Egipto----------67

2.3.3.- La desalinización en Asia del Este, Sureste Asiático y Australia-75

2.3.4.- La desalinización en el continente americano----------81

2.3.5.- La desalinización en Europa y Asia Central----------84

2.3.6.- Principales conclusiones del análisis de la desalinización en el mundo----------89

2.4.- Análisis de los costes de los distintos métodos de desalinización--91

2.4.1.- Análisis de los costes de los sistemas MSF----------92

2.4.2.- Análisis de los costes mediante ósmosis inversa----------96

2.4.3.- Los costes de la desalinización mediante evaporación multiefecto, compresión de vapor y electrodiálisis----------96

2.5.- El coste del transporte del agua----------103

2.6.- Externalidades negativas de la desalinización----------106

2.7.- Externalidades positivas de la desalinización----------128

2.8.- Conclusiones del capítulo----------140

3.- Análisis del papel de la desalinización en la gestión integrada de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica----------145

3.1.- Recursos hídricos sustitutivos y complementarios: el caso de la desalinización----------150

3.2.- La gestión óptima de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica----------160

3.2.1. La oferta de recursos hídricos en una cuenca hidrográfica -------163

3.2.2.- La demanda de recursos hídricos----------168

3.2.2.1.- La demanda urbana----------169

3.2.2.2.- Consumo industrial----------172

3.2.2.3.- Consumo agrícola----------172

3.3.- Modelo de gestión general----------173

3.3.1.- Notación y variables----------177

3.3.2.- Restricciones para la gestión de los recursos hídricos----------179

3.3.3.- Satisfacción de la demanda al mínimo coste en el corto plazo--182

3.3.4.- Reflexiones en torno al modelo de equilibrio en el largo plazo--183

3.4.- La polémica de los trasvases y la desalinización----------185

3.4.1.- El trasvase Tajo-Segura y la desalinización----------187

3.4.1.1.- El coste energético del trasvase Tajo-Segura----------190

3.4.1.2.- Análisis comparativo entre el coste energético de la desalinización y el trasvase Tajo-Segura----------199

3.5.- Conclusiones del capítulo----------208

4.- Las empresas españolas de desalinización----------212

4.1.- Análisis de las principales empresas del sector----------211

4.1.1.- Acciona Agua----------220

4.1.2.- Aqualia----------223

4.1.3.- Befesa----------225

4.1.4.- Cadagua----------228

4.1.5.- Cobra----------230

4.1.6.- Inima----------231

4.1.7.- Sadyt----------234

4.2.- Análisis del proceso de internacionalización de las empresas españolas de desalinización----------235

4.2.1.- La internacionalización de las empresas constructoras y de ingeniería----------239

4.3.- Causas de la internacionalización----------242

4.3.1.- Teorías económicas que explican la internacionalización----------243

4.3.1.1.- El modelo de Vernon----------243

4.3.1.2.- El modelo de Hymer----------246

4.3.1.3.- Teorías de Johnson y Caves----------249

4.3.1.4.- La teoría del comportamiento oligopólico----------251

4.4.- Conclusiones del capítulo----------258

5.- Análisis de la financiación de un proyecto de desalinización----------264

5.1.- Tres modelos de financiación diferenciados: Argelia, Egipto y Túnez----------266

5.1.1.- El caso de Argelia----------267

5.1.2.- El caso de Egipto----------274

5.1.3- El caso de Túnez----------278

5.2.- El modelo general----------281

5.3.- Conclusiones del capítulo----------292

6.- Conclusiones----------297

7.- Anexo----------327

Índice de cuadros y gráficos

Cuadro 2.1: Ordenación de los métodos de desalinización según la separación que se realiza y el tipo de energía ----------22
Cuadro 2.2: Valoración de las diferentes alternativas comerciales de desalinización----------24
Cuadro 2.3: Capacidad de las plantas desalinizadoras según el tipo de proceso (datos de 2003)----------26
Cuadro 2.4: costes de explotación de la desalinización de agua marina mediante ósmosis inversa ----------32
Cuadro 2.5: primeras plantas desalinizadoras en España ----------35
Cuadro 2.6: desalinizadoras en España tras la crisis del petróleo ----------36
Cuadro 2.7: plantas desalinizadoras que se instalan en España con membranas----------37
Cuadro 2.8: Inversión necesaria para lograr aportaciones totales de más de 1.100 hm^3 anuales----------40
Cuadro 2.9: El coste de la desalinización a escala mundial ----------57
Cuadro 2.10: principales correlaciones en la zona A ----------71
Cuadro 2.11: principales correlaciones en la zona B----------77
Cuadro 3.1: comparativa de los recursos hídricos no convencionales en la provincia de Alicante ----------152
Cuadro 3.2: criterios normativos manejados en el análisis de las tasas del agua----------168
Cuadro 3.3: elevaciones y kWh/m^3 necesarios para llevar el agua a cada usuario de riego del Trasvase Tajo-Segura ----------191
Cuadro 3.4: Los costes energéticos del agua para riego ----------195
Cuadro 3.5: Distribución porcentual de los costes de una planta de ósmosis inversa----------198
Cuadro 3.6: Consumos específicos medios del año 2008 en desaladoras del área de influencia del trasvase Tajo-Segura (kWh/m^3)-------200
Cuadro 4.1: principales empresas de desalinización en el mundo ----------214
Cuadro 4.2: principales desalinizadoras de Acciona Agua----------220
Cuadro 4.3: Principales desalinizadoras de Befesa Agua ----------224
Cuadro 7.1: la desalinización en el mundo ----------326
Cuadro 7.2: empleos y output por rama de actividad en la economía española en 2005 ----------333
Cuadro 7.3: empleo directo e indirecto generado en la economía española por una inversión de un millón de euros en el sector construcción (2005)----------338

Gráfico 2.1: Distribución porcentual de la capacidad de desalinización en el 2004.----------35
Gráfico 2.2: países de la zona A.----------52
Gráfico 2.3: países de la zona B.----------53
Gráfico 2.4: países de la zona C. ----------54

Abreviaturas utilizadas

AEDyR	Asociación Española de Desalinización y Reutilización
CV	Compresión de vapor
EATD	Efecto Ambiental Total de una Desalinizadora
ECO2	Emisiones de CO_2
ED	Electrodiálisis
EDAM	Estación Desalinizadora de Agua de Mar
EDARS	Estaciones de Depuración de Aguas Residuales
ERAD	Efectos del Riego con Agua Desalinizada
ES	Efecto de la Salmuera
GWI	Global Water Intelligence
IDA	Asociación Internacional de Desalación (International Desalination Association)
IV	Impacto Visual
MED	Evaportación de Efecto Múltiple (Multi-Effect Distillation)
MF	Microfiltración
MGD	Millones de Galones por Día
MSF	Evaporación Flash de Multietapas (Multi Stage Flash)
NE	Equilibrio de Nash
OI	Ósmosis Inversa
OR	Ósmosis Inversa (Reverse Ósmosis)
PE	Pressure Exchanger
SDT	Sólidos Disueltos Totales
TVC	Termocompresión de Vapor
UF	Ultrafiltración
USD	Dólar Estadounidense (U.S. Dollar)
WRI	World Resources Institute

1.- Introducción.

La economía surge como una ciencia que analiza el comportamiento económico de los agentes individuales y su objetivo es estudiar la correcta distribución de los recursos escasos para satisfacer las necesidades del ser humano. Cuando los recursos disponibles son limitados y frente a estos aparece una demanda ilimitada, surgen los desequilibrios cuya solución precisa de las herramientas que propone la ciencia económica.

El agua es un recurso natural de una vital importancia para el ser humano y para el medio ambiente. El agua siempre ha sido determinante para la riqueza de un país, es por ello que desde los comienzos de la evolución humana, no ha cesado de avanzar la técnica para la obtención y regulación de este recurso. El agua es un elemento clave en nuestro planeta, hasta el punto de que la tierra no sería lo que es sino la tuviese. Ésta es una parte fundamental del medio ambiente, marcando la diferencia entre un desierto y una selva tropical. Es un bien básico de consumo para todo ser humano, a lo largo de la historia ha sido un condicionante de los asentamientos poblacionales.

El desarrollo económico y demográfico ha generado un incremento de la demanda de agua y un aumento paulatino de los recursos hídricos disponibles debido a políticas de oferta tales como la construcción de obras hidráulicas. El buen funcionamiento de una economía depende del grado en que la demanda hídrica de los distintos sectores productivos se vea satisfecha cuantitativa y cualitativamente. Ante este hecho, la ciencia económica presta un creciente interés a la gestión de los recursos hídricos materializada en políticas de oferta y políticas de demanda.

Las políticas centradas en la demanda de recursos hídricos son aquellas que tratan de optimizar el consumo y para lograr tal fin es esencial la existencia de un marco jurídico y económico que sirva de base para el buen funcionamiento del sistema. Las políticas de demanda tienen como objetivo maximizar la utilidad de los recursos consumidos así como minimizar el consumo necesario para una actividad concreta. El sistema de precios y tarifas es un elemento clave para equilibrar el mercado. A menudo se producen ineficiencias en las políticas de demanda, éstas hacen que no se recupere el coste total del abastecimiento y que la distribución de los recursos hídricos entre las distintas demandas no coincida con la que sería realmente óptima. Uno de los problemas más habituales desde el punto de vista de la gestión de la demanda lo podemos encontrar en los precios y tarifas, ya que es frecuente que no se cobre por el agua su coste real (que incluye captación, transporte, acondicionamiento, distribución, depuración y vertido) lo cual distorsiona gravemente este mercado.

Otro problema a tener en cuenta desde el punto de vista de las políticas de demanda son las pérdidas que sufre el sistema, es decir del agua que ha sido enviada en el punto de origen, cuanta acaba llegando finalmente al destino. Cierto grado de pérdidas de agua en el proceso de distribución son inevitables, las causas más frecuentes son la filtración y la evaporación.

Esta investigación se va a centrar en la desalinización, cuyo uso constituye una de las principales vías de incrementar la oferta de recursos hídricos.

La efectividad de las políticas de oferta está directamente relacionada a las políticas de demanda existentes. Si suponemos un escenario extremo en el que el agua es completamente gratuita o muy barata y por tanto existen escasos incentivos económicos para consumirla racionalmente, la teoría

económica nos dice que el consumo sería muy superior frente al caso en que se cobra por el recurso lo que realmente cuesta. Por tanto, la efectividad de políticas de oferta tales como trasvasar agua o desalinizarla dependen directamente de cómo se gestione y articule la demanda. Las variables de mayor importancia del lado de la demanda son la eficiencia en cuanto a las pérdidas de la red, el sistema de precios y tarifas, el marco jurídico, la existencia y reparto de derechos sobre el agua o la educación en los hábitos de consumo entre otras.

Las políticas de oferta buscan incrementar la capacidad disponible de agua de calidad, dentro de estas existen múltiples opciones tales como la construcción de presas y embalses, los trasvases desde cuencas excedentarias a deficitarias, la reutilización y la desalinización. Las diferentes políticas de oferta presentan características muy diferenciadas de modo que su uso debe de ser complementario en vez de sustitutivo.

Los recursos hídricos que provienen de la desalinización y la reutilización son los más novedosos, en tanto que son fruto del progreso tecnológico y la aplicación de técnicas avanzadas aplicadas al tratamiento del agua, estos recursos se denominan no convencionales. La depuración y posterior reutilización de los recursos hídricos ofrece la posibilidad de volver a usar el agua en lugar de verterla al medio. Un inconveniente de este método frente a la desalinización es que el agua que se obtiene no es legalmente apta para ser consumida directamente por el ser humano en España, aunque en otros países de mayor escasez sí que se consume. El agua depurada está sujeta a diversas restricciones sanitarias en cuanto a su uso, tal y como analizaremos en este trabajo, en cambio el agua desalinizada se puede emplear en todo tipo de usos. Esta premisa hace de la desalinización un proceso de vital importancia en la gestión de los recursos hídricos en tanto que es capaz de generar un incremento ilimitado del agua dulce disponible. Esta gran capacidad de la desalinización para abastecer la demanda hídrica es la principal motivación para dedicar este trabajo al estudio específico de este

sistema. No obstante el agua desalinizada presenta importantes restricciones, que vienen no tanto desde una perspectiva técnica sino económica. Pese a estar sujeto a una reducción paulatina, el coste del agua obtenida mediante esta tecnología es por lo general superior al del resto de técnicas para incrementar la oferta. De hecho, en ocasiones el elevado coste del agua desalinizada hace que su uso no sea rentable en la agricultura a menos que se trate de un cultivo de alto valor añadido o que no se repercuta el coste real del recurso sobre el agricultor. Otra restricción importante a tener en cuenta es que para desalinizar agua hay que tener acceso a una fuente de recursos hídricos salados o salobres, en este sentido es un sistema que pierde eficiencia a medida que se aleja del mar o del recurso a tratar. La desalinización es una técnica útil sobre todo para las zonas costeras, no obstante, se podría emplear en el interior si se asume el elevado coste de bombeo para hacer llegar el agua hasta su punto de destino.

El empleo del agua desalinizada debe de hacerse de un modo racional y complementario al resto de recursos hídricos, pero no cabe duda de que la importancia de esta tecnología irá creciendo con el paso del tiempo ya que, a medida que la demanda hídrica aumente, la proporción de esta que será abastecida mediante desalinización será cada vez mayor.

El hecho de que la desalinización sea en ciertas ocasiones el único medio posible de atender a una parte de la demanda hídrica, hace que su elevado coste sea una cuestión secundaria. Es decir, el coste de obtención del agua mediante esta tecnología será un factor clave a tener en cuenta siempre y cuando existan otras fuentes alternativas, cuando no sea así y dado que el agua es un bien de primera necesidad, se asumirá su coste sin que quepa debate alguno.

Al igual que la mayoría de las actividades humanas, de la desalinización se desprenden externalidades negativas y positivas. La evaluación de un proyecto de desalinización debe ir pareja de un estudio coste-beneficio y dentro de este la parte más compleja del análisis es la medición monetaria de las externalidades. Las principales externalidades negativas de la desalinización son las emisiones indirectas de CO_2 debidas al consumo energético de la planta, el impacto visual y auditivo que pudiera generar la planta y los efectos ambientales que pudieran darse en el proceso de vertido de la salmuera.

En cuanto a las externalidades positivas destacan la creación de empleo directo e indirecto y la acumulación de experiencia en el sector. La segunda de las externalidades que hemos citado, la acumulación de experiencia ha tenido consecuencias de gran relevancia en el caso de España. Un grupo de empresas españolas se han consolidado entre las líderes mundiales en desalinización además la importancia relativa de estas va en aumento. Hay que tener en cuenta que el sector económico de la desalinización sigue una tendencia de acumulación de una gran parte de los proyectos en unas pocas empresas, esto es debido a que la experiencia previa es un factor decisivo en los procesos de licitación o selección de la empresa o empresas que van a ejecutar un proyecto.

España se ha convertido en una referencia mundial en el ámbito de la desalinización, tanto por las plantas construidas en nuestro país, como por las empresas que se han internacionalizado, como por la exportación de conocimientos técnicos más allá de la construcción y explotación de las plantas. Dada la gran importancia del agua en la economía, y de la desalinización en las políticas hídricas de oferta, en este trabajo vamos a analizar el papel de esta tecnología en el contexto económico actual.

La desalinización es una técnica mediante la cual se obtiene agua dulce a partir del agua salada. Los métodos de desalinización se han ido

perfeccionando con el progreso tecnológico y esto ha posibilitado que el coste económico sea cada vez menor. Pese a esto, el agua desalinizada puede tener un alto coste de obtención si la comparamos con los recursos hídricos convencionales. Es por ello que esta técnica debiera de entenderse como un sistema complementario de obtención de agua que nos permite el poder consumir el agua del mar tras un tratamiento. La desalinización propone una vía de incrementar la oferta de un recurso limitado y esencial.

Dada la gran importancia que tiene la desalinización para el desarrollo económico, esta investigación tiene como objetivo explicar desde una perspectiva económica los aspectos más relevantes de la desalinización. La principal dificultad para la consecución de los objetivos se plasma en la obtención de la información necesaria tanto cualitativa como cuantitativa. La información numérica presenta menos problemas para su obtención, dado que existen prestigiosas bases de datos conocidas internacionalmente como las de la *International Desalination Association* (IDA) y *Global Water Intelligence* (GWI). Sin embargo, estas bases de datos presentan sesgos de gran importancia, pese a esto GWI e IDA son las fuentes de mayor fiabilidad.

En este trabajo emplearemos muchos datos cualitativos e información basada tanto en fuentes primarias como en la revisión bibliográfica realizada. La pieza clave que ha posibilitado el dar un paso más allá respecto a la bibliografía existente ha sido la constante disponibilidad y amplia colaboración de las principales autoridades en materia de desalinización y tratamiento de aguas en España.

A lo largo de los capítulos que componen este trabajo, abordaremos diversas cuestiones que son fruto de debate político, social y académico. Esta investigación está estructurada con el objetivo de contrastar las diversas hipótesis de partida.

Los desequilibrios derivados de la oferta y demanda de agua en determinados espacios territoriales, manteniendo las reglas del juego respecto a los derechos sobre esta y los precios aplicados a los consumos ha originado que en determinadas zonas se haya considerado que la escasez podría solucionarse mediante un incremento de la oferta procedente de la desalinización. En el primer capítulo explicaremos aspectos básicos de la desalinización tales como qué es, qué tipos hay, así como la historia de este proceso. La novedad de este capítulo con respecto a la bibliografía existente, consiste en el análisis de los costes de la desalinización en función del área geográfica donde se lleve a cabo el proceso y del método que se emplee. Si bien es usual que se hable de la ósmosis inversa como el sistema más eficiente en costes, contrastaremos la hipótesis de que los sistemas de desalinización que emplean energía residual de procesos de generación de energía presentan unos menores costes de explotación. En este primer capítulo trataremos también dos aspectos de gran relevancia como son las externalidades de la desalinización y el coste del envío del agua tratada a su punto de consumo.

Para poder explicar cómo y por qué las empresas españolas de desalinización se han internacionalizado analizaremos el producto que ofrecen estas, es decir, el agua desalinizada. El aspecto más relevante en torno al agua desalinizada es entender cuál es su papel dentro del conjunto de recursos hídricos, en este sentido en España se han producido polémicas y confrontaciones políticas entre los defensores de unos y otros recursos hídricos.

En este trabajo proponemos una metodología para responder a la pregunta ¿Cuándo dos recursos hídricos son complementarios y cuándo son sustitutivos? Pretendemos demostrar que el grado de sustitución o complementariedad de dos recursos hídricos dependerá del coste de cada uno

de los recursos, de la seguridad que ofrezcan en cuanto a su disponibilidad y de la calidad del recurso. Distinguiremos entre el grado de sustitución y complementariedad a corto y largo plazo. En cierto sentido invertir para incrementar la capacidad de desalinizar agua en una región concreta, puede entenderse como pagar por un seguro de acceso a los recursos hídricos, ya que es un recurso que presenta un coste elevado tanto de inversión como de explotación, pero nos da una elevada garantía de acceso al agua, ya que siempre vamos a tener agua de mar disponible para ser desalinizada.

Para poder entender mejor el papel que juega la desalinización, propondremos un modelo de optimización en la gestión integral de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de las distintas demandas existentes al mínimo coste económico posible. Partiendo del modelo general, aplicaremos la metodología de análisis propuesta para justificar nuestra hipótesis de complementariedad y grado de sustitución entre dos recursos locales.

En el siguiente capítulo, una vez explicado que es la desalinización y cuál es su papel en un modelo óptimo de gestión de los recursos hídricos, analizaremos el contexto empresarial de la desalinización. Asimismo se tratará de demostrar que la construcción y explotación de plantas es una actividad económica con tendencias oligopólicas, pues siendo la experiencia la principal carta de visita de las empresas, esto genera una creciente concentración. Presentaremos las principales compañías españolas que son Acciona Agua, Aqualia, Befesa, Cadagua, Cobra, Inima y Sadyt. Conociendo cuales son estas empresas y el proceso de internacionalización que están llevando a cabo, nuestro objetivo es explicar por qué se están internacionalizando y qué estrategias y teorías de internacionalización justifican este proceso. En este sentido partimos de la hipótesis de que la teoría económica que más se adapta al contexto económico de estas empresas y su modo de actuar es la teoría del Comportamiento Oligopólico. Según esta teoría, cuando unas pocas empresas

acumulan la mayor parte de la demanda, éstas intentan defender sus cuotas de mercado, de modo que si una empresa opta por entrar en un país, obliga de algún modo a las demás a hacer lo mismo si no quieren ver disminuir su importancia relativa.

Si nos preguntamos ¿Por qué las empresas se han internacionalizado? La respuesta que parece más probable es que el mercado potencial en España estaba relativamente agotado, pues gran parte de las necesidades hídricas que se podían cubrir mediante desalinización ya se han satisfecho o están en fase de resolución, de modo que pretendemos demostrar que el inicio de la internacionalización se debe a una demanda nacional potencial escasa. Ahora bien, una pregunta que aunque similar es sensiblemente diferente es ¿Por qué se han internacionalizado a un ritmo tan acelerado? Las empresas españolas de desalinización se han convertido en un referente a nivel internacional y las perspectivas no parecen augurar un cambio de tendencia.

Ha habido dos condicionantes fundamentales que han marcado el ritmo de la entrada de estas empresas en los países de destino. El primer condicionante ha sido la iniciativa de concursar y competir en un gran número de licitaciones (este proceso comenzó cuando el primer presidente de AEDyR, José Antonio Medina animó a las grandes empresas españolas a que concursaran juntas en grandes proyectos internacionales), nuestra hipótesis es que esta ambición viene justificada a su vez por la teoría del comportamiento oligopólico, ya que estas empresas compiten por sus cuotas de mercado. Por otro lado, pretendemos demostrar que el segundo condicionante ha sido la gran experiencia adquirida en España, ya que la principal variable que se tiene en cuenta en un proceso de licitación es las plantas que esta empresa ha realizado. Cabe destacar que la experiencia adquirida en España no es solo cuantitativa sino también cualitativa, ya que las exigencias en nuestro país son elevadas, sobre todo las medioambientales.

Habiendo entendido ya el proceso de internacionalización así como los condicionantes y factores que lo han fomentado, analizaremos en el capítulo previo a las conclusiones cómo se financia un proyecto de desalinización. Veremos que no es nada sencillo el llegar a lo que se conoce como cierre financiero, pues existen diversos agentes económicos implicados y el proyecto debe de satisfacer una serie de garantías que el banco u organismos financiadores exigirán.

La hipótesis que pretendemos contrastar en este capítulo es que existen distintos modelos de financiación en función del grado de implicación del sector público en el mismo. De un modo o de otro, el sector público siempre quiere tener cierto grado de control sobre una obra que afecta a los recursos hídricos, pues el agua es un bien estratégico. La mayor implicación que puede tener el sector público consiste en formar parte del accionariado de la Sociedad del Proyecto. Pero en ocasiones, el sector público quiere minimizar su participación en el mismo.

Una de nuestras ideas previas a la elaboración de este trabajo es que una mayor implicación por parte del gobierno y de otros organismos públicos del país donde se vaya a desarrollar el proyecto, facilitan la financiación del mismo. Para entender mejor las diferencias realizaremos un estudio de casos centrándonos en Argelia (alta participación pública), Egipto (participación intermedia) y Túnez (baja participación). Nuestro objetivo es explicar la financiación de un proyecto de desalinización a partir del análisis de estos tres casos.

Por tanto nos proponemos como objetivos de esta investigación: explicar qué es la desalinización diferenciando entre los distintos procesos y tecnologías existentes; analizar cuál es su coste económico y cuáles sus externalidades positivas y negativas; describir el mercado de la desalinización;

analizar las estrategias de competencia de las empresas españolas dedicadas a la construcción y explotación de desalinizadoras y por último explicar el proceso de financiación de un proyecto de desalinización.

2.- La desalinización.

2.1.- En qué consiste la desalinización.

La desalinización o desalación[1] es el proceso de eliminar la sal del agua de mar o salobre, obteniendo agua dulce. Las plantas desalinizadoras o desaladoras son instalaciones industriales destinadas a la desalinización. Para la desalinización podemos tomar bien agua del mar o bien aguas salobres para su utilización como agua bruta o agua de alimentación (López y Mejías 2000, pp. 16-17). Las aguas salobres pueden ser superficiales, subterráneas o puede ser agua residual depurada. Esta agua es sometida a un proceso de permeado o a un proceso de desalinización por evaporación y se obtiene por un lado un agua lista para el consumo (aunque puede que necesite de un postratamiento) y un producto de rechazo que es la salmuera. La salmuera es agua con un alto contenido en sales y se vierte de nuevo al mar. El vertido de la salmuera genera uno de los impactos ambientales de la desalinización más importantes, pues puede causar efectos adversos sobre el medio ambiente, agrediendo el medio marino de no ser vertida del modo adecuado (Sadhwani 2004, pp. 7)[2].

El desarrollo económico y el aumento de la población han generado que, dada una estructura de derechos de propiedad y sistema de precios, en diversas zonas existan graves desequilibrios entre la oferta y la demanda de recursos hídricos. Ante esta escasez caben soluciones fundamentadas en políticas de oferta y de demanda. En este sentido, los avances tecnológicos han posibilitado que la desalinización sea un método viable de incrementar la oferta de recursos hídricos, aunque el coste del agua desalinizada es mayor en

[1] La denominación correcta es desalinización, ya que el término desalación se define más genéricamente como el proceso de quitarle la sal a algo, no sólo al agua salada.
[2] No obstante, cabe señalar que el efecto ambiental que se deriva del vertido de la salmuera es quizás el más controlado. Por lo general se evitan los efectos nocivos del vertido de la salmuera sobre las praderas de posidonias mediante el uso de conducciones que llevan el vertido a desiertos marinos o mediante difusores (Fernández et al 2004, páginas 3-9).

general que el del resto de recursos. La desalinización de agua de mar ofrece una gran seguridad en cuanto a la disponibilidad de agua ya que no está sujeta a la pluviometría.

La mayoría de las plantas instaladas en España y el mundo usan la ósmosis inversa (Semiat 2000, pp. 54-65). Sin embargo, existe un amplio abanico de técnicas que nos permiten obtener agua dulce a partir de agua marina o salobre (Wangnick 1995, pp. 17-26). Muchos de los sistemas de desalinización son escasamente utilizados por cuestiones económicas, ya que hay métodos que son muy poco eficientes. Existen sistemas que se han quedado obsoletos, siendo eficientes en el pasado, y hay métodos más eficientes e innovadores que cuentan con pocas plantas debido a que son muy recientes (Martínez 2003, pp. 21-28). En el cuadro 2.1 se muestran los principales procesos que existen de desalinización, que tipo de energía se utiliza, y en qué consiste:

Cuadro 2.1: Ordenación de los métodos de desalinización según la separación que se realiza y el tipo de energía

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (Flash)
			Destilación multiefecto
			Termocompresión de vapor
			Destilación solar
		Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
		Filtración y evaporación	Destilación con membranas
	Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica vapor
		Filtración	Osmosis Inversa
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodiálisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Fuente: Veza (2002)

En la actualidad, en nuestro país se está utilizando más la ósmosis inversa, que la destilación, fundamentalmente porque el consumo energético necesario para este proceso es menor. Los sistemas de desalinización para obtener agua a gran escala se dividen en procesos térmicos y en procesos mecánicos que utilizan membranas permeables (Agrait 1984).

Los procesos térmicos son más naturales y menos creativos, en el sentido de que es el sistema que utiliza la naturaleza. El sol evapora agua del mar, pero la sal no es evaporada con el agua, de modo que se separa el agua de la sal[3]. Cuando se quiere lograr la destilación se baja el punto de ebullición controlando la presión del vapor de agua. Con esto conseguimos ahorrar energía para alcanzar el punto de ebullición del agua y también nos permite adquirir un mayor control de la incrustación o depósito de compuestos. Cada uno de los distintos procesos térmicos de desalinización maneja de un modo distinto el punto de ebullición y/o el control de depósitos de compuestos residuales.

En cuanto a los métodos de membrana, lo primero que cabe decir es que son cada vez más empleados debido a su eficiencia energética. El método de membrana más empleado es la ósmosis inversa, que consiste en el paso de una disolución que contiene diversas sales a través de una membrana permeable a otra de menor concentración. Con un flujo altamente presurizado se puede obtener agua libre de sales. En los procesos de membrana es conveniente emplear un proceso de pretratamiento del agua de alimentación más estricto que en los sistemas térmicos, con el fin de eliminar las sales disueltas, además debe de ser evitada la precipitación de sales así como la proliferación de microorganismos que pueden dañar las membranas. También es necesario un postratamiento con el objeto de estabilizar el agua producida mediante la desinfección y el control del PH (Matínez 2004)

[3] El uso de esta tecnología se acumula geográficamente en aquellos países en los que los costes locales de la energía son menores y donde existe la posibilidad de emplear cogeneración.

Los procesos comerciales de desalinización de agua de mar para obtener grandes cantidades de agua desalada son la Evaporación flash de multietapas, que abreviaremos como MSF (*Multi Stage Flash)* y la Evaporación de efecto múltiple o multiefecto, que abreviaremos como MED (*Multi-effect Distillation)* (Barker 2001, pp. 22-24).

Por otro lado, para desalinizadoras de tamaño pequeño y mediano (como las instaladas en España) se suele emplear la Compresión de vapor o CV (Vapor Compresión) y la Ósmosis Inversa[4] o OI[5].

En el cuadro 2.2 observamos una valoración general de las diferentes alternativas comerciales de desalinización, en función de sus principales características.

Cuadro 2.2: Valoración de las diferentes alternativas comerciales de desalinización

Característica	**MSF (destilación súbita multiefecto)**	**MED-TVC (destilación de etapas múltiples-termocompresión de vapor)**	**CV (compresión de vapor)**	**RO (ósmosis inversa)**	**ED (electrodiálisis)**
Tipo de energía	Térmica	térmica	eléctrica	eléctrica	eléctrica
Consumo energético primario (KJ/kg)	alto>200	alto/medio 150-200	medio 100-150	bajo<80	bajo<30
Consumo de energía eléctrica	3,5-4,0	1,5-2,0	9,0-11,00	2,4-4,5	1,0-2,0

[4] La ósmosis inversa se abrevia habitualmente como RO, que deriva del inglés *Reverse Osmosis*

[5] Como vemos la ósmosis inversa es un sistema empleado comúnmente en plantas de tamaño mediano o pequeño, la forma de clasificar que plantas tienen una capacidad grande y que plantas tienen una capacidad pequeña es simple, se ha realizado comparando el tamaño (medido en capacidad en m^3) de diversas plantas y de ahí obtenemos que las plantas de ósmosis y compresión de vapor son más numerosas que las de sistemas térmicos, pero tienen una capacidad media menor.

kWh/m^3					
Costo de instalaciones	Alta	alto/medio	alto	medio	medio
Capacidad producción m^3/dia	alta>50.000	media<20.000	baja<5.000	Alta>50.000	media<30.000
Posibilidad ampliación	Difícil	difícil	difícil	fácil	fácil
Desalinización agua de mar	Sí	sí	sí	sí	no
Calidad agua desalada ppm	alta<50	alta<50	alta<50	media 300-500	media<300
Superficie terreno requerida de instalación	Mucha	Media	Poca	poca	poca
Costo USD/m^3 tratado	1,14-1,68	0,83-1,115	0,63-0,86	0,32-0,61	0,17-0,32
Costo USD/m^3 plantas pequeñas		1,28-2,16		1,1-1,8	

Fuente: elaboración propia a partir de Fuentes y Ramírez (2003); pp. 4

A escala mundial, la ósmosis inversa es el proceso de desalinización con un mayor número de plantas. Sin embargo, pese a que la ósmosis inversa es también el sistema que cuenta con una mayor capacidad de producción, cabe decir que mientras que hay diez veces más plantas de este sistema que de destilación flash multi etapa (*Multi-stage flash destilation*), el total de agua desalada que proviene de plantas de ósmosis inversa es tan sólo un 10% mayor al de la destilación MSF. Esto es debido a que las plantas de ósmosis inversa, desalan el agua haciendo uso de tubos con membranas que separan agua y sal, pero por mucho que crezca la planta, lo que sucede es que el número de tubos es mayor, con lo cual la ósmosis inversa tiene unos rendimientos crecientes a escala muy leves (Martínez 2004).

Con la MSF si existen rendimientos crecientes de escala y por tanto es económicamente eficiente hacer la planta tan grande como sea posible. Con los datos que tenemos podemos aproximar que una planta de evaporación flash de multi etapas es en media 9 veces más grande que una de ósmosis inversa, entendiendo por ser más grande el hecho de producir más agua. En el cuadro

2.3 podemos ver el número de plantas y capacidad en el mundo, en función del tipo de proceso. Destaca el hecho de que la OI y la MSF agrupan más del 80% del volumen total de agua desalada, no obstante, pese a que el volumen de producción de la MSF es muy elevado, el número de plantas existentes es menor que el de la ósmosis inversa.

Cuadro 2.3: Capacidad de las plantas desalinizadoras según el tipo de proceso (datos de 2003)

Proceso	Número de plantas	Capacidad de las plantas, millones de m^3/día	Número de plantas	Capacidad de las plantas, millones de m^3/día
Destilación flash multi etapa	667	12.727	7,01%	39,31%
Compresión de vapor	652	1.549	6,86%	4,78%
Destilación multi efecto	428	1.028	4,50%	3,18%
Ósmosis inversa	6.463	14.100	67,96%	43,55%
Electrodialisis	997	1.533	10,48%	4,73%
Nanofiltración	44	1.230	0,46%	3,80%
Otras	259	0	2,72%	0%
Total	9.510	32.376	100%	100%

Fuente: elaboración propia a partir de United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (2003)

El hecho que la desalinización por ósmosis inversa sea más o menos costosa que por evaporación flash de multietapas, depende en buena parte del precio de la energía necesaria para el proceso (Boland y Whittington 2001, pp. 215-236). Si eliminamos por completo el coste de la energía, entonces la desalinización por MSF es más barata. Existen plantas de MSF que emplean la energía residual de centrales térmicas o nucleares de modo que sus costes económicos son muy reducidos (Flores et al 2004, pp. 34-41; Nisan y Dardour 2007, pp. 231-242; World Nuclear Association 2008).

La desalinización por membranas y la térmica tienen un elevado consumo energético, siendo mucho mayor en la segunda. A medida que el

precio al que la desalinizadora paga la energía disminuye, el sistema térmico es proporcionalmente más eficiente que el de membrana. Las plantas de cogeneración son un caso extremo en el que el precio de la energía es nulo cuando existe energía residual, de modo que el sistema térmico es mucho más eficiente.

2.2.- Historia de la desalinización.

En la bibliografía existente en torno a la desalinización, se toma el siglo XX, en concreto la década de los sesenta como el origen de la desalinización. No obstante en este apartado pretendemos remontarlos a los inicios históricos de la misma. En el mundo, entre la construcción de la primera desalinizadora y los primeros escritos y reflexiones en torno al proceso, se han dado eventos que merecen nuestro análisis.

La industria de la desalinización en España se ha convertido en un referente a nivel mundial por diversos motivos. En primer lugar destaca en nuestro país el gran número de desalinizadoras instaladas así como la tecnología de las mismas. El hecho de que obtengamos una cantidad de recursos hídricos elevada mediante desalinización es debido fundamentalmente a que en España sufrimos desequilibrios entre la oferta y la demanda de recursos hídricos dados los precios y derechos vigentes, siendo este problema especialmente agudo en el litoral mediterráneo y en las Islas Canarias. Por otro lado, las desalinizadoras instaladas en nuestro país presentan tecnologías avanzadas y una gran eficiencia energética.

En segundo lugar, la industria de la desalinización en España destaca por su creciente proceso de internacionalización. Este proceso es debido al *know how* y la experiencia que han adquirido estas empresas en nuestro país. Las exigencias en materia ambiental y los elevados costes de la energía en España, han fomentado la construcción de desalinizadoras de una gran eficiencia. En la actualidad un grupo empresas españolas compiten en el extranjero construyendo y gestionando plantas de desalinización en países

como Argelia, Túnez, Egipto o Australia entre otros (Montaño 2008 a, pp. 27-31)[6].

Analizaremos los desequilibrios hídricos en España, pues estos justifican el desarrollo local de la desalinización. A continuación expondremos brevemente cuales fueron los inicios de la industria de la desalinización, cual ha sido su evolución en España desde 1965 hasta 2004, y como evolucionó a partir del año 2004, ya que en esta fecha con la puesta en marcha del Programa A.G.U.A.[7] se hizo una mayor apuesta por la obtención de recursos hídricos a partir de agua del mar.

El poder transformar el agua salada en dulce ha sido un anhelo del ser humano ya desde la prehistoria, el hombre observaría como el agua del mar se evaporaba con el sol, formando nubes, y sabía que las nubes eran las responsables de la lluvia, que contenía agua sin sales ni impurezas. Desde tiempos muy lejanos, el hombre trató de reemplazar la energía solar con fuego y de este modo surgió el primer sistema de desalinización térmica.

Podemos encontrar referencias de gran antigüedad en Tales de Mileto (624-547 a.C.) y Demócrito (460-370 a.C.), estos autores describían el proceso de obtención del agua dulce como una filtración del agua del mar a través de la tierra. Más tarde, fue Aristóteles (384-322 a.C.) quien estudió las propiedades del agua del mar y la posibilidad de desalinizarla. Los primeros ensayos acerca de métodos concretos para desalinizar agua los encontramos en la gran enciclopedia de Plinio (23-79 d.C.). Un siglo más tarde se describió por primera vez el proceso de destilación, el autor fue Alejandro de Afrodisias (193-217

[6] Cabe destacar que en el caso de Egipto se trata fundamentalmente de depuración, no obstante es un caso muy interesante de cara al análisis de su estructura de financiación. En cuanto al modelo financiero que permite el funcionamiento del proyecto de Egipto no existen diferencias particulares por el hecho de ser de depuración en lugar de desalinización.

[7] Programa A.G.U.A.: Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua.

d.C.) cuando estudiaba la Meteorológica de Aristóteles. En la Edad Media fueron varios autores los que trataron la desalinización, destacando John Gaddesen (1280-1361) en su obra Rosa medicine.

Con la Edad Moderna aparecieron muchos estudios científicos entorno a la desalinización, los descubrimientos geográficos fueron la causa ya que era necesario realizar largos viajes marítimos con fines comerciales. El abastecimiento de las tripulaciones de los buques aceleró el conocimiento en torno a los procesos de obtención de agua dulce a partir de la salada. Andrés Laguna (1499-1550), el médico personal del rey de España, Carlos I, escribió sobre diversos métodos de desalinización, y en 1589, Giovanni Battista della Porta (1525-1615) llevó a cabo experimentos sobre desalinización y publicó la segunda edición del Magiae Naturalis, que se componía de veinte tomos, el último de los cuales trata sobre la obtención de agua dulce a partir de la salada. Durante el siglo XVIII, con el auge de la industria del azúcar que necesitaba de evaporadores para abaratar el proceso, se favoreció mucho el desarrollo de la desalinización.

Los principios de los métodos de desalinización térmicos más importantes (la evaporación solar, la destilación y la congelación) ya eran conocidos a comienzos del siglo XIX. A mediados del siglo XIX no era infrecuente el que los barcos llevasen destiladores para conseguir potabilizar el agua del mar. El avance más importante se dio en el año 1884 cuando James Weir diseñó una desalinizadora que empleaba para su funcionamiento la energía residual de la caldera de los barcos (Zúñiga 2004, pp. 16-20).

La primera planta de desalinización documentada, se construyó en Egipto en 1912, y su caudal era de 75 metros cúbicos diarios. Cinco años más tarde se construyó una planta de 150 m^3/día en Stears, Kentucky (EEUU). Tras la II Guerra Mundial comenzaron a instalarse las primeras desalinizadoras en países con escasez de recursos hídricos y próximos al mar como Arabia Saudí o Kuwait.

A partir de los estudios sobre membranas fabricadas con resinas por Juda y Kressman en 1949 se inicio el empleo de la desalinización mediante sistemas de membrana. No obstante, cabe destacar que las propiedades de semipermeabilidad y selectividad eran conocidas desde el siglo XIX. En la década de los sesenta se descubrió la técnica que hoy en día es la más empleada, la ósmosis inversa.

Fue en la década de 1950 cuando se construyeron las primeras instalaciones de tipo industrial que eran mayoritariamente térmicas, también comenzaron a desarrollarse las primeras plantas mediante sistemas de intercambio de iones (Rico et al 1998). Los sistemas térmicos de desalinización comenzaron a emplearse, quedando obsoletas las instalaciones de tubos sumergidos[8]. El inicio de la era industrial de la evaporación súbita la podemos enmarcar en 1959, cuando la compañía Westinghouse comenzó la instalación en Kuwait de una planta de 2.273 m^3 diarios.

El hecho de que los costes de la desalinización hayan disminuido en los últimos años, se debe, a la progresiva incorporación de los procesos de membrana en aquellos países en los que la energía es cara, sustituyendo a los procesos térmicos (Scoott 1995). Los procesos térmicos se utilizaban desde la aparición de la desalinización en los años 50, actualmente se usan fundamentalmente en los países exportadores de petróleo (Urrutia 2001, pp. 2-5).

El fenómeno que lleva a que un país deje de utilizar sistemas térmicos para dar un mayor uso de las plantas con tecnologías de membranas, se justifica desde el punto de vista de los costes energéticos. Los sistemas térmicos utilizan grandes cantidades de energía en comparación con los de membrana, pero los países con menores costes por metro cúbico de agua desalada son aquellos que utilizan sistemas térmicos (Semiat 2000, pp. 54-65). Si dejamos de lado el coste que deriva del consumo energético y sumamos el

[8] La desalinización por tubos sumergidos es un proceso de destilación o evaporación cuyo principio físico químico es el cambio de estado y pertenece a los procesos que separan agua.

resto de partidas, los sistemas de membranas son menos eficientes en costes, es por ello que las plantas que obtienen el metro cúbico más barato son las térmicas que emplean cogeneración.

En los años 60, los únicos métodos de desalinización existentes eran los de destilación en todas sus variantes: evaporación multiefecto, evaporación multietapa, compresión de vapor y tubos verticales (Zarza 1997, pp. 199-226). La desalinización dio un gran giro con la aparición de la primera membrana comercial capaz de trabajar con agua de mar en los años 80, esto marcó el inicio del proceso de ósmosis inversa. Desde entonces se ha mejorado mucho en los procesos de membrana y los costes de las plantas de ósmosis inversa nada tienen que ver con las de entonces, debido a que se ha conseguido reducir a la mitad el consumo energético, se han mejorado los tratamientos químicos y se ha reducido considerablemente la inversión necesaria (Zarzo 2007, pp. 96-101)[9].

La tecnología actual para la desalinización de agua de mar, permite obtener agua dulce a costes de entre 0,40-0,65€/m^3 con una amortización de 25 años como mucho (a esta amortización hay que añadirle el coste de las membranas que en un plazo aproximado de entre cinco y diez años deben ser reemplazadas). En el cuadro 2.4 podemos ver reparto de costes de explotación para desalinizar agua marina mediante ósmosis inversa.

Cuadro 2.4: costes de explotación de la desalinización de agua marina mediante ósmosis inversa

Partida	**Coste €/m^3**
Amortización	0,13-0,25
Energía	0,21-0,33
Personal y mantenimiento	0,04-0-19
Aditivos Químicos	0,01-0,06
Reposición de membranas	0,02-0,04
Total	0,41-0,86

[9] La disminución de los costes se debe también al avance técnico en las membranas a utilizar en el proceso, ya que las primeras que salieron al mercado conseguían unos peores resultados y se deterioraban rápidamente.

Fuente: elaboración propia a partir de Martínez (2003), Prats y melgarejo (2006), International Desalination Association y Global Water Intelligence.

En el proceso de ósmosis inversa, se han disminuido considerablemente los costes de inversión debido al abaratamiento del precio de las membranas, que son además de mayor calidad. Sin embargo, en España al igual que en el resto del mundo, ocurre que pese a que la tecnología existente para la desalinización haya mejorado mucho disminuyendo sus costes, existen plantas en funcionamiento con bastante antigüedad, con lo cual los costes medios por metro cúbico que presenta la desalinización en nuestro país son superiores a los que permite la tecnología actual (Prats y Melgarejo 2006, pp. 57-59).

Para su utilización en España, el sistema de desalinización óptimo a utilizar es la ósmosis inversa, debido a cuatro motivos fundamentales (Mujeriego 2005, pp. 21-22). El primero es que no disponemos de fuentes de energía primaria a un bajo coste (como puedan ser los combustibles fósiles). El segundo es que la calidad del agua y la temperatura de nuestras costas son idóneas para emplear la ósmosis inversa (Arias 2006). En tercer lugar, la existencia de otros recursos hídricos hace que la ósmosis inversa sea el sistema más eficiente, ya que son plantas que ofrecen un buen rendimiento siendo de menor tamaño que las térmicas y en consecuencia precisan menores costes de inversión. Por último, cabe señalar que las plantas de ósmosis inversa pueden ser ampliadas, con lo que si el déficit de agua aumenta, podemos aumentar el tamaño de la planta, sin necesidad de hacer una nueva. Los costes de realizar esta ampliación son mucho menores que los costes de construir una nueva planta, debido en gran parte a los rendimientos de escala, un caso de estas ampliaciones lo tenemos con la planta Alicante II que es ampliación de Alicante I (Ordóñez 2008, pp. 12-13)[10].

Otra tecnología de tratamiento de aguas es la de las membranas para la depuración de las aguas. Pero no la podemos considerar como una alternativa

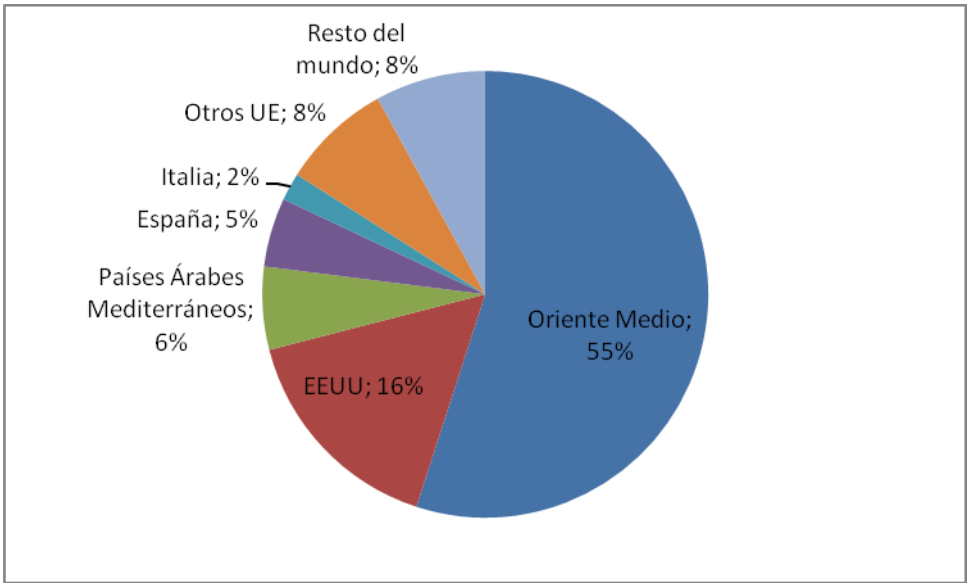
[10] Una ampliación del tamaño de la planta, puede ser sostenida con un ligero aumento del personal, se pueden utilizar los mismos cauces de captación del agua, las mismas instalaciones de pretratamiento y postratamiento...

a la desalinización, debido a que el agua resultante no puede ir destinada a los mismos usos (Grupo de Análisis Económico del Ministerio de Medio Ambiente 2007 b). La idea es que se puede someter al agua depurada a un tratamiento posterior que permita su utilización en lugar de desecharla en un cauce. Si después de someter a esta agua a un tratamiento terciario a base de membranas de microfiltración y ultrafiltración, la sometemos además a un proceso de ósmosis inversa de aguas salobres obtenemos un agua con una calidad que permite su uso para casos como la industria o el riego. Una importante diferencia entre la depuración y la desalinización reside en quien paga cada recurso, ya que en el caso de la depuración prima el principio de quien contamina paga mientras que en la desalinización son los usuarios. Es decir tanto en el agua desalinizada como en la depurada, el usuario que la consume paga un precio por ella, pero en la depurada son además pagadores quienes contaminaron el agua. Además cabe señalar que solo una parte del agua que se depura se reutiliza.

España, con un 5% del total del agua desalada en el mundo, es el cuarto país productor de agua desalada, por detrás de Arabia Saudí, Emiratos Árabes y EEUU. Esto es debido a que, al igual que la mayoría de los países que se preocupan de desarrollar sistemas de desalinización, España es un país con graves problemas de desequilibrios hídricos (Arrojo 2006).

En el gráfico 2.1 podemos ver la relación de la capacidad de desalinización de España con respecto al mundo en el año 2004:

Gráfico 2.1: Distribución porcentual de la capacidad de desalinización en el 2004.



Fuente: elaboración propia a partir de Torres 2004 b.

Los comienzos de la desalinización en España se producen en las Islas Canarias. La primera planta se estableció en 1964 en Lanzarote, el motivo fue el desequilibrio entre la oferta y la demanda de recursos hídricos, de hecho en la actualidad casi toda el agua que se consume en Fuerteventura y en Lanzarote es desalinizada (Torres 2004 b, pp. 17-26). Al igual que en el resto del mundo, las primeras plantas que se construyeron en España eran térmicas, aumentando paulatinamente el número de desalinizadoras que emplean sistemas de membranas a medida que los avances tecnológicos permitían reducir los costes de la desalinización mediante ósmosis inversa (Urrutia 2001, pp. 2-5). En el cuadro 2.5 podemos ver las primeras plantas desalinizadoras en España. De entre las cuales sólo sigue funcionando Las Palmas I.

Cuadro 2.5: primeras plantas desalinizadoras en España

Nombre	**Año**	**Capacidad (m^3/día)**	**Proceso**
Termolanza* (Lanzarote)	1965	2.000	MSF
Ceuta I*	1969	4.000	MSF

Fuerteventeventura I*	1970	2.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF
* No operan actualmente			

Fuente: Torres (2004)

A partir de 1973 cuando se empezó a sufrir la crisis del petróleo en su primera etapa, el desarrollo de las desalinizadoras experimentó una frenada, y apareció la necesidad de encontrar el medio de maximizar el ahorro energético de las desalinizadoras (Scoott 1995). De esta necesidad, aparecieron nuevos diseños de intercambiadores de procesos de evaporación, que emplean unas superficies de intercambio mayores, haciéndose posible generar un destilado mayor con el mismo consumo energético. Con esta nueva tecnología aparecieron las plantas del cuadro 2.6:

Cuadro 2.6: desalinizadoras en España tras la crisis del petróleo

Nombre	**Año**	**Capacidad (m^3/día)**	**Proceso**
Lanzarote I*	1976	5.000	MSF
Riotinto (Lanzarote)*	1977	2.500	MSF
Fuerteventura II*	1978	2.000	CV
C.T. Carboneras (Almería)	1980	2.200	MSF
Las Palmas II	1980	18.000	MSF
* No operan actualmente			

Fuente: Torres (2004)

Con la aparición de membranas capaces de desalinizar agua mediante ósmosis inversa, en los años 80, éste sistema comienza a imponerse como tecnología predominante (Brock 1983, Fariñas 1999). Tras los avances se instalan en España las plantas del cuadro 2.7:

Cuadro 2.7: plantas desalinizadoras que se instalan en España con membranas

Nombre	Año	Capacidad (m3/día)	Proceso
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Fuerteventura III	1990	5.000	OI
Maspalomas I* (Las Palmas)	1987	10.000	ED
Denia* (Alicante)	1990	16.000	OI
* Aguas salobres			

Fuente: Torres (1999)

Desde la década de los noventa, España tanto a nivel público como privado, ha invertido en investigar sobre las posibles vías de reducción de consumo energético de la desalinización (Estevan y García 2007, pp. 120-121). Además de las Islas Canarias destaca en términos de desalinización en nuestro país la cuenca del Segura (Zarzo et al 2004). La primera planta de gran tamaño que se construyó en la cuenca del Segura para disminuir el déficit hídrico de la Mancomunidad de Canales del Taibilla fue la desalinizadora del canal de Alicante que comenzó a funcionar en el 2003 (Gil y Rico 2007, pp. 62-74). La producción de agua desalinizada en España ha experimentado un gran aumento entre 2000 y 2008, alcanzando la cifra de 1,9 hm^3/día. El aumento ha sido paulatino, pues en 1990 se obtenían 0,1 hm^3/día, diez años más tarde esta cifra se había multiplicado por siete y en 2004 ya se obtenían 1,4 hm^3/día y en 2008 ya se alcanzaban los 1,9 hm^3/día. Esta tendencia va a continuar en los próximos años ante el significativo número de plantas que se están construyendo en la Península, así como los proyectos que próximamente serán adjudicados en las Islas Canarias en el contexto del acuerdo suscrito entre el Estado español y el Gobierno canario para la puesta en funcionamiento de desalinizadoras (Torres 2005, página 11).

La tramitación del Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional de 1993 fue un fracaso, de modo que la nueva iniciativa del Plan Hidrológico Nacional

(2001) optó por un proceso de elaboración gradual, prolongado y de un mayor rigor técnico. Los trasvases se redujeron y quedó prohibida la transformación en regadío con aguas trasvasadas en las cuencas receptoras. Tras un intenso debate de gran participación pública, se aprobó el Plan Hidrológico Nacional por la ley 10/2001 del 5 de julio. La tramitación de éste contrasta con el expeditivo procedimiento seguido para la derogación del trasvase del Ebro a través del Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) mediante el Real Decreto-Ley 2/2004, que posteriormente se convirtió en la Ley 11/2005 (Rico 2010, pp. 235-246). Con el Programa A.G.U.A., el Gobierno pretende garantizar una mayor equidad, obtener una mayor eficiencia y sostenibilidad aprovechando las mejores tecnologías disponibles así como cumplir los criterios y normas de la Unión Europea (Ministerio de Medio Ambiente 2004 pp. 3-4; CE del Parlamento Europeo y del Consejo 2000, pp. 1-13).

Una de las actuaciones que contempla este programa es la reforma de las Confederaciones Hidrográficas, incorporando las Comunidades Autónomas al proceso de toma de decisiones y de control público del uso del agua, fomentando la participación de los ciudadanos en la gestión del agua. Por otro lado, en el Programa A.G.U.A se contempla la intención de crear en cada cuenca hidrográfica un Banco Público del Agua, para reasignar los derechos históricos del agua. El objetivo principal del Programa A.G.U.A. es adaptar la gestión de los recursos hídricos en nuestro país a la Directiva Marco del Agua y en este sentido se establecerán tarifas del agua acordes con los costes reales de obtención y tratamiento del agua y se llevarán a cabo actuaciones de mejora de la gestión y del suministro de agua de calidad, destacando la optimización de las infraestructuras existentes y la construcción y explotación de desalinizadoras y depuradoras (Esteve 2006, páginas 86-88) [11].

[11] En la gestión de los recursos hídricos, es más rentable, económica, social y ambientalmente, diversificar y desarrollar una combinación de medidas de carácter local o comarcal, que centrar toda la solución en las grandes obras hidráulicas. Esta diversificación el Programa A.G.U.A. se centra en las siguientes actuaciones:
• El ahorro y la eficiencia en la gestión del agua
• La reutilización de efluentes urbanos e industriales

El Programa A.G.U.A. se está implantando en toda España, empezando por el litoral mediterráneo que es donde se están sufriendo los principales problemas déficit de recursos hídricos. La desalinización juega un papel clave en la nueva orientación de la gestión de los recursos hídricos ya que España es un país de costa, en el que las cuencas mediterráneas tienen más de 1.500 Km de litoral, por tanto el agua del mar puede asegurar un desarrollo sostenible en las zonas cercanas a la costa (Fariñas 1984). El Programa A.G.U.A. busca equilibrar el crecimiento económico con el respeto al medio ambiente, por otro lado se pretende aumentar la autonomía de cada cuenca buscando el autoabastecimiento. Éste programa persigue asegurar la disponibilidad de agua con independencia de la situación climática.

Según estimaciones del Ministerio de Medio Ambiente, la desalinización va a provocar que los costes de inversión para proveer a la población de nuevas fuentes de recursos hídricos aumenten, esto es debido a que la desalinización, considerada por el Programa A.G.U.A. como la base de las nuevas fuentes de recursos hídricos, presenta mayores costes de disposición (Esteve et al 2006, pp. 86-88).

En este sentido las estimaciones del Gobierno que se muestran en el cuadro 2.8, indican que para lograr unas aportaciones totales de nuevos recursos de más de 1.100 hm^3 anuales, se necesita una inversión total estimada de más de 3.900 millones de euros. Las actuaciones en materia de desalación en dicho programa se han materializado en la construcción de 16 nuevas plantas con una capacidad total cercana a 350 hm^3.

• La modernización de regadíos
• La adecuación y mejora de los sistemas de redes de distribución
• La consolidación y reforzamiento de trasvases como el del Tajo-Segura así como la correcta distribución de sus recursos
• El cierre de pozos de los acuíferos sobreexplotados
• La desalación y desalobración
• Las medidas administrativas, cuentas del agua, control y mejora de la información estadística y registral.

Cuadro 2.8: Inversión necesaria para lograr aportaciones totales de más de 1.100 hm^3 anuales

	nº de actuaciones	**Aportaciones hm^3/año**	**Inversión (millones de euros)**
CM Andaluzas	17	312	554
CCHH del Segura	24	336	1.336
CCHH del Júcar	40	270	798
CCHH del Ebro y CI Cataluña[12]	24	145	1.110
TOTAL	105	1.063	3.798

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente (2004)

En el año 2005 se puso en marcha la desalinizadora del Canal de Cartagena (San Pedro del Pinatar I), lo que supuso un gran incremento de los recursos hídricos en la región de Murcia. Esta planta es una de las que hacen a España destacar como referente mundial en términos de desalinización, con una producción de 65 millones de litros diarios.

En el año 2007 se incorporaron también las plantas de San Pedro del Pinatar II y Alicante II con 24 hm^3 de capacidad cada una. En este mismo año se puso en marcha la planta de Valdelentisco, en Mazarrón cuya capacidad alcanza los 57 hm^3. Destacan también por su capacidad las plantas de Águilas con 70 hm3 anuales y la de Guardamar del Segura con 40 hm3 [13]. A finales de

[12] Siendo CI Cataluña la Cuenca Interna de Cataluña

[13] La planta de Águilas se ha desarrollado por Acuamed y se compone de las siguientes partes:

- Planta desaladora de 60 hectómetros cúbicos anuales de capacidad, con destino a los abastecimientos urbanos y al regadío de la zona litoral y del Valle del Guadalentín. (la planta tiene capacidad suficiente para dotar de agua bruta a la actual desalinizadora de la Comunidad de Regantes de Águilas, y conseguir así que su producción alcance los 8,4 hectómetros cúbicos anuales para los que fue dimensionada).
- Impulsión del agua desalada a la balsa de regulación de la Comunidad de Regantes de Águilas (Salinares).

2009 se puso en marcha la desalinizadora de Torrevieja que es la más grande de las puestas en marcha en España hasta el momento, con una capacidad de 80 hm3 [14]. Todas estas plantas garantizan el abastecimiento hídrico en la Cuenca del Segura.

De las desalinizadoras planificadas en el Programa A.G.U.A., al menos 6 de ellas pretendían satisfacer parcialmente la demanda de riego de unos 155,37 hm^3. Cabe señalar que en 2008, el coste por metro cúbico de dichas plantas ascendía a 0,86€, representando la partida energética un 52% de los costes de operación (lo que equivale a un 39% de los costes totales). Si tenemos en cuenta que dicho coste se estimó en 2006 partiendo de un precio por debajo de 0,09 €/kWh y que en el 2011 dicho precio ha ascendido a 0,12 €/kWh, el coste por metro cúbico sería unos 0,12€ superior, situándose muy cerca de la cifra 1€/m^3 (Villar 2011, pp.1-14) [15]. Esta situación pone de manifiesto que una estrategia para abastecer la demanda exclusivamente mediante esta fuente de recursos presenta grandes riesgos y vulnerabilidades frente a la incertidumbre en los mercados energéticos.

La reorientación de la política de gestión de los recursos hídricos que se toma a partir del Programa A.G.U.A. no consiste solo en la construcción de desalinizadoras sino también engloban otras actuaciones de distinta

- Impulsión del agua desalada a las instalaciones de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en Águilas.
- Impulsión del agua desalada a la zona regable de Pulpí y al Valle del Alto Guadalentín

[14] Pese a ser la planta más grande instalada en España, a finales de Enero de 2011 la desalinizadora de Torrevieja aún no se ha puesto en marcha por problemas políticos y energéticos

[15] En el año 2010 el coste por metro cúbico de las desalinizadoras del programa A.G.U.A. destinadas parcialmente a riego sería de (Villar 2011, pp. 1-14):
Desaladora de Torrevieja (Alicante)→ 1,17€
Desaladora Bajo Almanzora (Almería)→ 0,94€
Desaladora de Valdedentisco (Murcia)→ 0,59€
Desaladora Campo de Dalías (Almería)→ 1,20€
Ampliación Desaladora de El Mojón (Murcia)→ 1,19€
Ampliación Desaladora de Águilas (Murcia)→ 1,05€

naturaleza[16]. Los **principios** en los que se basa el **Programa A.G.U.A**. son los siguientes:

- El agua es un recurso que tiene un valor ambiental, económico y social.
- El agua es un bien limitado y su disponibilidad en cuantía y calidad adecuadas no es gratuita.
- El desarrollo tecnológico está permitiendo un mayor ahorro y eficiencia en el uso del agua. Asimismo, éste debe respetar los caudales necesarios para preservar los ecosistemas de cada cuenca, incluyendo los costeros.
- El precio del agua debe fijarse en función de los costes reales y del beneficio económico que pueda derivarse de su utilización.

El aumento del número de desalinizadoras desde 1965 hasta 2004 fue exponencial, en tanto en cuanto en los primeros años era un sistema que ofrecía unos costes demasiado elevados y que se fueron reduciendo a medida que se producían avances técnicos (Torres 2004). En el año 2004, la política de gestión de los recursos hídricos formó parte activa de la campaña electoral de los principales partidos. Con la puesta en marcha del Programa A.G.U.A. la desalinización se convierte en la solución principal a los problemas de escasez hídrica en el litoral mediterráneo. A partir de este periodo la industria española de desalinización aumentó todavía más su competitividad situándose por encima de la mayoría de países, en consecuencia el proceso de internacionalización se dinamizó. Si bien nuestra hipótesis era que la

[16] Las principales actuaciones del Programa A.G.U.A. son:
- Reutilización: construcción de infraestructuras para el tratamiento y suministro de aguas reutilizadas.
- Regadíos: modernización y consolidación de infraestructuras de regadío.
- Abastecimientos: captación, tratamiento, almacenamiento y conducción de agua para la dotación urbana.
- Restauración ambiental: rehabilitación de espacios naturales (cauces y riberas fluviales).
- Prevención de inundaciones: puesta en marcha de actuaciones encaminadas a reducir desbordamientos fluviales.

desalinización se ha desarrollado en España a consecuencia de los desequilibrios hídricos, cabe matizar que la desalinización no era el único modo de paliar la escasez de recursos hídricos ya que existen alternativas en la gestión de los recursos hídricos. El agua dulce es un recurso natural escaso cuyo valor económico es cada vez mayor, su manejo y conservación adecuados requieren instrumentos legales idóneos que aseguren la inversión privada en el desarrollo potencial económico del recurso y posibiliten su adecuado control en función de objetivos ambientales y sociales (Solanes y Dourojeanni 1994, pp. 15-16). Por tanto, la planificación y puesta en marcha del Programa A.G.U.A. es uno de los dinamizadores fundamentales de la productividad de la industria de desalinización y en consecuencia de su internacionalización.

El aumento de la competitividad de la industria de la desalinización no es necesariamente consecuencia de los desequilibrios hídricos, puesto que esta podía gestionarse sin que fuese necesario construir un número tan elevado de plantas. Por tanto, el Programa A.G.U.A. y la apuesta del Gobierno español son condicionantes fundamentales del fuerte proceso de construcción de desalinizadoras en España.

A finales de 2008 la capacidad instalada de desalinización en España se situó cerca de 2,4 millones de m^3/día. En el caso concreto de las Islas Canarias la cuota de desalinización es del 29,6% respecto al total nacional, le siguen Andalucía (21,7%), la Región de Murcia (16,4%), la Comunidad Valenciana (13,5%), Cataluña (6,9%) y Baleares (6,8%).

Si atendemos a la utilización de esta agua desalinizada, vemos que el consumo principal es el urbano, no obstante en Canarias, Almería, Alicante y Murcia existen también desalinizadoras destinadas íntegramente al suministro agrícola, cuya propiedad es de las comunidades de regantes. Atendiendo a los

datos de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR) la distribución de los usos del agua desalada en España en 2005 era: urbano (55,4%), Agrícola (22,4%), Industrial (18,5%) y Turístico (3,6%).

Si analizamos el conjunto de la oferta de agua desalinizada destacan las siguientes instalaciones:

- La **desalinizadora de Torrevieja**, cuya puesta en marcha no ha tenido lugar aún en enero de 2011 a causa de problemas políticos y energéticos. Esta planta es la mayor de las instaladas en España con una capacidad de 80 hm3 anuales (240.000 m^3/diarios)[17].

- La **desalinizadora de Águilas-Guadalentín** con una capacidad de 70 hm3 anuales (10 hm3 anuales más de los inicialmente previstos), cuya puesta en marcha se prevé para otoño de 2011. Esta servirá para abastecer a las comunidades de regantes de Lorca, Águilas, Puerto Lumbreras y el municipio almeriense de Pulpí[18].

- La **desalinizadora del Prat de Llobregat** que se inauguró en julio de 2009, siendo su capacidad de 200.000 m^3/día[19].

- La planta de **Carboneras en Almería**, cuya inauguración tuvo lugar en 2005, es el segundo mayor centro productivo de agua de mar existente en

[17] Cuando la planta de Torrevieja esté operativa será la mayor de Europa, su presupuesto de inversión fue cercano a los 300 millones de euros. La planta se ubica al suroeste del núcleo urbano de Torrevieja, en una parcela lindante con la carretera N-332, próxima al Hospital de Torrevieja y la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la ciudad (http://www.eltorrevieja.es/spip.php?article1696).

[18] Esta planta ha sido construida por Acuamed y combina las tecnologías más recientes de tratamiento y recuperación de energía. Todos los procesos del tratamiento pueden aislarse para utilizar la energía estrictamente necesaria. Por otro lado en cada bastidor existe un grupo de recuperadores de energía de última generación que reducen al mínimo posible el consumo energético del proceso de ósmosis inversa (http://www.europapress.es/murcia/noticia-planta-desaladora-aguilas-guadalentin-murcia-mayores-instalaciones-mundo-osmosis-inversa-20100929172443.html).

[19] Esta planta que complenta las fuentes de suministro de agua de ámbito metropolitano, está ubicada en la cuenca del Llobregat, junto a la desembocadura del río. La captación del agua del mar se hace delante de la playa del término municipal de el Prat de Llobregat y posteriormente se bombea a la planta desalinizadora. El presupuesto de inversión de esta planta fue de 238 millones de euros (http://www.pemb.cat/ca-es/projectes-estrategics/mapa-projectes-estrategics-projecte.aspx?_gIdMapa=2&_gIdLocalizacion=603&_gIdContexto=1&idioma=ES).

nuestro país, siendo su capacidad de 120.000 m^3/día. Esta planta fue llevada a cabo por Acuamed, que es el actual propietario, su objetivo es abastecer a la población urbana y al sector agrícola. Pese a su enorme potencial de producción, esta instalación no se encuentra funcionando a pleno rendimiento por no haberse finalizado todavía las conducciones de abastecimiento.

- La **desalinizadora de Piedra Santa**, cuya capacidad es de 114.600 m^3/día, está ubicada en Las Palmas de Gran Canaria. Esta comenzó a producir agua desalinizada de origen marino en 1968, siendo el destino de la misma el abastecimiento urbano.

- La **desalinizadora de Valdelentisco**, ubicada en Cartagena comenzó a ser operativa en 2008. La capacidad de esta planta es de 75.000 m^3/día, pero se está realizando una ampliación de otros 61.000. La producción de esta planta se destino inicialmente al abastecimiento urbano de Mazarrón y Cartagena, desde 2009 también cubre ciertas necesidades de regadío de los términos municipales de Alhama de Murcia, Fuente Álamo y Murcia.

- Por otro lado destacan otras plantas importantes cuya capacidad es inferior a las citadas (65.000 m^3/día) que son las de **San Pedro del Pinatar I y II y Alicante I y II**, cuya gestión corresponde a sociedades estatales.

2.2.1- Situación actual de la desalinización.

Si observamos la evolución en los últimos años de la desalinización cómo método de obtención de recursos hídricos, no cabe duda de que es una tecnología en auge cuyo uso no para de aumentar. A escala mundial se están llevando a cabo un gran número de proyectos, destacando los realizados en Australia, Túnez, y Argelia entre otros. Las mejoras tecnológicas que se han producido en los últimos años han reducido significativamente el coste económico de la desalinización. La reducción del coste de la desalinización se ha dado fundamentalmente en los sistemas de membranas y esto ha sido debido al aumento en la calidad de las mismas y a la mejora y aplicación de sistemas de recuperación de energía cada vez más eficientes. El agua es un input vital para la economía de un país, al igual que sucediera en España en la década de los sesenta, gobiernos como el argelino actúan bajo el convencimiento de que incrementar los recursos hídricos es el mejor modo de relanzar su economía.

En un país seco como es Argelia existen pocos métodos de incrementar los recursos hídricos dado su nivel de aguas superficiales y subterráneas, no obstante el acceso al mar de este país hace que la desalinización sea el mejor medio para incrementar los recursos hídricos cerca de la costa. Catorce grandes desalinizadoras se han construido en Argelia en los últimos años, casi todas se han construido por empresas españolas. Más adelante analizaremos uno de los proyectos que se han llevado a cabo por un consorcio hispano-canadiense. Además de empresas españolas está presente en Argelia diversas multinacionales de gran prestigio como Ionics de la estadounidense General Electric.

Posiblemente en un futuro muy cercano Estados Unidos se puede convertir en un mercado de gran importancia, especialmente California y Tejas que tienen graves problemas en el suministro de agua (California Coastal

Commision 2004, pp. 15-79). En varios distritos hidrográficos de California ya se están licitando etapas de desalinizadoras a lo largo de la costa, de modo que las empresas españolas consideran a este Estado como un posible centro de sus operaciones. Por otro lado, en Tejas varias ciudades están planteándose construir desalinizadoras para aumentar el agua de la que disponen. La empresa española Inima de OHL está construyendo en la actualidad su primera planta en Estados Unidos, en la ciudad de Boston. En la costa Este de Estados Unidos, Acciona Agua ha llevado a cabo la reparación de la planta de Tampa. El éxito de estos proyectos llevados a cabo por empresas españolas así como la escasez de recursos hídricos hace de EEUU un mercado que en el futuro puede alcanzar una gran importancia.

En México se ha construido la primea desalinizadora de gran escala en este país, en concreto en la ciudad residencial Los Cabos (al extremo sur de la Baja California Sur), esta planta ha sido construida y es gestionada por Inima (OHL)[20].

India es otro mercado que puede alcanzar una gran importancia, la empresa española Befesa está a cargo de la construcción y explotación de la planta de Chennai.

En China, la extrema centralización del poder en China hace que este mercado sea un tanto heterodoxo con respecto a los demás, pese a esto las empresas españolas ya han mantenido conversaciones respecto a diversos proyectos de desalinización que se llevarán a cabo.

[20] Más adelante analizaremos la importancia de empresas españolas tales como Befesa, Sadyt o Inima.

En Israel se ha construido recientemente una planta de gran tamaño que empleaba ósmosis inversa y durante este año las empresas españolas han estado compitiendo por la adjudicación de una segunda planta que finalmente se ha adjudicado Sadyt[21].

En diversos países con petróleo abundante en los que se ha estado desalinizando agua mediante sistemas térmicos, ahora se están construyendo plantas de ósmosis inversa y en algunos casos híbridas. Este cambio de orientación se debe a las mejoras técnicas de los sistemas de ósmosis inversa. Son de gran importancia para el mercado internacional de la desalinización y por tanto para las empresas españolas mercados como el de Arabia Saudí, Omán y Emiratos Árabes Unidos. En la actualidad, las empresas españolas de desalinización son las líderes en el sector a escala mundial.

La desalinización es una industria de futuro en cuanto a la construcción de nuevas plantas, ya que las mejoras que se han producido en la eficiencia de este método de obtención de recursos hídricos hacen que sea cada vez más empleado y permiten prever un constante aumento del número de plantas en el mundo. No obstante, es difícil que los costes disminuyan más, ya que, se trata de una tecnología madura (Tsur 2001, pp.105-120).

[21] El consorcio formado por Sadyt y Minrav que es su socio local en Israel se ha adjudicado el proyecto de la desalinizadora de Ashdod, que producirá 100 hm^3 de agua desalada al año.

2.3.- Análisis de la situación actual de la desalinización en el mundo.

2.3.1.- Introducción a la situación mundial

En este apartado analizaremos el estado de la desalinización a escala global, con el fin de obtener conclusiones a nivel global que pueden plantear a su vez reflexiones a nivel local. ¿Es la ósmosis inversa el sistema de desalinización más eficiente en costes? La respuesta a esta pregunta parece ser afirmativa si tomamos en consideración las referencias bibliográficas existentes o los conocimientos técnicos de la mayoría de profesionales del sector de la desalinización (Ahmad 2000, pp.229-242; Fritzmann et al 2007, pp. 1-76; Rautenbach et al 2001, pp. 241-258). Sin embargo, lo que pretendemos demostrar en este epígrafe es que la mayor eficiencia en costes de la ósmosis inversa es matizable. Al analizar la desalinización en algunos países árabes, fundamentalmente de la OPEP y en el caso de China, vemos que los sistemas térmicos presentan un menor coste. Analizaremos estos casos con el fin de reflexionar en torno a una cuestión fundamental ¿es posible desalinizar agua en España a un menor coste económico? Nuestra hipótesis es que sí, en este punto analizaremos cómo y cuáles son los motivos de que no se haga de este modo. Por otro lado, es de gran interés conocer el contexto mundial de la desalinización para poder entender y explicar con mayor precisión cómo y por qué se han internacionalizado las empresas españolas de desalinización.

Nuestro objetivo es analizar los costes económicos directos así como las principales peculiaridades de la desalinización en el mundo. Cabe señalar que en el análisis de los costes económicos existen algunos costes que son ambientales, como puede ser la inversión necesaria para verter la salmuera sin riesgos para las posidonias o los costes que se derivan de los estudios de impacto ambiental (Jones 1998, pp. 637-651). La dificultad adicional que se presenta con los costes ambientales es que su medición es compleja, existen

diversos métodos mediante los cuales pueden ser valorados en términos económicos, pero los resultados que ofrecen son poco comparables y muy subjetivos (Tsiourtis 2001, pp. 223-236).

Para la elaboración de este apartado se han empleado los datos de prácticamente todas las desalinizadoras del mundo que están funcionando en el año 2010, así como la información referente a las desalinizadoras planificadas para el periodo 2011-2015. Esta información se ha obtenido a partir de la International Desalination Association (IDA) y Global Water Intelligence (www.globalwaterintel.com y www.idadesal.org). En primer lugar realizaremos un estudio con los datos mundiales, donde comprobamos que existe un alto nivel de heterogeneidad entre las distintas zonas contempladas, lo que aconseja realizar un análisis de las características particulares de la desalinización en cada una de las zonas geográficas. Por otro lado, realizaremos un análisis estadístico de los costes de la desalinización a escala mundial.

A la hora de escoger el conjunto de países que conforman la muestra, existía la restricción de que no todos los países presentaban simultáneamente una información técnica y económica fiable en las bases de datos consultadas. Por otro lado, cabe señalar que los países que no forman parte de la muestra son aquellos en los que la desalinización no tiene gran importancia debido a que no acumulan gran capacidad, es por esto que los resultados no se ven distorsionados. De hecho la inclusión de todos los países podría disminuir la fiabilidad de los resultados, ya que los países con pocas plantas pueden presentar datos atípicos.

La base de datos que se ha elaborado, recoge información de las desalinizadoras de 63 países[22]. También se cuenta con los datos agregados del resto de países que no están incluidos en esta muestra.

A partir de esta información nuestro objetivo es analizar cuál es la situación actual de la desalinización en el mundo, para ello vamos a centrarnos en los rasgos distintivos que presenta la desalinización en las distintas zonas geográficas del mundo.

Los costes de la desalinización presentan un alto grado de desigualdad en función del área geográfica[23]. Es por ello, que hemos realizado una división de los datos en función de su zona geográfica, agrupando los distintos países con unas características similares en cuanto a la disponibilidad de recursos energéticos.

Teniendo en cuenta las diferencias y similitudes entre los costes de la desalinización en los distintos países, vamos a hacer cuatro subgrupos, a los que llamaremos A, B, C y D. Esta clasificación es la que utiliza la *International Desalination Association* (IDA).

En primer lugar, vamos a analizar la situación de la desalinización en los países de Oriente Medio, Magreb y Egipto. A esta zona la vamos a denominar

[22] Argelia, Arabia Saudita, Bahrain, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Irak, Israel, Kuwait, Líbano, Marruecos, Omán, Qatar, Túnez, Yemen, Australia, China, Corea del Sur, India, Japón, Pakistán, Singapur, Chile, EEUU, México, Cuba, Jamaica, Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Bahamas, Turcas y Caicos, Islas Caimán, Islas Vírgenes, San Cristóbal y Nevis, Antigua y Barbuda, Guadalupe, Dominica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Granada, Trinidad y Tobago, Aruba, Bonaire, Curaçao, Chipre, España, Italia, Rusia, Bielorrusia, Ucrania, Moldavia, Estonia, Letonia, Lituania, Georgia, Armenia, Azerbaiyán, Kazajstán, Kirguizistán, Tayikistán, Uzbekistán y Turkmenistán

[23] Esta heterogeneidad se demostrará y se explicará en la modelización.

A[24]. En el gráfico 2.2 podemos ver coloreados de verde los países pertenecientes a esta zona.

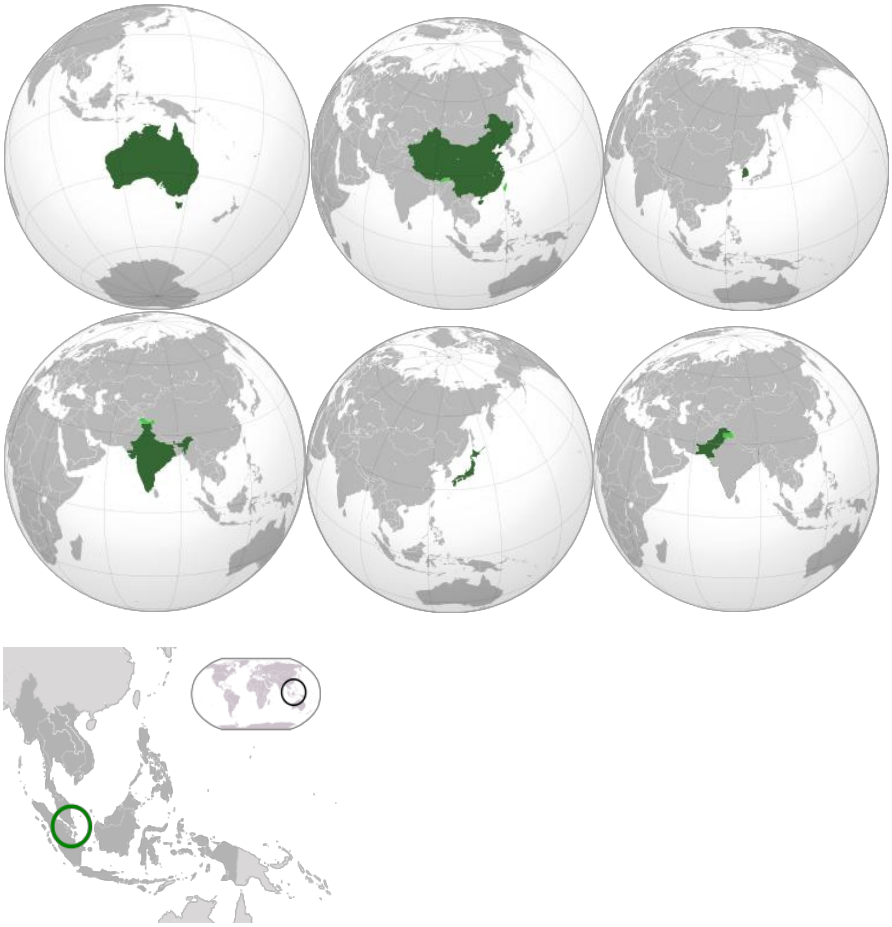
Gráfico 2.2: países de la zona A.

El segundo grupo de países que vamos a formar lo denominaremos B. Esta zona está compuesta por Asia del Este, el Sureste Asiático y Australia[25].

[24] Dentro de la zona A consideramos los datos de los siguientes países: Argelia, Arabia Saudita, Bahrain, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Irak, Israel, Kuwait, Líbano, Marruecos, Omán, Qatar, Túnez y Yemen.

En el gráfico 2.3 podemos ver coloreados de verde los países pertenecientes a esta zona.

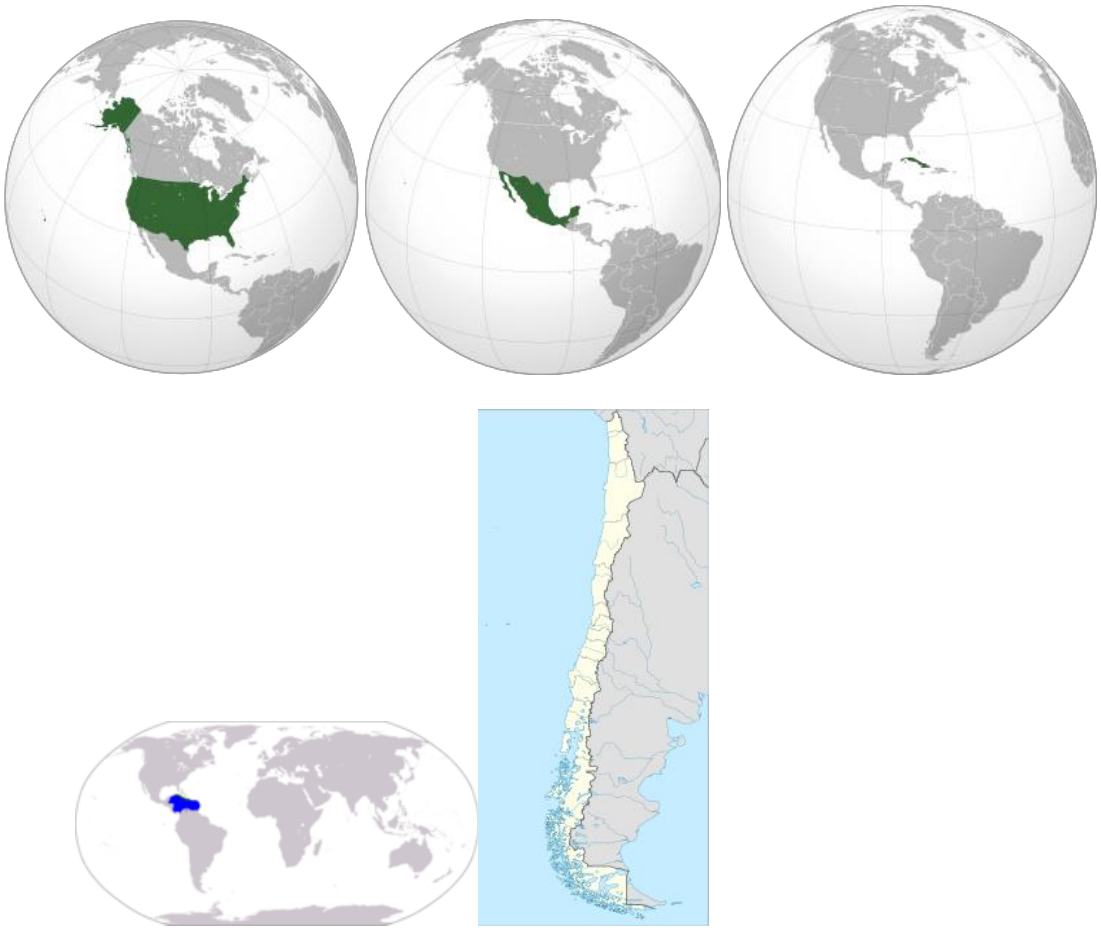
Gráfico 2.3: países de la zona B.



[25] En concreto los países que conforman la zona B son: Australia, China, Corea del Sur, India, Japón, Pakistán y Singapur.

El tercer grupo de países es el grupo C[26]. En el gráfico 2.4 podemos ver coloreados de verde los países pertenecientes a esta zona.

Gráfico 2.4: países de la zona C.

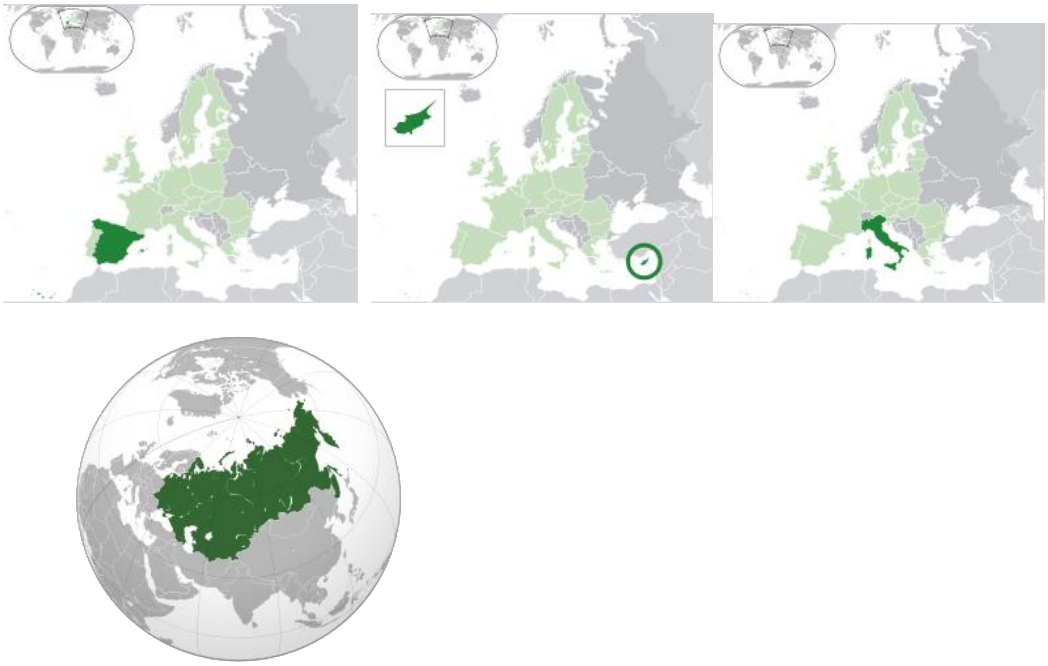


El último grupo de países al que denominaremos D[27]. En el gráfico 2.5 podemos ver coloreados de verde los países pertenecientes a esta zona.

[26] Los países que conforman dicho grupo son los pertenecientes al continente americano: Chile, EEUU, México, Cuba, Jamaica, Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Bahamas, Turcas y Caicos, Islas Caimán, Islas Vírgenes, San Cristóbal y Nevis, Antigua y Barbuda, Guadalupe, Dominica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Granada, Trinidad y Tobago, Aruba, Bonaire, Curaçao.

[27] Lo forman los países de Europa, en concreto son: Chipre, España, Italia y la antigua Unión Soviética.

Gráfico 2.5: países de la zona D.



Con el fin de demostrar la gran influencia que tiene el factor geográfico sobre los costes de la desalinización, vamos a construir un modelo en el que se obtendrá que todas las variables salvo las que hacen referencia a la zona geográfica son no significativas al 10%. Para la muestra se han tomado los datos de todas las desalinizadoras de las que se posee información técnica y económica, de esta selección deriva un sesgo, aunque de escasa influencia. Las plantas muy pequeñas no han sido contempladas, ya que presentan un alto grado de heterogeneidad y no son interesantes para su estudio. De haberlas incluido los resultados serían más difusos ya que éstas distorsionarían los resultados.

Una de las hipótesis que pretendemos contrastar es si existe un método de desalinización más eficiente en costes en todos los países, para ello vamos a regresar la ecuación que explica los costes de la desalinización a nivel mundial. Las variables que vamos a incluir en el modelo son las siguientes:

- COSTE: es el coste de explotación medido en dólares por metro cúbico
- C: es la constante del modelo.
- FECHACONSTRUCCION: es la media del año en el que se construyeron las desalinizadoras en el país i[28].
- CAPACIDADMEMBR: nos indica la capacidad total de desalinización que tienen las desalinizadoras con sistemas de membranas en el país i.
- CAPACIDADTERMIC: es la capacidad total de agua desalinizada que tienen las plantas de sistemas térmicos en ese país.
- ENFUNCIONAMIENT: esta variable es la media del año en el que se pusieron en funcionamiento las plantas en el país i. Obviamente, la fecha de puesta en marcha de la planta siempre será posterior al momento en que se empieza a construir, no obstante pueden coincidir en el año, pero en meses distintos.
- MGDOUTPUT: nos indica el volumen medio de agua producida MGD en el país i.
- MGDTAMANO: es el tamaño medio de las plantas desalinizadoras MGD en el país de medida.
- SIB: es una dummy que toma el valor 1 si el país i pertenece a la zona B y 0 en caso contrario.
- SID: esta dummy vale 1 si el país i pertenece a la zona geográfica D y 0 de lo contrario.
- SIA[29]: esta variable valdrá uno cuando el país pertenezca a la zona A y cero en caso contrario.
- TAMANOUNIDAD: nos indica cual es el tamaño medio de una unidad en el país de medida.
- UNIDADES: es la media de unidades que tiene una planta en el país i.

De este modo, el modelo quedaría de la siguiente forma:

[28] Siendo i = Argelia, Arabia Saudí … Yemén

[29] Para que el modelo esté bien determinado no podemos incluir las 4 dummys (variables binarias), de lo contrario incurriríamos en multicolinealidad.

COSTE = C + β_1 FECHACONSTRUCCION + β_2 CAPACIDADMEMBRA + β_3 CAPACIDADTERMICA + β_4 ENFUNCIONAMIENTO + β_5 MGDOUTPUT + β_6 MGDTAMANO + β_7 SIB + β_8 SID + β_9 SIA + β_{10} TAMANOUNIDAD + β_{11} UNIDADES + u

En el cuadro 2.9 podemos ver los resultados de esta regresión:

Cuadro 2.9: El coste de la desalinización a escala mundial

Variable dependiente: COSTE				
Método: MCO				
Variable	**Coeficiente**	**Error estándar**	**Estadístico T**	**P-valor**
C	8,24	26,50	0,31	0,76
FECHACONSTRUCCION	-0,19	0,22	-0,87	0,40
CAPACIDADMEMBRA	0,00	0,00	0,12	0,90
CAPACIDADTERMICA	0,00	0,00	0,81	0,43
ENFUNCIONAMIENTO	0,19	0,23	0,83	0,42
MGDOUTPUT	0,27	5,47	0,05	0,96
MGDTAMANO	9,76	11,73	0,83	0,42
SIB	-0,69	0,31	-2,24	0,04
SID	-0,58	0,30	-1,94	0,07
SIA	-0,90	0,31	-2,91	0,01
TAMANOUNIDAD	0,003	0,006	0,54	0,60
UNIDADES	0,004	0,006	0,62	0,54
R2	0,74	**Media de la variable dependiente**	0,48	
R2 ajustado	0,47	**Desviación típica**	0,23	
Desviación estándar de la	0,165591	**Estadístico**	2,7	

regresión		**F**		
Estadístico Durbin-Watson	2,080963	**P-valor (Estadístico F)**		0,035403

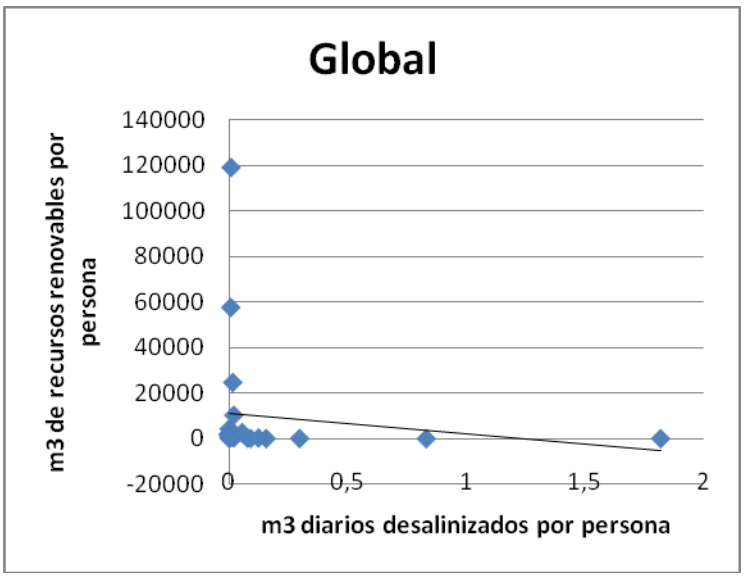
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En la regresión anterior, si tomamos un nivel de significación del 10%, las únicas variables significativas son aquellas que hacen alusión a la pertenencia a un grupo geográfico o a otro, lo cual nos indica que los costes de la desalinización no son explicables a nivel mundial, la determinación de los costes es distinta en función de la zona geográfica en la que se pretenda llevar a cabo el proceso (Collado 1997, pp.37-62). Como las únicas variables explicativas son SIB, SID y SIA, esto nos indica que los costes están muy determinados por el área geográfica en la que se lleve a cabo el proceso de desalinización. Por tanto, no podemos decir si es más eficiente el proceso de membranas o el térmico, pues esto depende fundamentalmente del coste de la energía, que va a variar de un país a otro.

Del modelo anterior se deduce que estamos trabajando con cuatro zonas geográficas que presentan características diferentes, esto justifica la necesidad de realizar un análisis específico para cada una de estas zonas (Salkever 1976, pp. 393-397). Antes de analizar las características de la desalinización en cada zona, vamos a contrastar alguna de nuestras hipótesis a partir de los datos globales. Una de las hipótesis que nos planteamos es que existe una relación inversa entre los m^3 por persona obtenidos mediante desalinización y los m^3 por persona de recursos hídricos convencionales. Es decir, la hipótesis consiste en que en aquellas zonas en las que hay menos recursos convencionales por persona se desaliniza más agua, no obstante hay dos motivos por los que esta relación puede no cumplirse en primer lugar porque en función de la proximidad entre el mar y la zona de consumo del agua, el tratamiento será más o menos viable. En este sentido una isla seguida de una península es donde mayor utilidad presentaría la desalinización. En segundo lugar, puede no cumplirse esta relación entre recursos convencionales y desalinizados a causa de la riqueza del país, aquí podemos hacer dos

matices, por lo general en los países con mayor renta se consume más agua por lo que dado un nivel de recursos convencionales la escasez podría ser mayor en el más rico, por otro lado, el agua desalinizada tiene un alto coste de explotación y de mantenimiento por lo que no en todos los países constituye un recurso viable. En el gráfico 2.6 podemos ver la que se confirma que los países donde más se desaliniza por persona es donde menos recursos convencionales existen.

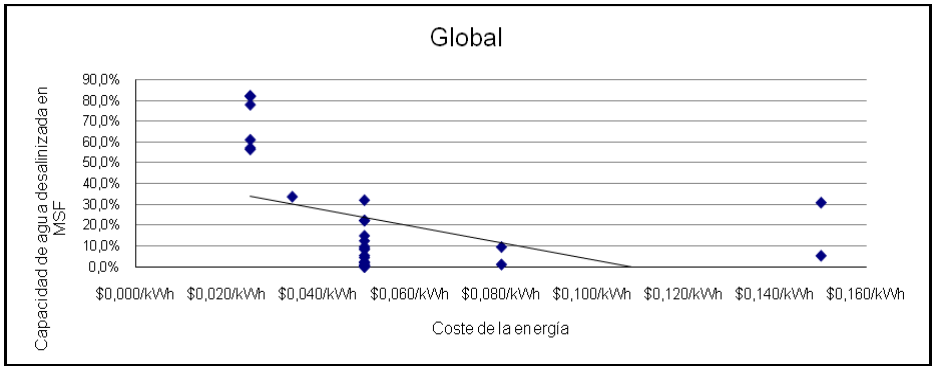
Gráfico 2.6: relación entre los recursos hídricos convencionales y desalinizados



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Otra relación que podemos observar en los datos es que la cantidad de agua obtenida mediante destilación multietapa y el coste de la energía es decreciente. Esto quiere decir que a medida que los costes energéticos aumentan los sistemas térmicos se emplean proporcionalmente menos y los de membranas más. Este es en gran parte el condicionante fundamental de la heterogeneidad de los datos en función del área geográfica. En el gráfico 2.7 podemos ver esta relación.

Gráfico 2.7: relación entre el coste energético y el uso porcentual de MSF.

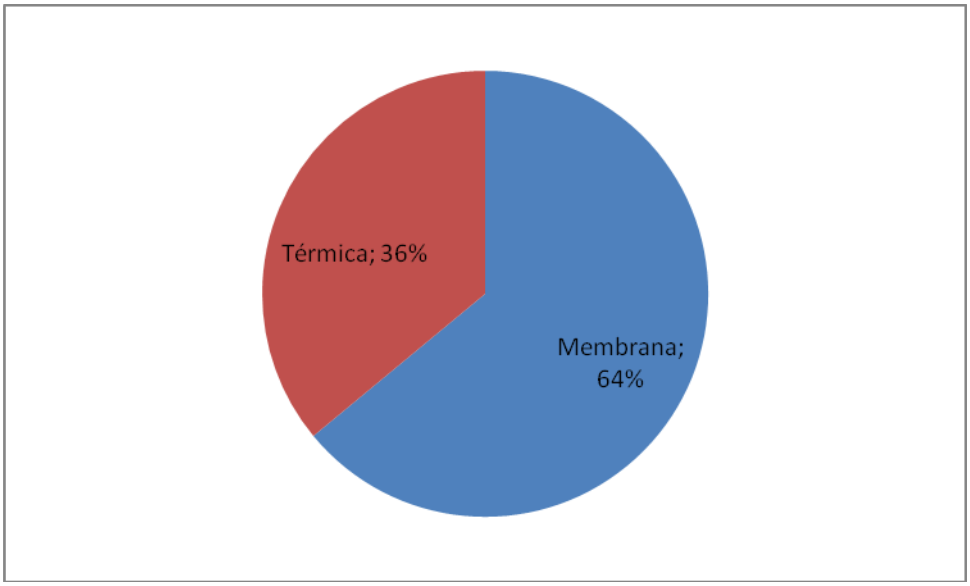


Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

El motivo que explica la relación del gráfico anterior es el alto consumo de energía de la destilación multietapa así como del resto de sistemas térmicos. Estos métodos intensivos en consumo energético solo son competitivos en países con costes energéticos bajos, especialmente cuando puede emplearse el calor residual que se genera al tratar el petróleo. Únicamente sería eficiente emplear sistemas térmicos en el caso de que se emplease una energía cuyo uso no fuese rival para otros usos como en el caso de los sistemas de cogeneración (Nisan and Dardour 2007, pp.231-242).

En la última década se ha producido un aumento de la proporción de agua desalinizada obtenida mediante membranas a causa de la mayor eficiencia energética. No obstante cabe destacar que siguen empleándose y construyéndose plantas térmicas, de hecho el 36% del incremento de la capacidad mundial entre 2006 y 2010 ha sido en sistemas térmicos.

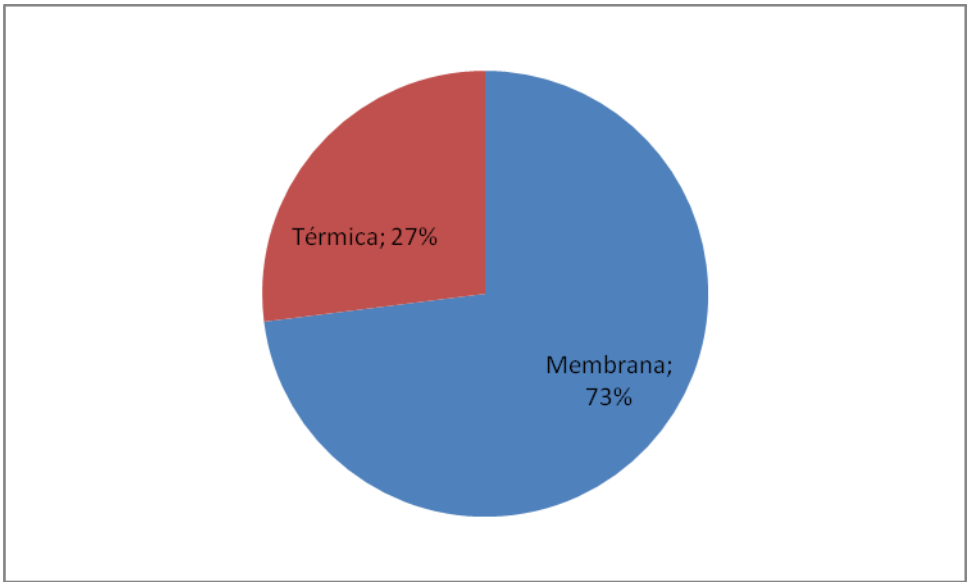
Gráfico 2.8: incremento de la capacidad térmica y de membrana 2006-2010



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Para el periodo comprendido entre 2010 y 2015 se estima que el 27% del incremento de la capacidad será mediante sistemas de térmicos y el 73% restante mediante sistemas de membranas (Fritzmann et al 2007, páginas 1-76).

Gráfico 2.9: incremento esperado de la capacidad térmica y de membrana en el mundo entre 2010 y 2015.



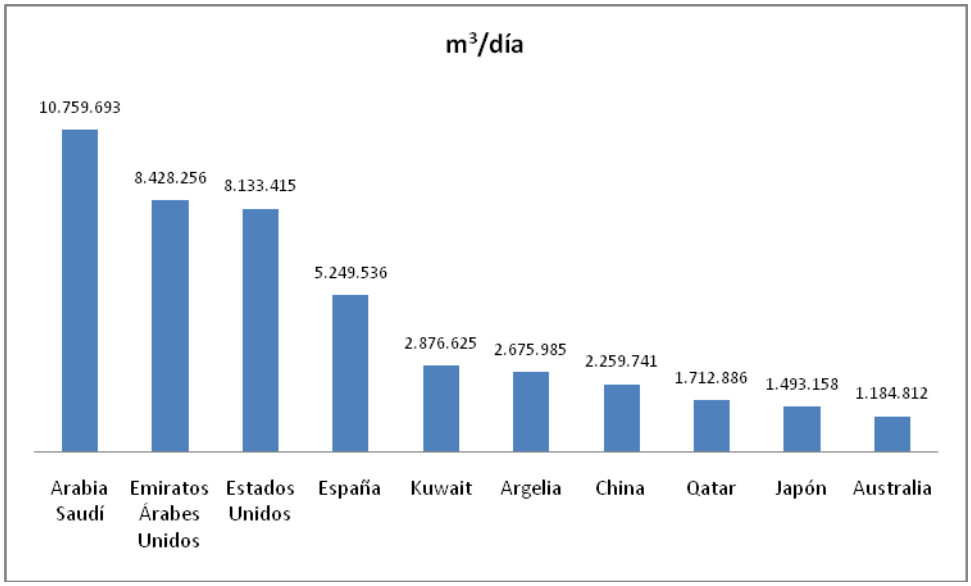
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Cabe destacar que el 27% de incremento de la capacidad térmica se acumula en un número de plantas claramente inferior al 27% de las plantas. Es decir, unas pocas plantas térmicas acumulan una gran cantidad de agua desalinizada. Esto es debido a que los sistemas térmicos tienen unos rendimientos de escala crecientes muy marcados lo que hace que dichas plantas traten por lo general un gran caudal (Kamali et al 2009, 340-351).

Si analizamos el reparto mundial de la capacidad de desalinización, vemos que los 10 países que más capacidad acumulan, representan aproximadamente el 71% de la capacidad mundial. En el gráfico 2.10 podemos ver los diez países con una mayor capacidad de desalinización en el mundo[30].

Gráfico 2.10: los diez países del mundo con mayor capacidad de desalinización

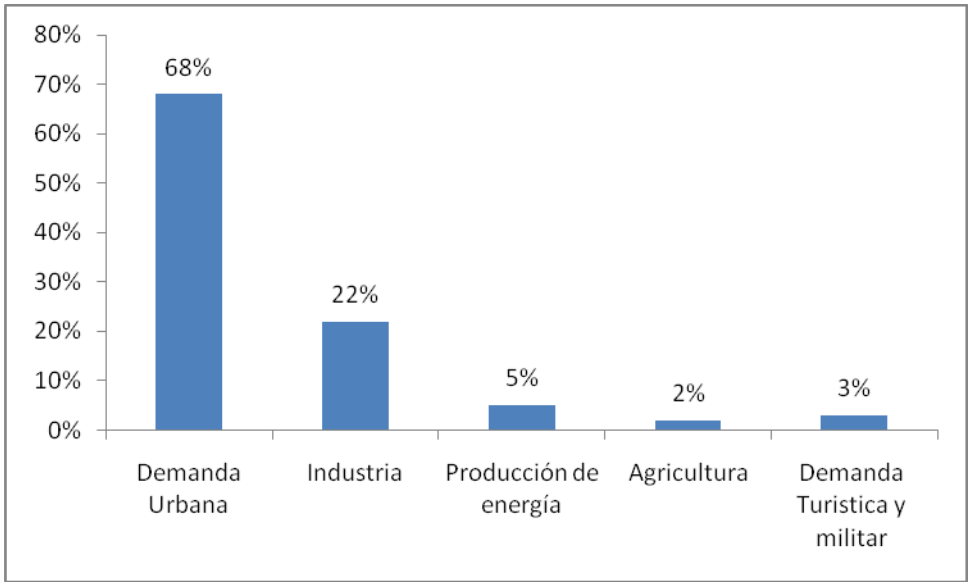
[30] Cabe señalar que estos datos se han obtenido a partir de la IDA siendo esta la base de datos más fiable, no obstante en esta base de datos existe un sesgo considerable. Los datos de capacidad se toman a partir de las empresas, esto hace que a menudo cuando una planta es explotada por dos o más empresas su capacidad se contabilice tantas veces como empresas la estén explotando. Los efectos de este sesgo son claramente observables en el caso de España, ya que si bien en esta base de datos tenemos una capacidad de 5.249.536 m^3/día la capacidad real es de aproximadamente 3.500.000 m^3/día de los cuales la producción real está en torno a 2.800.000 m^3/día.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y GWI

En cuanto al uso que se le da al agua desalinizada en el mundo, tan solo un 2% del agua desalinizada se emplea en agricultura. En el gráfico 2.11 podemos ver el uso que se da al agua desalinizada en el mundo

Gráfico 2.11: consumo de agua entre los sectores productivos



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Puede llamar la atención que siendo por lo general el sector agrícola el que más agua consume, estando las cifras alrededor del 80%, tan solo un 2% del agua desalinizada es consumida por el sector agrícola. No obstante, en algunos países o regiones la proporción de agua desalinizada destinada a la agricultura es elevada, esto dependerá fundamentalmente de la eficiencia de los cultivos y de la disponibilidad de otros recursos hídricos. Esto se debe a que el coste del agua desalinizada es demasiado elevado para que pueda ser empleado eficientemente por el sector agrícola, tan solo los cultivos más rentables pueden soportar estos costes.

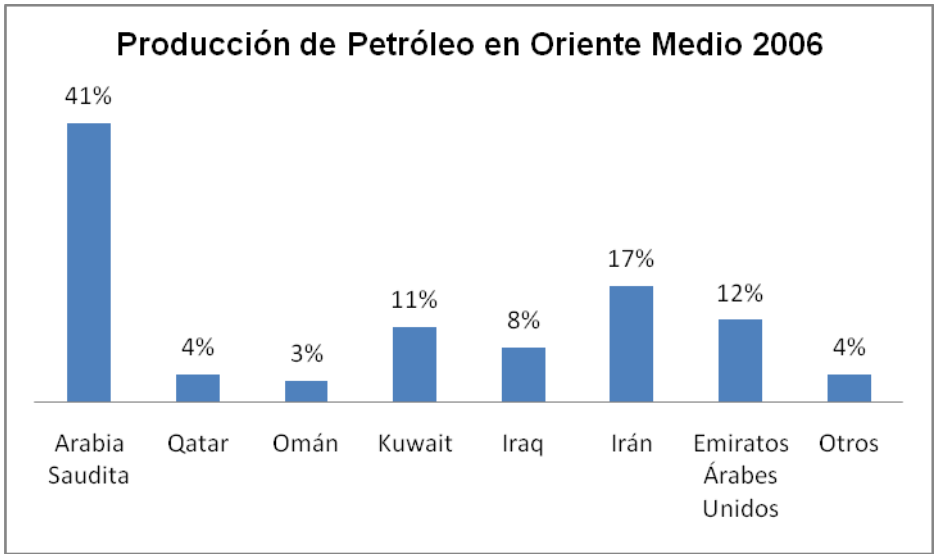
2.3.2.- La desalinización en Oriente Medio, Magreb y Egipto

Los países que estamos contemplando de esta zona en nuestra muestra son (entre paréntesis se muestra en coste medio[31] del agua desalinizada en cada país): Argelia (0,40$/m^3), Arabia Saudita (0,34$/m^3), Bahréin (0,34$/m^3), Egipto (0,60$/m^3), Emiratos Árabes Unidos (0,27$/m^3), Iraq (0,45$/m^3), Israel (0,54$/m^3), Kuwait (0,26$/m^3), Líbano (0,37$/m^3), Marruecos (0,54$/m^3) Omán (0,31$/m^3), Qatar (0,28$/m^3) Túnez (0,44$/m^3) y Yemen (0,44$/m^3) (Global Water Intelligence 2010)[32]. Estos países pertenecen en su mayoría a la región de Oriente Medio que es donde se ubica el 61,5% de las reservas de petróleo en el mundo (L'Hotelleire-Fallois and Serena 2008). Tomando como Oriente Medio el área integrada por la Península Arábiga, Irán, Iraq, Israel, Jordania, Líbano y Siria. De los países que forman la zona A, los pertenecientes a la Península Arábiga son Arabia Saudita, Bahréin, Emiratos Árabes Unidos, Irak, Kuwait, Omán, Qatar y Yemén. En los gráficos 2.12, 2.13 y 2.14 podemos ver los datos de producción, reservas y exportación de petróleo de los países de Oriente Medio. En el gráfico 2.12 podemos se observa que Arabia Saudita, seguida de Irán, Emiratos Árabes y Kuwait son los principales productores de petróleo en la zona que vamos a analizar.

[31] Para la obtención de los costes medios en cada país se ha dividido la sumatoria de los costes medios de cada planta multiplicados por su capacidad y se ha dividido la suma total por la capacidad total del país.

[32] Las cifras de costes están en algunos casos sesgadas presentando menores costes de los reales, esto se debe por lo general a que se ha dejado de lado la amortización de la planta (que representa el 29% de los costes totales) o el coste energético (que representa un 43% del total) o ambas partidas. No obstante esta es la base de datos más fiable.

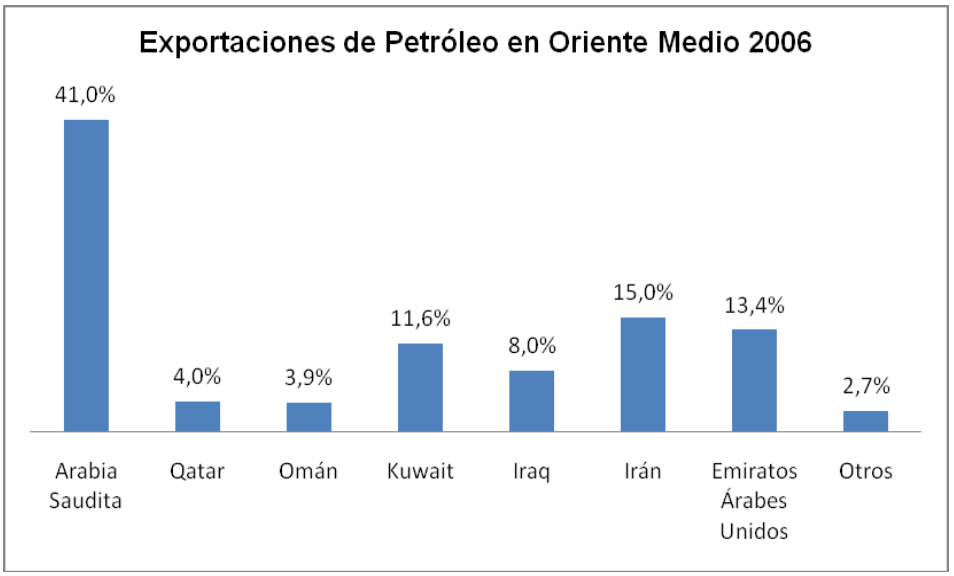
Gráfico 2.12: producción de petróleo en los países de Oriente Medio 2006



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En el gráfico 2.13 vemos que, de un modo proporcional a la capacidad productiva de estos países, los principales exportadores son Arabia Saudita, seguida de Irán, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait.

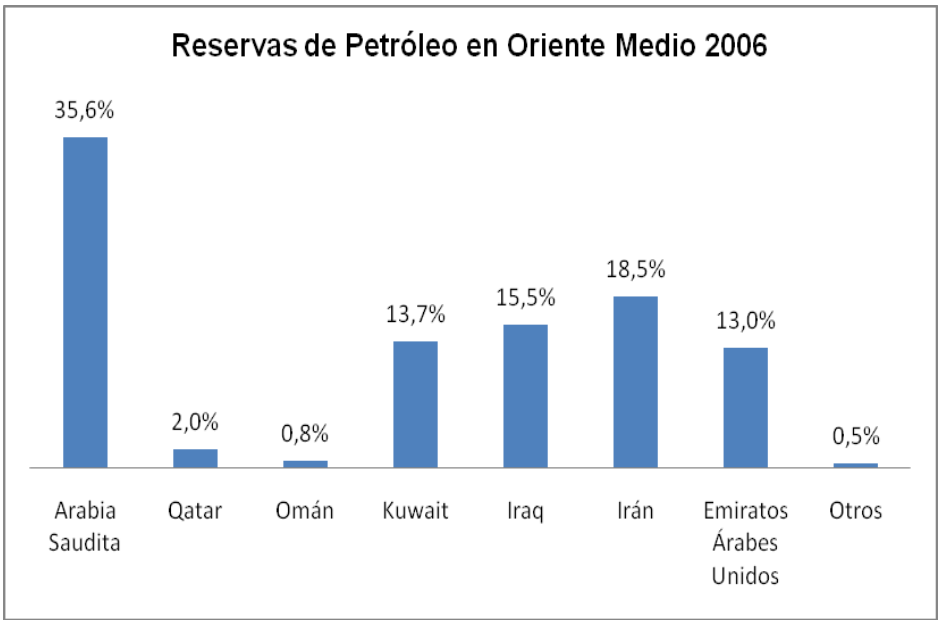
Gráfico 2.13: exportaciones de petróleo en los países de Oriente Medio 2006



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En el gráfico 2.14 vemos que a su vez, las reservas de petróleo de los países de Oriente Medio son proporcionales a sus exportaciones y a su producción.

Gráfico 2.14: reservas de petróleo en los países de Oriente Medio 2006



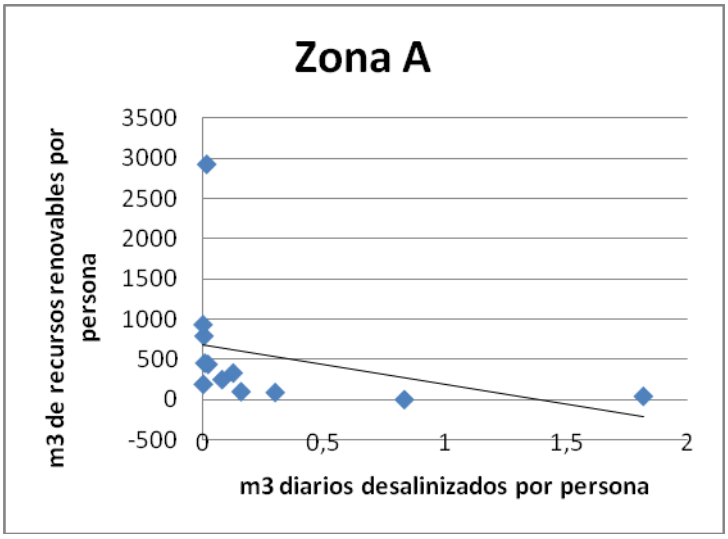
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Los países de la zona A que no pertenecen a Oriente Medio son algunos de los integrantes del Magreb como Argelia, Marruecos y Túnez. En materia económica cabe destacar respecto a estos países la gran importancia que tiene el sector del gas y el petróleo (Bichara 2009, 66-69). Por último es también un país integrante de la zona A Egipto[33].

Al igual que ocurría con los datos globales, en la zona A existe una relación negativa entre los m^3 renovables de agua por persona y los desalinizados. Es decir, donde más se desaliniza es donde de menos recursos per cápita se dispone, tal y como podemos ver en el gráfico 2.15:

Gráfico 2.15: relación entre los recursos hídricos convencionales y desalinizados en la Zona A.

[33] Un país que no hemos tomado para el análisis es Libia por no tener datos suficientemente fiables.

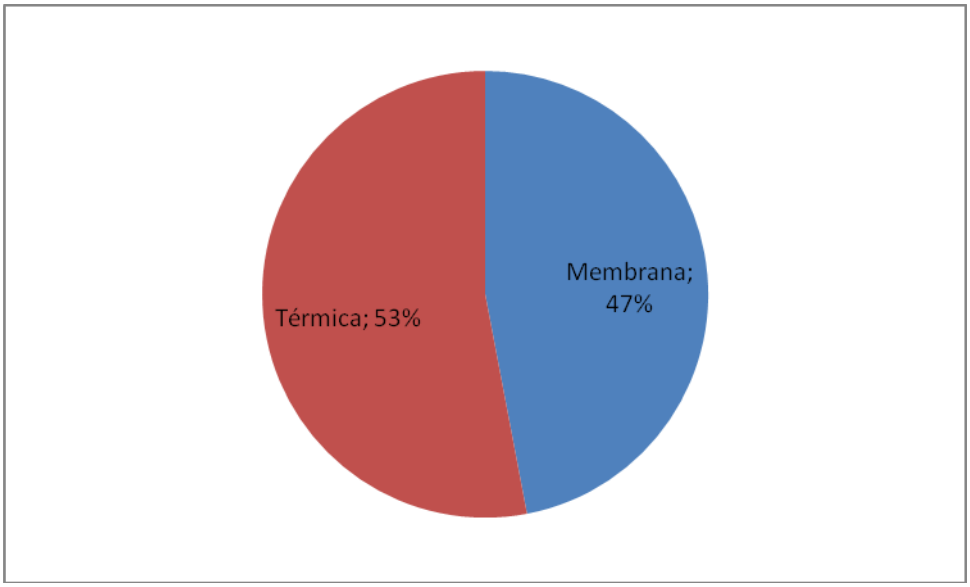


Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Dado que los sistemas térmicos son intensivos en el uso de energía, si esta es relativamente barata o residual, podría ocurrir que los sistemas térmicos fueran menos costosos que los sistemas de membranas. Esto sucede en esta área geográfica y este es el motivo por el cual en la zona A se produce mediante sistemas térmicos un 67% del total.

Una vez se han construido desalinizadoras térmicas vinculadas a las plantas de refinado de petróleo, si ha de construirse una desalinizadora que no puede utilizar el calor residual de dichos procesos, esta será más eficiente si emplea sistemas de membranas, ya que de emplear un método térmico el consumo energético será elevado y aunque en estos países existe abundancia de combustibles fósiles, de emplearlos en la desalinización incurrirían en el coste de oportunidad de no poderlos vender. Podemos ver en el gráfico 2.16 que en el periodo 2006-2010 ha incrementado más la capacidad térmica que la de membranas.

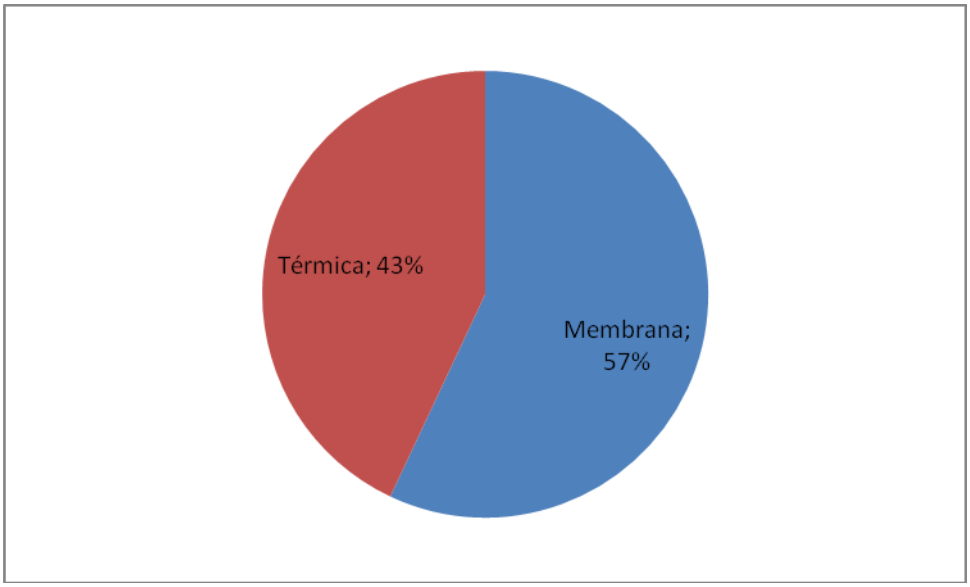
Gráfico 2.16: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona A 2006-2010



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

No obstante, en el periodo 2010-2015 el aumento de la capacidad ya será mayor en métodos de membrana que en térmicos. En el gráfico 2.17 podemos ver las previsiones para el periodo 2010-2015:

Grafico 2.17: incremento esperado de la capacidad térmica y de membrana en la zona A entre 2010 y 2015.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En el cuadro 2.9 podemos ver las principales correlaciones estadísticas en relación a los costes de explotación de la desalinización en esta zona geográfica:

Cuadro 2.10: principales correlaciones en la zona A

Correlación entre el coste de explotación y …	**Correlación**
Antigüedad de la planta	-
Capacidad de membranas	+
Caudal tratado	-

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

El primer resultado del cuadro 2.10 es bastante sorprendente a primera vista, pero es evidente si analizamos los motivos. Vemos que la correlación entre el coste de la desalinización y la antigüedad de la planta es negativa, lo cual quiere decir que las plantas con mayor antigüedad tienen un menor coste. Esto se debe a que las primeras desalinizadoras que se construyeron en esta zona empleaban energía térmica residual de las refinerías de petróleo, no obstante más recientemente se han ido construyendo plantas de ósmosis inversa que emplean energía eléctrica de la red y que por tanto tienen un coste mayor, es por esto que los costes de explotación son mayores en las plantas más nuevas.

La segunda correlación tiene una doble lectura, nos indica que los métodos de membranas tienen una correlación positiva con el coste, y al mismo tiempo esto implica que los sistemas térmicos guardan una correlación negativa con el coste de explotación. Es decir, en base al tratamiento estadístico, en esta zona es más barato emplear sistemas térmicos, pero esto es matizable. En realidad lo que sucede es que la mayoría de las plantas térmicas que están en funcionamiento en esta zona son más eficientes en costes que las de membranas, debido a que trabajan con energía residual. Por otro lado, si se construye una planta térmica que tome la energía de la red eléctrica, esta será menos eficiente que una planta de membranas, es por ello que cuando no existe posibilidad de emplear energía residual se emplean los métodos de membranas, generalmente la ósmosis inversa.

El tercer resultado que podemos ver en el cuadro 2.10 nos indica que la correlación entre el coste de explotación y el caudal tratado es negativa. Esto quiere decir que a medida que una planta trata un mayor caudal el coste de explotación por metro cúbico disminuye.

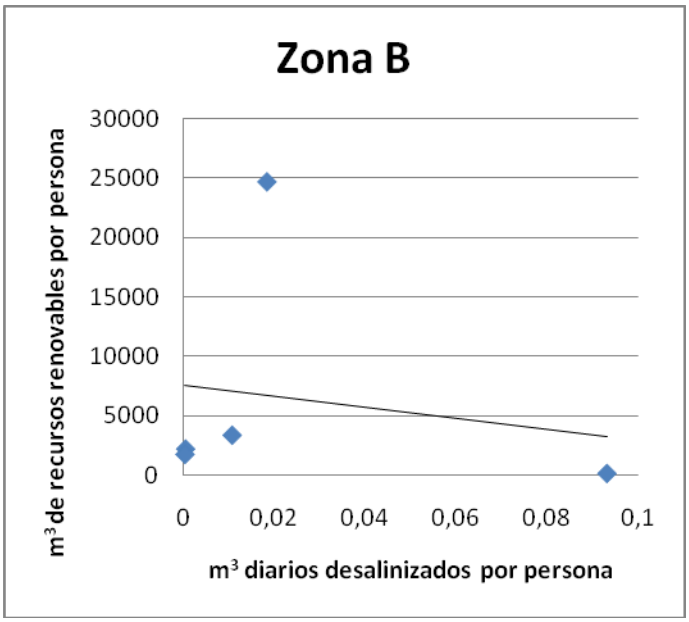
2.3.3.- La desalinización en Asia del Este, Sureste Asiático y Australia

Los países que hemos tomado de la muestra con los que se forma la zona B son (entre paréntesis se muestra el coste medio del agua desalinizada en cada país): Australia (0,379$/m^3), China (0,25$/m^3), Corea del Sur (0,31$/m^3), India (0,23$/m^3), Japón (0,85$/m^3), Pakistán (0,53$/m^3) y Singapur (0,23$/m^3)[34]. En esta área geográfica tenemos a dos países del sur asiático como son India y Pakistán. Por otro lado tenemos tres países de Asia del Este que son China, Corea del Sur y Japón y un país del Sureste Asiático que es Singapur. Finalmente en la zona B está Australia que pertenece a Oceanía.

En esta zona el coste del m^3 desalinizado es menor cuando se emplean sistemas térmicos, esto se debe a que en China existen plantas de desalinización térmica que emplean energía nuclear y que son muy eficientes en costes (Haijun and Yajun 2008, pp. 230-239). La existencia de estas plantas de desalinización nuclear hace que la relación estadística para esta zona nos indique que es más económico emplear sistemas térmicos, pero este resultado debe ser tomado con cautela, ya que no es esta la interpretación correcta. Las plantas de desalinización vinculadas a centrales nucleares no se planifican en global sino que dada una central nuclear se construye vinculada a esta una desalinizadora de modo que se pueda llevar a cabo una cogeneración, desalinizando el agua con el calor residual de la planta nuclear, de este modo el coste energético marginal es prácticamente cero ya que esa energía no iba a emplearse para ningún fin (Kronenberg 1997, pp. 287-294; Misra 2007, pp. 269-278). Al igual que ocurría en la zona A y en los datos globales podemos ver en el gráfico 2.18 que se desalinizan más m^3 por persona a medida que los recursos renovables per cápita son menores.

[34] De nuevo hay que señalar que los costes presentan sesgos a la baja, es decir partidas que no han sido contabilizadas y que forman representan una parte importante del coste como pueda ser el coste energético o la amortización.

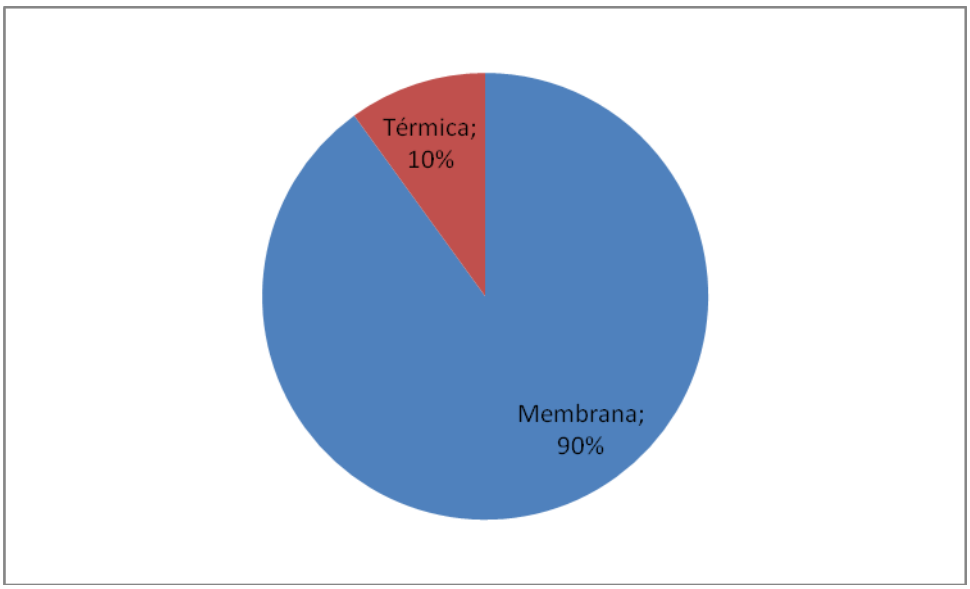
Gráfico 2.18: relación entre los recursos hídricos convencionales y desalinizados en la Zona B.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

La capacidad térmica en esta zona es especialmente reducida. Una gran parte de la capacidad térmica de desalinización se produce con energía térmica residual, una planta convencional de desalinización térmica en la que se toma el petróleo como fuente energética primaria principal derivaría en un coste mucho mayor que el de los sistemas de membranas (Zhang et al 2005, pp. 13-18). En el gráfico 2.19 podemos ver que el 10% de la capacidad de agua desalinizada en esta zona es mediante métodos térmicos

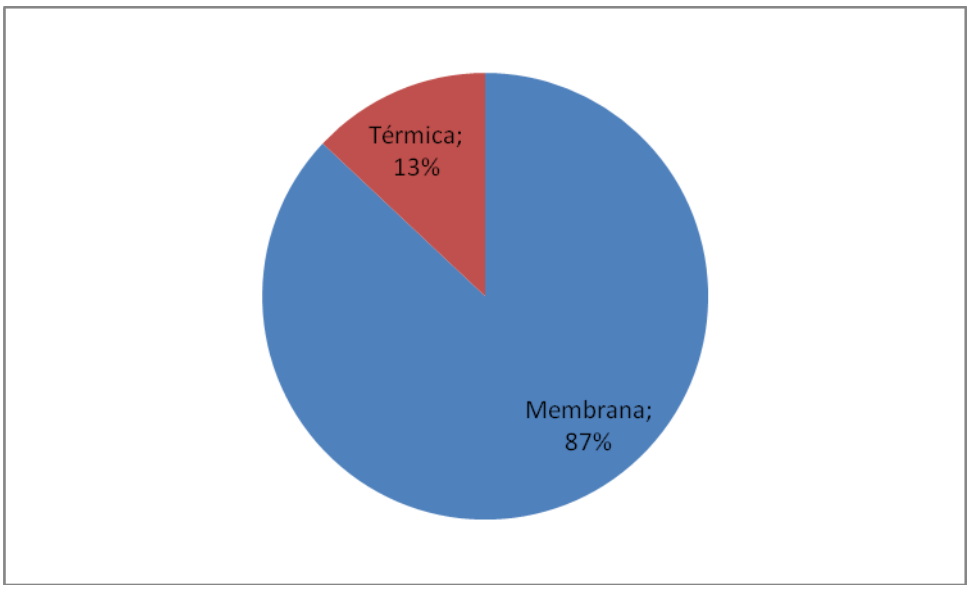
Gráfico 2.19: capacidad porcentual térmica y de membranas en la zona B



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

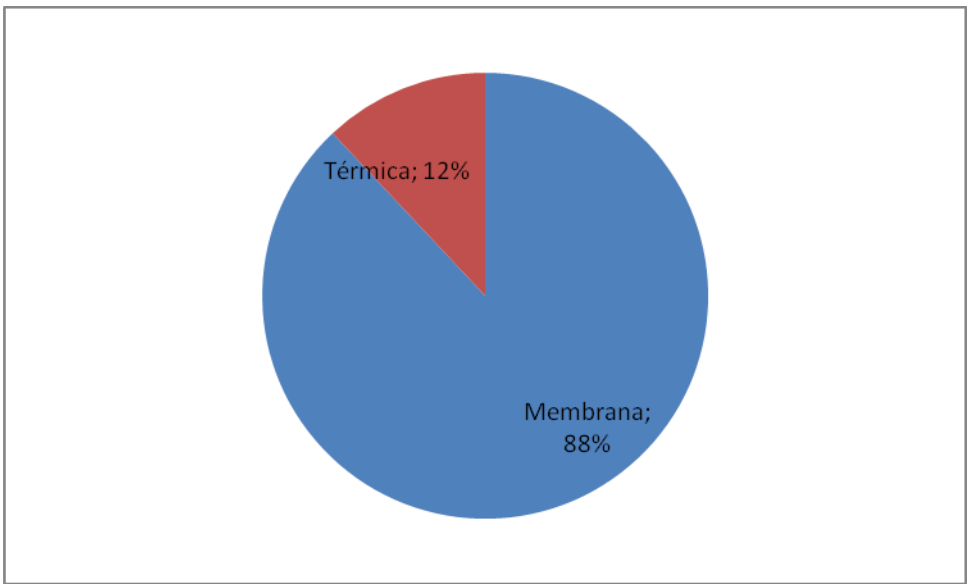
Durante el periodo 2006-2010 el incremento de la capacidad de sistemas de membranas y térmicos ha sido de un 87% y un 13% respectivamente. En este periodo Australia ha llevado a cabo una importante inversión en desalinización de membranas, cabe decir que empresas españolas como Acciona y Sadyt tienen un gran protagonismo en el programa de desalinización de este país. Por otro lado para el periodo 2010-2015 el incremento de capacidad será de un 12% en sistemas térmicos y de un 88% en sistemas de membranas. En los gráficos 2.20 y 2.21 podemos ver los incrementos de capacidad en 2006-2010 y en 2010-2015.

Gráfico 2.20: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona B 2006-2010



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Gráfico 2.21: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona B 2010-2015



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En el cuadro 2.11 podemos ver las principales correlaciones estadísticas en relación a los costes de explotación de la desalinización en esta zona geográfica.

Cuadro 2.11: principales correlaciones en la zona B

Correlación entre el coste de explotación y …	**Correlación**
Antigüedad de la planta	+
Capacidad de membranas	+
Caudal tratado	+

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

El primero de los resultados que podemos analizar en esta tabla es que existe una correlación positiva entre la antigüedad de la planta y el coste de explotación. Esto quiere decir que las plantas más antiguas tienen mayores costes, esta relación se debe al progreso técnico.

En segundo lugar, podemos ver que existe una correlación positiva entre la capacidad tratada mediante membranas y los costes de explotación. Esto quiere decir que en esta zona es más barato desalinizar mediante sistemas térmicos. Al igual que ocurría en la zona A, este resultado debe de ser tomado con cautela, ya que se debe a unas pocas plantas térmicas que están funcionando con energía residual, no obstante una nueva desalinizadora térmica que emplee energía eléctrica de la red será menos eficiente en costes que una planta de membranas. Por otro lado cabe destacar que si bien en la zona A se obtiene una gran cantidad de m^3 a partir de sistemas térmicos, en esta zona el agua obtenida mediante sistemas térmicos tan solo representa un

10% del total. Con lo cual, esas pocas plantas térmicas que son más eficientes en costes representan prácticamente una excepción.

El último de los resultados a destacar es la correlación positiva entre el caudal tratado y los costes de explotación, es decir a mayor caudal mayores costes. Esta relación estadística es bastante sorprendente y debe ser interpretada con la precaución necesaria. Obviamente no puede interpretarse como que existen rendimientos decrecientes a escala. Lo que explica esta relación es que en términos medios las plantas más grandes son más antiguas que las pequeñas, de modo que se están cruzando la relación de la antigüedad con la del tamaño.

2.3.4.- La desalinización en el continente americano

La Zona C está formada por los principales países del continente americano en términos de desalinización que son (entre paréntesis se muestra en coste medio del agua desalinizada en cada país): Caribe (1,23$/m^3)[35], Chile (0,37$/m^3), EEUU (0,51$/m^3) y México (0,34$/m^3). Lejos de la importancia que alcanza la desalinización en países de Oriente Medio, en EEUU también se están desarrollando instalaciones de tratamiento de agua de mar a gran escala, un ejemplo de ello es la recientemente aprobada planta de Carlsbad, en California en la que se obtienen 189.000 m^3 de agua potable diarios, cabe tener en cuenta que EEUU es el tercer país del mundo en cuanto capacidad acumulada de desalinización[36].

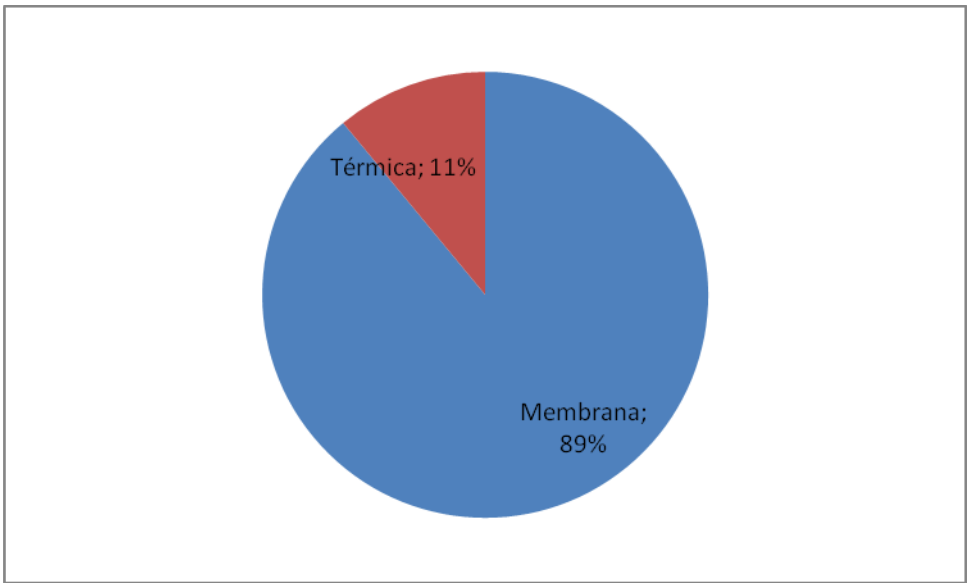
En México, concretamente en Baja California Sur se están llevando a cabo investigaciones para emplear con energías renovables los altos niveles de radiación solar presentes en la zona (Bermudez-Contreras 2008, pp. 431-440). Al igual que ocurre en el resto de zonas analizadas se cumple el axioma de que los m^3 desalinizados per cápita aumentan a medida que disminuyen los renovables (Andrews 1997).

En esta zona el uso de sistemas térmicos representa el 11% del total. Por otro lado, podemos ver en los siguientes gráficos que el incremento de capacidad térmica en el periodo 2006-2010 ha sido de un 11% y en el periodo 2011-2015 de un 7%. Observamos que en estos países predominan claramente los sistemas de membranas.

---

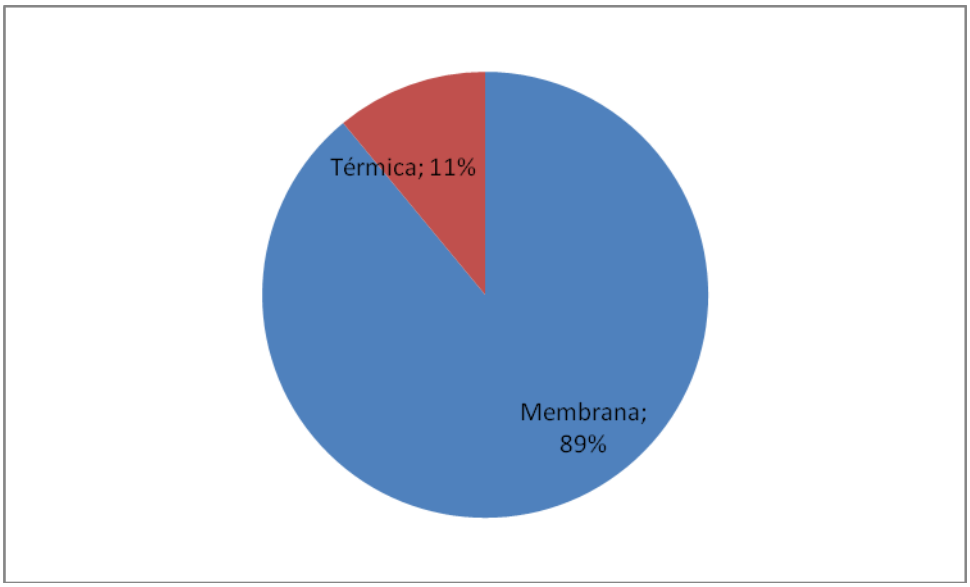
[35] El elevado coste de la desalinización en las islas del Caribe se debe a son pequeñas plantas térmicas que emplean un petróleo que debe de ser trasladado en barco a la isla en cuestión.
[36] Los datos del Caribe proceden del siguiente conjunto de islas: Cuba, Jamaica, Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Bahamas, Turcas y Caicos, Islas Caimán, Islas Vírgenes, San Cristóbal y Nevis, Antigua y Barbuda, Guadalupe, Dominica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Granada, Trinidad y Tobago, Aruba, Bonaire, Curaçao.

Gráfico 2.22: capacidad porcentual térmica y de membranas en la zona C



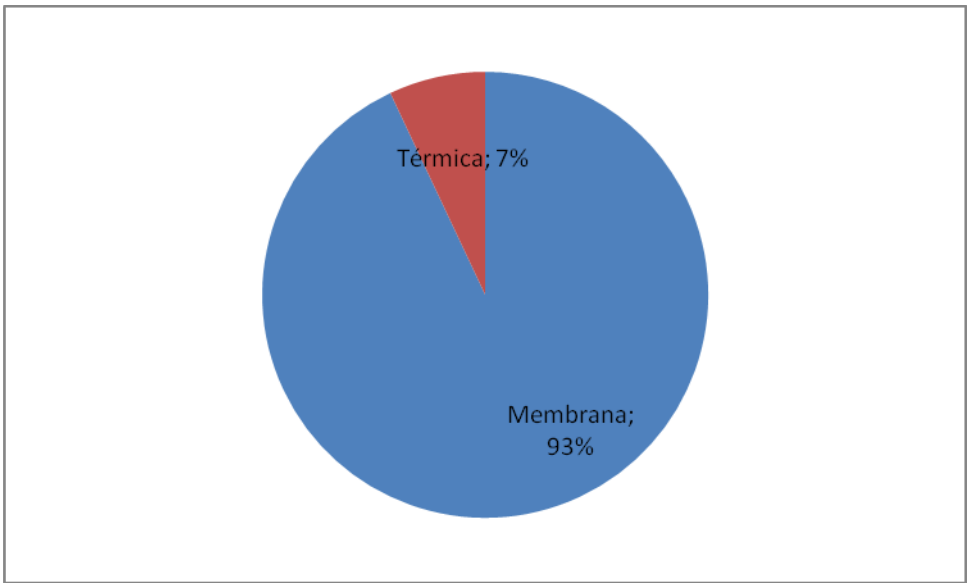
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Gráfico 2.23: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona C 2006-2010



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Gráfico 2.24: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona C 2010-2015



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Desalination markets 2009 y 19th IDA Worldwide Desalting Plant Inventory

En el cuadro 2.12 podemos ver las principales correlaciones estadísticas en relación a los costes de explotación de la desalinización en esta zona geográfica.

Cuadro 2.12: principales correlaciones en la zona C

Correlación entre el coste de explotación y …	**Correlación**
Antigüedad de la planta	+
Capacidad de membranas	-

Caudal tratado	-

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

La primera relación que podemos ver en el cuadro 2.12 es que existe una correlación positiva entre la antigüedad de la planta y los costes de explotación, es decir cuánto más antigua es una planta mayor es su coste de explotación. Esta relación se debe al progreso técnico.

En segundo lugar podemos ver que existe una correlación negativa entre la capacidad de agua desalinizada mediante membranas y los costes de explotación, lo que nos indica que los sistemas de membranas son en esta zona, más eficientes en costes que los sistemas térmicos. Cabe destacar que esta relación es la que se corresponde con la realidad, el hecho de que en esta zona no se de la relación estadística contraria se debe a que no existen plantas térmicas que empleen energía térmica residual tal y como pasaba en las zonas A y B. Aún así se siguen construyendo plantas térmicas en esta zona, como hemos visto el 7% de las que se construirán entre 2010 y 2015 serán de tecnología térmica, estas son por lo general plantas de cogeneración o que presentan algún tipo de característica particular por la que son más eficientes que las de membrana.

Por último, podemos ver que existe una correlación negativa entre el coste de explotación y el caudal tratado, es decir las plantas que tratan más agua tienen menores costes de explotación. Por tanto en esta zona existen rendimientos crecientes a escala, o lo que es lo mismo costes decrecientes a escala.

2.3.5.- La desalinización en Europa y Asia Central

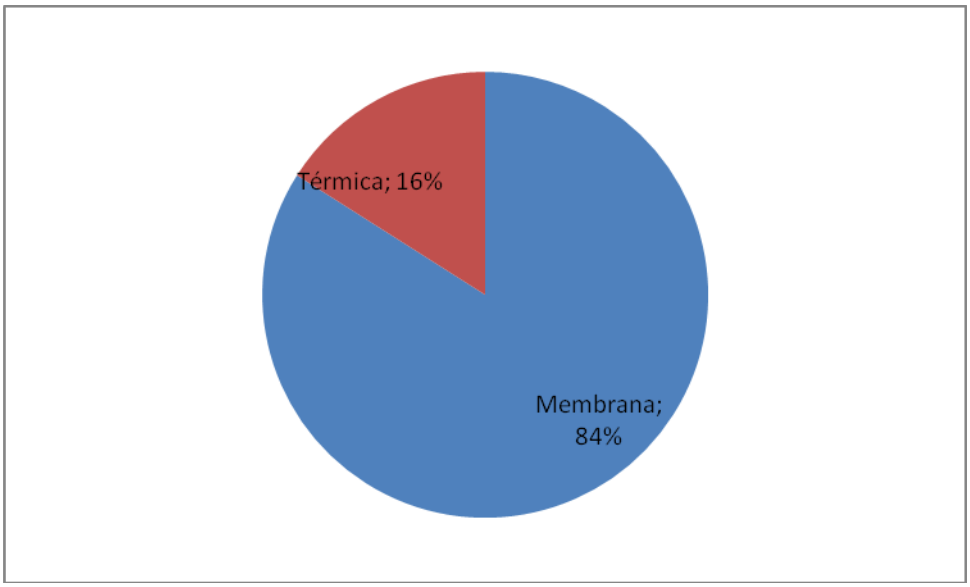
La zona D está formada por (entre paréntesis se muestra en coste medio del agua desalinizada en cada país): Chipre con un coste medio de 0,89$/m^3, España donde el coste medio es de 0,42$/m^3, Italia con un coste medio de 0,65$/m^3 y la antigua Unión Soviética donde el coste medio es 0,33$/m^3 [37].

En la zona D hay que destacar la gran importancia de España, no solo por ser el cuarto país del mundo con mayor capacidad de agua desalinizada sino también por la relevancia de las empresas españolas de desalinización y tratamiento de aguas (Montaño 2009, pp. 2-3; Angelakis y Durham 2007, pp.3-12).

Igual que en el resto de zonas analizadas se cumple que a menor disponibilidad de recursos hídricos convencionales por persona mayor es la capacidad de agua desalinizada. Cabe señalar que la desalinización en esta zona es fundamentalmente de membranas, tal y como podemos ver en el gráfico 2.25, tan solo el 16% de la desalinización en la zona D se obtiene mediante sistemas térmicos. En el gráfico 2.26 podemos ver que en el periodo 2006-2010 el incremento de la capacidad de los sistemas térmicos respecto al total representa un 8%, y tal y como se muestra en el gráfico 2.27 el incremento de los sistemas térmicos en 2011-2015 será de un 9%.

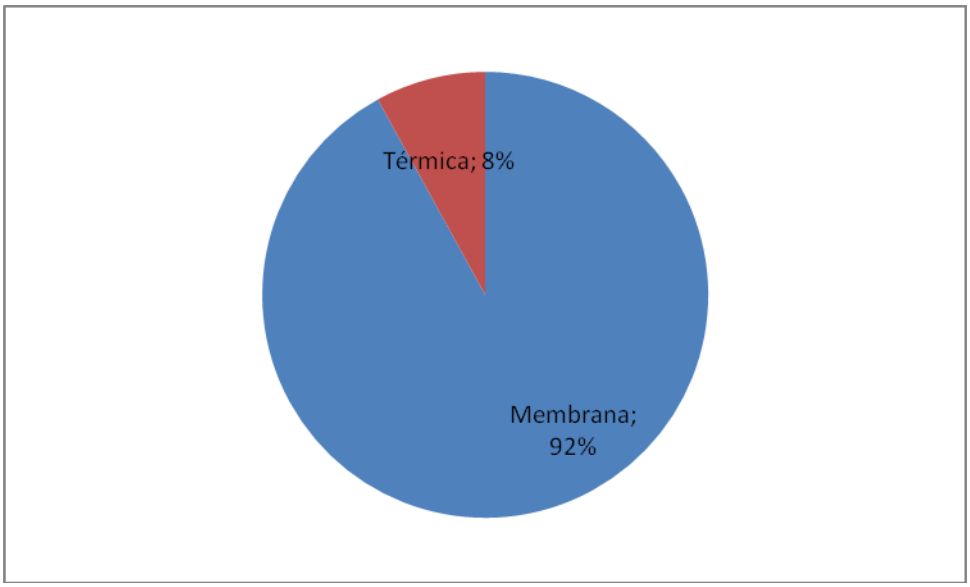
[37] La antigua Unión Soviética se compone de cuatro países de Europa oriental que son Rusia, Bielorrusia, Ucrania y Moldavia; tres países bálticos que son Estonia, Letonia y Lituania; tres estados del Cáucaso que son Georgia, Armenia y Azerbaiyán y por último cinco repúblicas de Asia Central que son Kazajstán, Kirguizistán, Tayikistán, Uzbekistán y Turkmenistán.

Gráfico 2.25: capacidad porcentual térmica y de membranas en la zona D



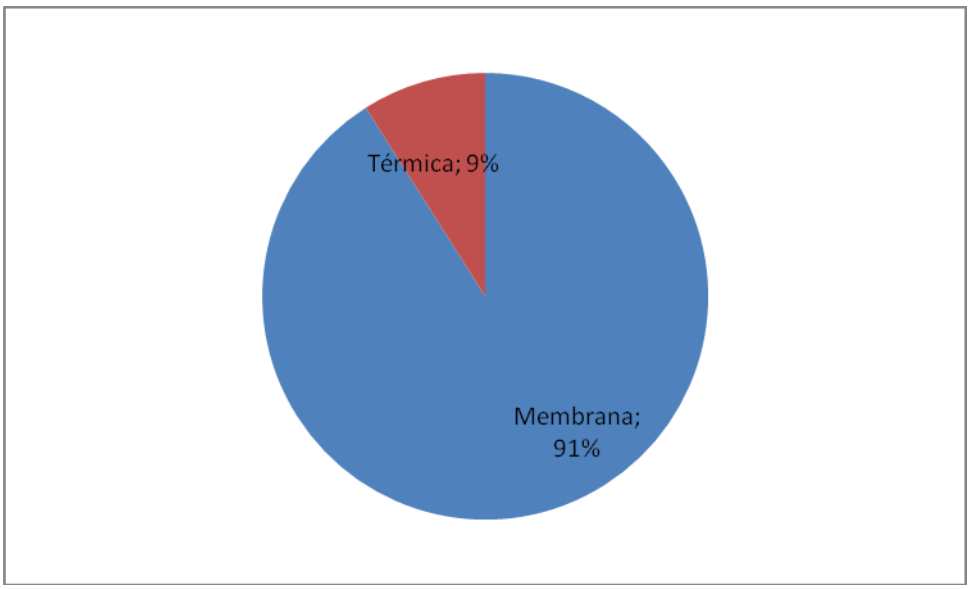
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Gráfico 2.26: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona D 2006-2010



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

Gráfico 2.27: incremento de la capacidad térmica y de membrana en la zona D 2010-2015



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En el cuadro 2.13 podemos ver las principales correlaciones estadísticas en relación a los costes de explotación de la desalinización en esta zona geográfica.

Cuadro 2.13: principales correlaciones en la zona D

Correlación entre el coste de explotación y …	**Correlación**
Antigüedad de la planta	+
Capacidad de membranas	-
Caudal tratado	-

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDA y Global Water Intelligence

En primer lugar podemos apreciar que existe una correlación positiva entre la antigüedad de la planta y los costes de explotación de la planta, es decir, las plantas cuanto más nuevas son, menores costes de explotación presentan. Esta relación se explica por el progreso tecnológico que ha permitido que las desalinizadoras cada vez consuman menos energía, deterioren menos sus membranas y en consecuencia presenten menores costes de explotación.

En segundo lugar vemos que existe una relación negativa entre los costes de explotación y la capacidad de sistemas de membranas. Es decir, en esta zona geográfica dentro de la cual está España, es más económico el emplear sistemas de membranas que térmicos.

Por último la correlación negativa entre el caudal tratado y los costes de explotación nos indica que a medida que el volumen de agua tratado en una planta es mayor, el coste de dicho tratamiento por metro cúbico disminuye. Es decir, hay rendimientos crecientes a escala.

2.3.6.- Principales conclusiones del análisis de la desalinización en el mundo

A partir del análisis que hemos llevado a cabo en este apartado, podemos concluir que existe un modo más eficiente en costes de desalinizar agua, este consiste en emplear sistemas térmicos vinculados a una central nuclear, térmica o de refinamiento de petróleo. No obstante esto es muy matizable, ya que la eficiencia energética de este sistema es baja si tomamos en cuenta la energía que precisa. Otra cosa es que, a causa de que es energía residual no tenga coste alguno, pero el consumo energético de este tipo de plantas sigue siendo elevado. No podemos hablar por tanto de desalinizadoras más eficientes, sino más bien de modos más rentables de abastecerlas energéticamente. Es decir existen desalinizadoras que pese a tener un consumo energético elevado, presentan un coste de explotación reducido a causa de que son abastecidas con energía residual cuyo coste es prácticamente nulo. En España existen diversas plantas nucleares en las que se podría haber aplicado la cogeneración, cerca de la costa están las plantas de Vandellón II, Ascó I y Ascó II (estas tres plantas están en Cataluña), por otro lado tenemos la planta de Cofrentes en la Comunidad Valenciana y de Garoña (Burgos) en Castilla y León estás ya están demasiado lejos de la costa como para que la cogeneración sea viable, y a más distancia del mar tenemos las plantas de Almaraz I y Almaraz II (Extremadura) y Trillo (Castilla-La Mancha).

Sin embargo, independientemente de que sean plantas cuya eficiencia económica depende del funcionamiento de una central térmica o nuclear, esta posibilidad podría aprovecharse también en países como España. ¿Por qué no se hace? Lo cierto es que en nuestro país se ha politizado en extremo la desalinización, siendo empleada como la solución a la escasez hídrica en buena parte de la península. Esta apuesta política se ve reflejada en el Programa A.G.U.A.. La oposición ha centrado sus ataques a la desalinización en que es un sistema caro y contaminante de obtener agua potable, en este

sentido, parece poco interesante desde un punto de vista político vincular desalinizadoras a centrales térmicas, ya que podría asociarse la desalinización a elementos con tan mala prensa en España como la energía nuclear.

Respecto a la situación actual de la desalinización en el mundo vemos que es fundamentalmente en los países de la OPEP donde más se emplea la desalinización térmica, no obstante, el proceso dominante en cuanto a la construcción de nuevas plantas es la ósmosis inversa. En todos los países una desalinizadora presenta rendimientos crecientes a escala, no obstante el tratamiento estadístico de los datos en alguna ocasión enmascara este resultado debido a que en la muestra pueden aparecer plantas más grandes que son a la par más antiguas y que por tanto emplean tecnologías menos eficientes y plantas más pequeñas que son más modernas.

Por otro lado, hemos visto que los costes de las plantas se han ido reduciendo a medida que estas son más recientes. Sin embargo los datos no siempre parecen mostrar esta tendencia, esto se debe a que hay países en los que inicialmente se construyeron plantas térmicas muy eficientes en costes dado que trabajaban con calor residual, y a posteriori se construyeron plantas de ósmosis inversa convencionales cuyos costes son mayores. Esto no refleja en ningún caso que en estos países el efecto del progreso técnico sea menor ya que de construirse en la actualidad nuevas plantas que empleasen fuentes de calor residual su eficiencia en costes sería mayor que la de las antiguas (Rhodes y Sampath 1988, pp. 103-117).

2.4.- Análisis de los costes de los distintos métodos de desalinización.

Como hemos analizado con anterioridad, los costes de la desalinización no son homogéneos en el mundo, debido a que los procesos que se emplean y los costes de los mismos difieren entre países a causa de las distintas necesidades hídricas y de la disponibilidad de unas u otras fuentes de energía, y a causa también de las diferencias en la tecnología que se aplica y de la antigüedad de las plantas. En este epígrafe vamos a analizar los costes de la desalinización en función de los distintos sistemas que se emplean, ya que el método a emplear tal y como hemos visto es una variable que determina el coste del proceso.

Hay un factor de gran importancia y del que se ha escrito relativamente poco que es el coste del transporte del agua. Es un factor clave a la hora de determinar la viabilidad económica de este proceso, haciendo casi prohibitivo el consumo de agua desalinizada en zonas montañosas e interiores. En términos medios una elevación de 100 metros es igual de costosa que un transporte horizontal de 100 kilómetros (Mencuccini 2003, páginas 163-182).

Independientemente del método de desalinización que se emplee los costes dependen siempre del tamaño de la planta, de sus características técnicas, de la calidad del agua a tratar, de la ubicación de la planta, de las condiciones legales y laborales, de los costes energéticos y de la antigüedad de la planta.

A continuación analizaremos los costes de la desalinización multietapa, de la ósmosis inversa, de la electrodiálisis, de la compresión de vapor y de la evaporación multiefecto.

2.4.1.- Análisis de los costes de los sistemas MSF.

El principal método de desalinización es la desalinización multietapa MSF[38]. Este sistema muestra unos claros rendimientos crecientes a escala (Zhou and Tol 2004, pp. 2-10). La disminución de los costes de explotación no guarda una relación lineal con respecto la capacidad instalada sino que la disminución del coste por metro cúbico es proporcionalmente menor a medida que el caudal tratado es mayor (Wade 2001, pp. 3-12). En cuanto al progreso técnico, la tasa de reducción media anual de los costes por metro cúbico ha sido de un 5,3% durante los últimos 40 años[39].

Tal y como hicimos cuando analizamos los costes de la desalinización en los distintos países, se puede modelizar el coste de explotación de la desalinización mediante un sistema concreto. En el cuadro 2.14 podemos ver un conjunto de regresiones sobre los costes de desalinización por metro cúbico mediante MSF. En esta tabla se muestran dos regresiones doblemente logarítmicas y otras dos semilogarítmicas[40]. El motivo por el cual se presentan dos regresiones de cada tipo es porque las variables YEAR y CAP que a continuación describiremos guardan un alto grado de correlación de modo que su inclusión conjunta genera un problema de multicolinealidad en el modelo. En estas regresiones la variable dependiente es el coste medio de explotación

[38] La desalinización mediante Evaporación Instantánea Multietapa es también conocida por sus siglas en inglés MSF (Multistage Flash Evaporation). Mediante este proceso se destila agua de mar y se condensa el vapor obtenido, recuperando el calor latente para calentar más agua de mar que, posteriormente se evaporará. Si se produjese la transmisión de calor con área infinita e infinito número de etapas y no hubiese pérdidas, una vez comenzado el proceso, no habría que aportar más calor y el proceso se auto-mantendría, pero esto es termodinámicamente imposible, de modo que hay que disponer de una fuente externa de energía que aporte el incremento de temperatura necesario para iniciar el ciclo (Ecoagua 2009; 1-2).

[39] Respecto a la reducción media anual de los costes hay que señalar que no es homogénea en el tiempo sino que, los primeros años se produjo la gran disminución y actualmente el progreso tecnológico de la MSF es prácticamente nulo.

[40] Una regresión doblemente logarítmica es aquella en la que tanto la variable dependiente como las independientes están expresadas en logaritmos. Por otro lado se denomina regresión semilogarítmica a aquella en la que las variables independientes están expresadas en logaritmos y la variable dependiente no.

por metro cúbico, mientras que las variables explicativas son TIC (es la capacidad acumulada en el país), CAP (capacidad de la planta en cuestión), YEAR (año en el que se realizó el contrato de construcción de la planta), ME&NA (es una dummie que toma el valor 1 cuando la planta se ubica en los países de Oriente Medio y el Norte de África y 0 en caso contrario), SEA (es una dummie que toma el valor 1 si el agua que se trata en la planta proviene del mar y 0 en caso contrario).

Cuadro 2.14: modelización de los costes medios de operación de una planta de MSF

	Modelo			
Variable	**Log-log (1)**	**Log-log (2)**	**Semi-log (1)**	**Semi-log (2)**
Constante	6,93*	798,76*	1,21*	109,49*
	(-38,96)	(38,73)	(14,85)	(-36,65)
TIC	-0,35*		-0,000000171*	
	(-30,22)		(-33,95)	
YEAR		-105,02*		-0,06*
		(-38,59)		(-36,31)
CAP	-0,16*	-0,14*	-0,00000221	-0,00000214
	(-12,85)	(-13,30)	(-7,93)	(-8,01)
ME&NA	0,10*	0,05	-0,06	-0,05
	(2,76)	(1,54)	(-1,85)	(-1,41)
SEA	0,63*	0,69*	0,73*	0,68*
	(7,35)	(9,54)	(8,74)	(8,57)
R2 Ajustado	0,77	0,84	0,78	0,80
estadístico F	369,37	571,16	393,55	445,83
n	442	442	442	442

Entre paréntesis se muestran los valores del estadístico t

*Variables significativas a un nivel de significación de 0,01.

Fuente: elaboración propia a partir de Zhou and Tol (2004).

Como podemos ver todas las variables son significativas salvo ME&NA que tan solo puede ser tomada en cuenta a un nivel de 0,01 en uno de los cuatro modelos. Hemos comprobado que en las zonas incluidas en dicha variable binaria, es decir Oriente Medio y el norte de África, los costes de los sistemas térmicos eran menores que los costes de los sistemas de membranas. Por otro lado, el resultado obtenido respecto a esta dummie en

este modelo nos indica que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar con un 1% de error que los sistemas térmicos en Oriente Medio y el norte de África son menos costosos que en el resto de zonas.

El motivo de este resultado en base a nuestro análisis anterior es claro y compatible, significa que este tipo de sistemas térmicos que emplean energía residual son más empleados en Oriente Medio y el Norte de África, ya que en el resto de zonas es más usual el emplear métodos de membrana. Pero si comparamos solo los costes de las plantas térmicas, sucede que en Oriente Medio y el Norte de África los costes son mayores, debido a que son plantas bastante antiguas. En el modelo anterior obtuvimos que si comparábamos los costes medios por zonas de la desalinización (térmica y de membrana) en Oriente Medio y Norte de África era menos costosa, el motivo es que en esta zona se emplea más la cogeneración.

Por tanto podemos concluir que la desalinización mediante MSF es muy barata cuando se emplea energía residual, y que esta práctica es más frecuente en los países de Oriente Medio y el Norte de África. En el resto de países también es muy eficiente la desalinización térmica con energía residual, pero es una práctica minoritaria.

Por otro lado vemos que la variable TIC tiene un coeficiente negativo, esta nos indica que a medida que un país tiene una mayor capacidad acumulada los costes disminuyen, esto se debe al conocimiento y experiencia que se ha obtenido con la construcción y explotación de las plantas anteriores (Borsani y Rebagliati 2005, pp. 29-37). El coeficiente de la variable YEAR es negativo, de modo que si analizamos la evolución de los costes únicamente mediante MSF se ve claramente como los costes son cada vez menores, esta relación no se veía tan clara en nuestro anterior análisis a causa de que si realizábamos el análisis de la evolución temporal de los costes sin diferenciar el método de desalinización aplicado el resultado era ambiguo. La variable CAP

muestra un coeficiente negativo, es decir rendimientos crecientes a escala. Por último vemos que la dummie SEA tiene un coeficiente positivo, es decir el agua de mar es más costosa que la salobre, lo cual es un resultado esperado y conocido a priori (Medina 2000; Lamei et al 2008, pp.1-12).

2.4.2.- Análisis de los costes mediante ósmosis inversa.

La ósmosis inversa se ha convertido en el sistema más popular de desalinización, gracias a la paulatina disminución de los costes que ha derivado del progreso tecnológico[41]. La ósmosis inversa se emplea para desalinizar agua de mar y salobre y también para la depuración de aguas residuales (Zarzo 2006). Existen rendimientos crecientes a escala para todos los tipos de agua que se traten mediante ósmosis inversa (agua de mar, salobre, residual o río), los costes unitarios disminuyen a medida que aumenta la capacidad instalada de la planta, es decir, se dan rendimientos crecientes a escala para todos los tipos de agua a tratar (Zhou and Tol 2004, pp.2-10).

Mediante ósmosis inversa el agua con la que resulta más costosa de desalinizar es la de mar, seguida de la residual, la salobre y por último la de río (Deshmukh and Childress 2001, pp. 87-95). Vamos a llevar a cabo una regresión de los costes de la desalinización mediante ósmosis inversa, dejando de lado el área geográfica. La variable dependiente que vamos a tomar es el coste de explotación por metro cúbico, y las variables independientes son TIC (es la capacidad acumulada en el país), CAP (capacidad de la planta en cuestión), YEAR (año en el que se realizó el contrato de construcción de la planta) y por otro lado tenemos las variables dummies SEA (toma el valor 1 cuando se trata de agua de mar y 0 en caso contrario), BRACK (toma el valor 1 cuando se trata de agua residual y 0 en caso contrario) y RIVERPURE (toma el valor 1 cuando se trata de río y 0 en caso contrario), cuando estas tres dummies toman el valor cero el modelo muestra los resultados correspondientes al agua residual. Cabe destacar que habiendo cuatro tipos de

[41] La ósmosis es un proceso natural que ocurre tanto en plantas como animales. Cuando dos soluciones con concentraciones diferentes separadas por una membrana semipermeable (que permite pasar el agua pero no las sales) existe un flujo natural de agua de la parte menos concentrada a la más concentrada quedando finalmente un mismo grado de concentración. El paso del agua genera la presión osmótica. La osmosis inversa se produce si invertimos este proceso aplicando una presión externa mayor a la osmótica haciendo circular el agua de la solución más concentrada a la menos concentrada. El resultado es que de un lado obtenemos las sales y por el otro el agua desalinizada. Las partes de una desalinizadora de ósmosis inversa son: la toma de agua, el sistema de pretratamiento, el proceso de ósmosis inversa y el postratamiento (Medina 1999).

agua, solo hay que introducir tres dummies en el modelo ya que de haber introducido las cuatro habríamos generado un problema de multicolinealidad en el modelo. En el cuadro 2.15 podemos ver el resultado de esta regresión.

Cuadro 2.15: modelización de los costes medios de operación de una planta de ósmosis inversa.

Variable	Log-log(1)	Log-log(2)	Semi-log(1)	Semi-log(2)
Constante	**5,19***	**652,68***	**0,60***	**88,66***
	(53,99)	**(47,42)**	**(19,66)**	**(47,84)**
TIC	**-0,29***		**-0,0000000903***	
	(-50,20)		**(-36,85)**	
YEAR		**-85,81***		**-0,04***
		(-47,34)		**(-47,77)**
CAP	**-0,1***	**-0,09***	**-0,00000355***	**-0,00000374***
	(15,85)	**(-14,42)**	**(-6,72)**	**(-7,89)**
SEA	**0,50***	**0,50***	**0,46***	**0,49***
	(17,82)	**(17,02)**	**(13,89)**	**(16,19)**
BRACK	**-0,41***	**-0,42***	**-0,38***	**-0,41***
	(-16,17)	**(-15,89)**	**(-12,66)**	**(-15,16)**
RIVERPURE	**-0,66***	**-0,67***	**-0,70***	**-0,66***
	(-25,17)	**(-24,86)**	**(-22,74)**	**(-23,76)**
R2 ajustado	**0,72**	**0,71**	**0,62**	**0,69**
Estadístico F	**1322,63**	**1216,75**	**813,19**	**1122,73**
n	**2514**	**2514**	**2514**	**2514**

Entre paréntesis se muestran los valores del estadístico t

*Variables significativas a un nivel de significación de 0,01.

Fuente: elaboración propia Zhou and Tol (2004).

Como podemos ver, todas las variables son significativas al nivel 0,01. El coeficiente negativo de CAP indica que existen rendimientos crecientes en las plantas, es decir, a mayor caudal tratado menores costes de operación. El coeficiente negativo de TIC nos indica que a medida que en un país se desaliniza más agua mediante ósmosis inversa, los costes del tratamiento

disminuyen, esto se debe al saber hacer y al conocimiento técnico que se adquiere a medida que se dispone de más plantas. Vemos también en el cuadro 2.14 que el coeficiente de la variable YEAR es negativo, esto prueba que las plantas más nuevas tienen costes de explotación menores. La interpretación de las dummies en base al signo y valor de sus coeficientes es que el tipo de agua con mayores costes es la de mar, seguida de la residual, la salobre y por último la de río.

Cabe señalar que si comparamos la regresión llevada a cabo para la desalinización por MSF y ósmosis inversa, podemos ver que los coeficientes de la variable CAP son mayores en valor absoluto para la MSF que para la ósmosis inversa, esto significa que la disminución del coste de explotación a medida que aumenta el caudal es mayor en el sistema MSF. Es decir, los rendimientos crecientes a escala son más agudos en MSF que en la ósmosis inversa.

2.4.3.- Los costes de la desalinización mediante evaporación multiefecto, compresión de vapor y electrodiálisis.

La electrodiálisis[42] (ED), la evaporación multiefecto[43] (ME) y la compresión de vapor[44] (VC) son tres procesos de desalinización de gran relevancia. La VC y la ME son dos procesos térmicos que se aplican fundamentalmente a agua de mar ya que su uso en aguas salobres, residuales o de río es comparativamente muy costoso.

La ED es un método de desalinización por membranas mediante el cual se puede desalinizar con una gran eficiencia económica agua con un bajo contenido en sal (Hong-Joo L. 2002, pp. 267-286). Por lo general, para un agua salobre que cumpla ciertas condiciones en sus parámetros químicos la electrodiálisis es el método que ofrece un menor coste de explotación por metro cúbico, menor por tanto que el coste mediante ósmosis inversa. Estos tres procesos (ME, VC, ED) muestran rendimientos crecientes a escala, es decir, cuanto mayor es el caudal que tratan menores son los costes de explotación por metro cúbico.

De los tres procesos anteriores, la electrodiálisis es el que presenta los menores costes de explotación con aguas salobres. Por otro lado, los tres

[42] La electrodiálisis permite bajo la influencia de un campo eléctrico continuo, extraer sustancias ionizadas disueltas en una disolución acuosa a través de membranas selectivas de intercambio iónico.

[43] Este proceso consiste en evaporar el agua de mar, condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación del vapor para calentar más agua de mar que volveremos a evaporar.

[44] En la compresión de vapor se evapora agua salada en un lado de la superficie de intercambio y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la dulce.

procesos han disminuido considerablemente los costes a lo largo de los años. En el cuadro 2.16, se regresa el coste de explotación por metro cúbico de la desalinización en función de TIC (es la capacidad acumulada en el país), CAP (capacidad de la planta en cuestión), YEAR (año en el que se realizó el contrato de construcción de la planta). En los modelos de ME y VC hemos incluido la dummie SEA que toma el valor uno cuando el agua que se emplea es de mar y cero cuando no es de mar. En el modelo de ED hemos incluido la variable binaria BRACK que toma el valor uno cuando el agua que trata la planta es salobre y cero cuando es de otro tipo.

Cuadro 2.16: regresión del coste de explotación por metro cúbico en la desalinización mediante ME, VC y ED.

	Modelo					
Variable	**ME (log-log)**	**ME (log-log)**	**VC (log-log)**	**VC (log-log)**	**ED (log-log)**	**ED (log-log)**
Constant	6,06*	684,72*	4,53*	727,39*	5,42*	677,53*
	(16,26)	(30,80)	(21,35)	(18,20)	(25,08)	(23,88)
TIC	-0,40*		-0,26*		-0,38*	
	(-15,76)		(-17,75)		(-26,87)	
YEAR		-0,9*		-95,59*		-89,15*
		(-30,73)		(-18,16)		(-23,86)
CAP	-0,08*	0,09*	-0,13*	-0,12*	-0,08*	-0,07*
	(-2,85)	(-4,99)	(-7,04)	(-6,54)	(-5,09)	(-3,91)
SEA	0,74*	0,76*	0,44*	0,39*		
	(9,52)	(16,54)	(11,31)	(9,94)		
BRACK					0,0006	-0,03
					(0,02)	(-0,71)
R2 Ajustado	0,67	0,88	0,6	0,61	0,68	0,63
estadístico F	94,86	347,57	146,05	148,97	298,47	240,38
n	142	142	288	288	427	427

Entre paréntesis se muestran los valores del estadístico t

*Variables significativas a un nivel de significación de 0,01.

Fuente: elaboración propia Zhou and Tol (2004).

Vemos que para los tres procesos el coeficiente de la variable TIC es negativo, esto quiere decir que a medida que la capacidad instalada en un país de desalinización mediante ED aumenta, el coste de explotación por metro cúbico de la ED disminuye a causa de la experiencia y conocimientos acumulados, lo mismo sucede con la VC y la ME (Darwish 1988, pp. 275-295 y Kronenberg 1999, pp. 287-294). El coeficiente de la variable YEAR es negativo lo que indica que los costes de la desalinización mediante estos procesos disminuyen a medida que la planta es más nueva, cabe resaltar que el coeficiente de la variable YEAR para la ME es en valor absoluto mucho menor que en los otros procesos, esto nos indica que los costes de la ME han reducido a lo largo de los años pero su disminución ha sido mucho menor que en el caso de la ED o la VC. El coeficiente de la variable CAP nos indica que tanto en la ED como en la VC existen rendimientos crecientes a escala, es decir se experimenta una reducción del coste de explotación por metro cúbico a medida que el caudal tratado es mayor.

La variable CAP, siendo significativa en ambos modelos, muestra un coeficiente positivo para la ME en la regresión que incluye la variable YEAR y un coeficiente negativo para la regresión que no incluye dicha variable. Esto se debe a que si evaluamos gráficamente los rendimientos de escala dejando de lado el año de construcción parece claro que los costes disminuyen a medida que aumenta la capacidad, aunque la relación econométrica nos dice que en realidad las plantas más grandes son más eficientes, esto es debido a que son más nuevas.

El coeficiente de la variable SEA nos indica que en la ME y la VC el coste aumenta cuando el agua que se desaliniza procede del mar y disminuye cuando es otro tipo de agua. Por otro lado vemos que la variable BRACK no es significativa al nivel 0,01 lo que indica que no podemos decir si al tratar agua salobre mediante ED el coste aumenta o disminuye respecto a los otras aguas,

los tipos de agua que se tratan mediante ED son agua de río, residual y salobre (no se incluye el agua de mar), y a la vista del resultado no podemos decir que sea más barato ni más caro desalinizar mediante ED agua salobre frente a la residual y la de río.

2.5.- El coste del transporte del agua

Si bien existe un gran número de investigaciones que han analizado los costes de la desalinización mediante los distintos sistemas, poco se ha escrito acerca del coste del transporte del agua y éste es fundamental a la hora de determinar la viabilidad económica de una planta. El coste de transportar el agua, medido en euros por metro cúbico (o en dólares por metro cúbico) dependerá de la distancia hasta el punto de destino, la pendiente, el caudal y otros factores. De entre los pocos artículos existentes que hacen referencia al coste del transporte del agua, la mayoría de ellos hacen referencia a un libro escrito en 1993 (Kally 1993). En este trabajo se analizan los costes del transporte de agua que se realiza desde el Nilo a Gaza. Kally estimó en su libro que transportar 100 millones de metros cúbicos anuales sobre una distancia de 100 km costaría 0,061 $/m^3 y elevar esta agua 100 metros 0,052 $/m^3. El coste de transporte es común a todo tipo de aguas (superficial, depurada, desalinizada o subterránea) el problema de la desalinización de agua de mar a este respecto es que se produce a cota cero y hay que elevarla siempre.

En este trabajo (Kally 1993) explica que la relación entre el coste de transporte y la distancia es lineal con elasticidad unitaria, es decir un incremento de la distancia en un 1% implica un aumento de los costes de un 1%. Estimó que existía una elasticidad entre el coste y la capacidad transportada de 0,92; es decir, un incremento de un 1% de la capacidad a transportar implica un incremento del coste total de transporte de un 0,92% y una disminución del coste unitario de envío de 0,08%. Demostró en este estudio que no es tanto la distancia de envío la responsable de que los costes aumenten sino el aumento de la pendiente. Por otro lado, Kally analizó como influye sobre los costes de transporte el material o el tipo de suelo que tiene la conducción mediante la cual se transporta el agua, siendo el menor coste cuando la superficie es sólida e incrementando en un 13% si es rocosa y en un

175% si es arenoso. Analizó el tipo de conducción llegando a la conclusión de que el menor coste de transporte es el que presenta la canal, mientras que el transporte mediante una tubería incrementaría el coste respecto a la canal en un 271%. Otro autor (Gruen 2000, pp. 565-579) estimó el coste de transporte del agua desde Turquía hasta la parte turca de Chipre, para este abastecimiento existe una tubería de 78 kilómetros cuya capacidad es de 75 millones de m^3 anuales a un coste de 0,25-0,34 $/m^3. Según el análisis de Kally el transporte horizontal costaría solo 0,16 $/m^3 de modo que el resto del coste correspondería a la elevación existente que es de 300 m. Las estimaciones de Gruen son consistentes con las de Kally, sobre todo si se toma el mismo tipo de interés ya que Kally toma el 8% y Gruen el 4%. Un estudio español (Uche et al 2003, pp. 329-334) mide el coste de transportar el agua desde el Ebro hasta la España meridional (el denominado trasvase del Ebro), el coste que estiman es de 0,36 $/m^3 que es inferior al coste que se obtiene con el método propuesto por Kally que es de 0,52 $/m^3.

Otros autores (Liu y Zheng 2002, pp. 453-471) analizaron la transferencia de agua desde Yangtze hasta el norte de China. La cantidad de agua que se transfiere es de 32.000 m^3 anuales, de los cuales solo un quinto alcanza el destino final. El trazado es de 1.150 kilómetros de largo con una elevación de 65 m. El coste que estimaron estos autores era de 0,1-0,16 $/m^3 mientras que según la metodología de Kally el coste estimado sería de 0,38 $/m^3. El motivo de la diferencia en este caso es que Liu y Zheng tan solo tienen en cuenta el capital y dejan de lado la operación y mantenimiento. Por otro lado el tipo de interés que toman estos autores es cero. En conclusión y al margen de las metodologías de estimación de los costes de transporte, podemos decir que el coste de transporte del agua se incrementa conforme la distancia y la pendiente que esta debe salvar aumentan. Aplicado a los intercambios de agua que tenemos en Alicante, vemos que el trasvase Júcar-Vinalopó (López y Melgarejo 2010, pp. 203-233) tiene un coste elevado de transporte, esto hace que este recurso tenga mayores costes que otros como el trasvase Tajo-Segura.

2.6.- Externalidades negativas de la desalinización.

Las principales externalidades negativas de la desalinización son las ambientales ya que la desalinización genera una serie de impactos negativos para el medio ambiente (Canagua 1999). Los principales efectos ambientales de la desalinización son los derivados del vertido de la salmuera sobre los organismos osmoconformadores, los efectos nocivos sobre los suelos regados con agua desalada (generalmente mediante ósmosis inversa), las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, que se producen al generar la energía necesaria para las plantas desalinizadoras (Mujeriego 2005, pp. 21-22) y por último los efectos visuales y auditivos (Montaño 2008 c, pp. 2-4). Estos costes ambientales, deben ser tenidos tan en cuenta como los económicos. Existen métodos económicos para valorar monetariamente los daños ambientales. A continuación explicaremos de forma sintética como podemos estimar el valor monetario de cada una de las externalidades de la desalinización.

2.6.1.- Principales efectos ambientales.

Analizaremos cuáles son los principales efectos ambientales de la desalinización y como pueden paliarse y valoraremos económicamente el coste de cada una de las externalidades ambientales de la desalinización.

2.6.1.1- Efectos de la salmuera

En función del proceso de desalinización que empleemos, la salmuera tendrá una mayor o menor concentración de sales. La salmuera que se obtiene del proceso de ósmosis inversa tiene una concentración muy elevada de entre 70 a 90 gramos de sal por litro. En cambio, en la destilación, la salmuera resultante tiene una concentración de 50g/l. Además de la acumulación mayor de sales en el caso de la ósmosis inversa, la salmuera suele tener restos químicos de los productos empleados en el pretratamiento.

En la Comunidad Valenciana, los efectos del vertido de la salmuera no son comparables con los que pueda haber en Canarias. A causa de las condiciones propias del mar Mediterráneo, los efectos son mucho mayores que en el Atlántico. En el caso de las desalinizadoras de Canarias, la orografía, el régimen de oleaje y la amplitud de las mareas hacen que el impacto sobre la flora y la fauna, del vertido de la salmuera, sea prácticamente nulo. El gran impacto de la salmuera en el Mediterráneo afecta a los organismos osmoconformadores que no tienen capacidad de regulación osmótica de la concentración interna de sales, de modo que ésta es prácticamente igual a la externa. La consecuencia es que si el medio de hábitat de estas especies se convierte en hipersalino, estas desaparecen debido a la deshidratación de los tejidos. En este sentido, una de las especies más perjudicadas es la fanerógama marina Posidonia oceánica. El hecho de que la salmuera perjudique a las Posidonias, es ambientalmente inviable, debido a que es una especie protegida de un gran valor para otras especies, de distribución amplia y con una baja tasa de crecimiento y recuperación. Hasta el momento, para proteger a esta alga marina, se ha intentado reducir los efectos de la salmuera mediante las siguientes vías (Martínez 2003, pp. 21-28):

- Diluyendo la salmuera antes de su vertido.

- Mezclando la salmuera con otras aguas (como podría ser el caso de verterlas en un río para que lleguen diluidas al mar.

- Utilizando canalizaciones o salidas de refrigeración de centrales o conduciendo la salmuera a través de tuberías a zonas marinas sin vegetación.
- Utilizando un hidrodinamismo medio o elevado que facilite su dilución.

Al verter la salmuera al mar, no se le añade sal, tan solo estamos devolviendo la que tenía. Sin embargo, hay que verterla de forma tal que se diluya de la manera menos dañina en la masa de agua de mar.

Esta preocupación por los posibles efectos de los vertidos de salmuera sobre la flora y la fauna ha cobrado una gran importancia recientemente. Existen desalinizadoras que funcionan desde hace más de una década, sin experimentar cambios sobre la flora y la fauna. Sin embargo, la comunidad científica advirtió de las posibles consecuencias ambientales de los vertidos de salmuera, con lo cual se pusieron en marcha todos los mecanismos para el estudio del problema y el planteamiento de soluciones. Una de las especies sobre la que se han centrado estos estudios es la Posidonia, planta que habita en el Mediterráneo, es una de las especies más sensibles, y está protegida por las directivas medioambientales. Esta planta marina contribuye al desarrollo de los peces, ayuda a fijar los bancos de arena y oxigenar el agua de mar. La salinidad máxima tolerable es de 38,5 unidades prácticas de salinidad, lo que equivale aproximadamente a 39 gramos por litro (Fernández y Sánchez 2003, pp. 247-252). Conociendo la tolerancia máxima de salinidad, debemos estudiar el modo físico de hacer los vertidos de un modo que permita la disolución natural de la salmuera en la propia masa de agua de mar, sin sobrepasar los límites de tolerancia fijados. En algunos de los casos más difíciles, a causa de la proximidad de la costa respecto de la pradera de posidonias, se ha diseñado una solución algo elaborada, que consiste en distribuir la salmuera mediante una serie de difusores que hacen que al salir la salmuera y chocar con el agua

del mar se homogeneice en la salinidad toda la masa de agua de mar cercana al difusor.

Es necesario evaluar económicamente el daño ambiental que corresponde a cada metro cúbico de agua desalado, a causa del vertido de la salmuera. En España, no se suele afectar a las praderas, ya que se incorporan en las plantas unos salmueroconductos que hacen posible realizar el vertido en un lugar que es menos dañino. Uno de los métodos de estimación del valor de un daño ambiental consiste en identificarlo con el coste económico de su reparación (Sotelo 2006, pp. 231-258). En este sentido, el coste ambiental de los vertidos de salmuera podría ser valorado económicamente mediante el coste de construcción y mantenimiento de los emisarios submarinos o salmueroconductos[45].

45 Fundamentalmente los costes son los energéticos al impulsar el vertido y los de inversión y mantenimiento.

2.6.1.2.- Efecto del riego con agua desalada sobre el suelo

Se dan diversos problemas al utilizar el agua desalada para el riego. A menudo se hace necesario remineralizarla con carbonato cálcico antes de su uso y controlar además las potenciales incrustaciones que pueda provocar sobre los goteros de riego (Zapata et al 2000, pp. 39-40 y Barquero 1996, pp. 247-250).

Empleando ósmosis inversa, el rendimiento de la eliminación de sales es de entre un 94-99%, en el caso del boro es tan solo de un 67%. El suelo y los cultivos pueden verse dañados al cabo de unos años por el sodio, disminuyendo por tanto la productividad de los mismos. El sodio está presente en el agua desalada por ósmosis inversa a menos que se emplee un tratamiento posterior a la salida del agua de las membranas. Hay cultivos bastante tolerantes a la salinidad como puedan ser el trigo o la palmera, pero otros como la fresa, los cítricos, las hortalizas o la vid son muy sensibles a la salinidad. Por otro lado, hay cultivos muy sensibles al boro como la vid, el manzano y el naranjo. Para solucionar los problemas que pueden derivar del contenido en boro y cloro del agua desalada podemos tomar diversas soluciones, cuya efectividad dependerá de las características concretas de cada caso (Martínez 2003, pp. 21-28). Algunas de las posibles soluciones son regar por exceso, reducir la evapotranspiración del suelo usando alguna cobertura, evitar cultivos sensibles y emplear el riego por goteo (Zarza 1997, pp. 199-226).

Otras medidas convenientes cuando se riega con agua desalada son: aportar microelementos como Fe, Zn y Mn en especial en suelos poco fértiles; analizar la evolución de los suelos con análisis completos anuales; aportar calcio para reducir la alta peligrosidad del sodio, además debe de tenerse en cuenta que una excesiva dosificación de carbonato cálcico puede producir su precipitación y producir incrustaciones en los goteros.

¿Cómo podríamos valorar económicamente el daño ambiental que se deriva de regar con agua desalada? De nuevo, podríamos asignarle el coste que corresponde a la reparación del daño que esta actividad genera. Dado que existen diversas opciones para paliar los efectos del riego con agua desalinizada, es complejo calcular a priori cual será el coste económico de reparar el daño que se pueda generar. No obstante podríamos calcular a posteriori cual es el coste de la reparación de los efectos del riego con agua desalada. En España existen diversas experiencias en el riego con agua desalinizada, como es el caso de Almería o de Canarias. Debido a sus costes y sus parámetros químicos, el agua desalinizada es sobre todo para el consumo urbano. Cuando esta se emplea en riego una solución tanto al coste elevado como a los problemas de su composición puede ser el mezclarla con agua depurada de modo que el recurso resultante de esta mezcla pierde esas características nocivas.

2.6.1.3.- Efecto de las emisiones de CO_2

Las emisiones de CO_2 que se suelen imputar a las desalinizadoras, provienen del consumo de energía eléctrica de la planta y/o del consumo de combustibles fósiles. El hecho de que el impacto sea mayor o menor, está relacionado con cual sea la fuente de energía primaria usada para producir esta energía, ya que se pueden emplear combustibles fósiles con elevadas emisiones, energía hidráulica, energías renovables (como la eólica o la solar) o energía nuclear sin emisiones de CO_2[46]. El porcentaje de la energía gastado en desalinizadoras respecto al total, no está equidistribuido geográficamente. En el caso de las islas Canarias, por ejemplo, el diez por ciento de consumo total de energía eléctrica viene de las plantas desalinizadoras. Ni siquiera está distribuido equitativamente este porcentaje dentro de las Canarias, en Fuerteventura el 58% de la energía se destina a la desalinización (Ramos 2002, pp. 10-16).

El paulatino incremento de la capacidad de agua desalinizada en nuestro país conlleva a su vez un aumento del consumo energético. En este sentido, con el objeto de reducir los costes ambientales no solo de la desalinización, sino de la economía en su conjunto, es interesante invertir en energías menos contaminantes, como pueda ser la energía eólica.

Cabe destacar respecto a las emisiones de CO_2, que el problema no es que las plantas desalinizadoras emitan CO_2, sino que la energía eléctrica que consumen envía CO_2 a la atmósfera. Si suponemos un consumo energético de 3,5 kWh/m^3, estaríamos generando 1,9 Kg CO_2/ m^3 [47]. Bajo esta hipótesis, 400

---

[46] Hay países en los que las desalinizadoras son alimentadas de un modo frecuente con energía nuclear, destacando Kazaquistán, India, China y Japón (World Nuclear Association, 2008)

[47] El consumo energético de las desalinizadoras depende de diversas variables tales como la antigüedad de la planta o el caudal tratado entre otras. Si tenemos en cuenta las principales desalinizadoras cuyos recursos son geográficamente coincidentes a los del Tajo-Segura podemos ver que el consumo energético medio es de 4,2 kWh/m^3 (Melgarejo y Montaño 2011, pp. 536-541)

hm^3 supondrían el 0,5% de las emisiones totales en España[48]. Pero este razonamiento es en cierto sentido impreciso ya que la desalinización no emite CO_2, sino que consume energía, al igual que otras muchas actividades menos prioritarias. Las emisiones, en general están directamente relacionadas con las fuentes energéticas. Pasando del modelo español en el que el 51% de la energía es térmica al modelo francés donde el 73% es nuclear las emisiones se dividirían por cuatro (Ron y Faibishm 2003, pp. 277-287), y con el modelo noruego, en el que el 99% es hidroeléctrica las emisiones se reducirían por 14.

Es posible realizar un cálculo del coste de las emisiones de CO_2, pero a este respecto existen diferentes puntos de vista. Si nos centramos en los datos ofrecidos por la Agencia Internacional de la Energía (AIE), se estiman 25 $/t$CO_2$ para el año 2050, mientras que el proyecto europeo CASCADE-MINTS estima 50 $/t$CO_2$ para 2020 y 100 $/t$CO_2$ para 2050 y Greenpeace Internacional asume en sus estudios 50 $/t$CO_2$ para 2050. La mayoría de las estimaciones sacan valores monetarios para el futuro, nosotros vamos a optar por la opción de tomar un valor para el año 2008 situado en los 10 €/tCO_2 (Teske 2007, pp. 28-29).

Puesto que la media de emisiones de CO_2 por m^3 en 2007 de las desalinizadoras españolas fue de 6,99 Kg/m^3, los costes asociados a la emisión de estos gases es de 0,0699 €/m^3. Es decir por cada Kg emitido el coste valor económico es de 1 céntimo de euro, por tanto si internalizamos el daño ambiental que se genera con las emisiones de CO_2 de la desalinización, habría que sumar cerca de 7 céntimos por metro cúbico.

[48] Las emisiones imputables a la desalinización son superiores a las de los trasvases debido a que en general los trasvases tienen un consumo energético menor.

2.6.1.4.- Efectos visuales de las desalinizadoras.

Las plantas de desalinización de aguas marinas minimizan su coste cuando están próximas al mar. Sin embargo, estas ubicaciones a menudo entran en competencia con el suelo urbanizable, o generan un cierto grado de impacto visual. No es habitual que las desalinizadoras se emplacen en zonas de gran impacto visual, pero se pueden dar casos, como la desaladora Campello-Muchamiel (Ministerio de Medio Ambiente 2006, pp. 2-7). Mediante el método hedónico[49] podemos valorar económicamente los efectos visuales de las desalinizadoras, analizando cómo reacciona el mercado a su presencia, aunque esto es muy difícil ya que la presencia de la desalinizadora garantiza más agua y por tanto el precio de la vivienda en la zona podría aumentar. Una planta desalinizadora no deja de ser una "fábrica de agua" con impactos similares a otras fábricas.

[49] El método de los precios hedónicos, cuyo supuesto de partida es que el precio de un bien es la suma de los precios de sus características o atributos, permite descomponer las alteraciones de precios en variaciones puras del precio dada la misma calidad y en modificaciones en la calidad del bien o servicio analizado (Bover y Velilla 2001). Este método puede aplicarse al precio de la vivienda y su variación antes y después de instalar una desalinizadora.

2.6.2.- Valor del efecto ambiental total de la desalinización.

El valor del efecto ambiental total de la desalinización será:

EATD[50] = efecto de la salmuera + emisiones de CO_2 + impacto visual + efectos del riego con agua desalada.

El efecto de la salmuera (ES) es el coste de inversión y mantenimiento del emisario submarino u otras instalaciones necesarias para no dañar el medio marino. Este coste está sujeto a grandes variaciones, que dependen fundamentalmente de la ubicación de la planta, y del caudal de la misma. Respecto a las emisiones de CO_2 (ECO2), hemos tomado el valor de 7 céntimos de euro por metro cúbico como coste medio.[51] El coste específico de cada planta, varían en función de la cantidad de energía necesaria por metro cúbico y de la composición de esta energía[52]. En cuanto al impacto visual (IV), hay que repercutirle a la desaladora las variaciones en el precio de la vivienda local, descontando los efectos que haya tenido sobre el precio cualquier otra variable. El último de los efectos ambientales son los efectos del riego con agua desalada (ERAD), en función de los parámetros que presente el agua desalada y del cultivo en el que se vaya a emplear este coste será mayor o menor.

Por tanto tenemos:

EATD = ES (ubicación de la planta, m^3/día) + ECO2 (m^3/día, tipo de energía) + IV + ERAD

---

50 EATD: Efecto Ambiental Total de una Desaladora.

51 Ver 4.1.3.- Efecto de las emisiones de CO_2

52 De ser abastecida mediante energías renovables, las emisiones de CO_2 serían cercanas a cero.

Suponiendo una planta media de las ubicadas en España, el coste ambiental sería:

EATD = ES (ubicación de la planta, m^3/día) + 0,07€ * m^3 + IV + ERAD

¿Cómo podemos minimizar el coste ambiental? Para minimizarlo hemos de ubicar la desalinizadoras en un lugar y de un modo que no agreda al aspecto visual del paisaje.

El mínimo de los costes posibles de inversión en un emisario submarino, se da cuando no es necesario instalarlo, esto pasa en algunos puntos de España, como es el caso de las islas Canarias o en Jávea, donde se diluye la salmuera en el canal de la Fontana (Fernández et al 2004, pp. 3-9).

En cuanto al coste que deriva de las emisiones de CO_2, la solución pasa por consumir menos energía o que esta proceda en una mayor proporción de fuentes renovables. Pero esto no depende de la desalinizadora en sí, esta simplemente se conecta a la red y toma la energía que existe.

Por último el coste ambiental que deriva del riego con agua desalinizada depende de múltiples factores. En primer lugar si va a regarse con dicho recurso o no (en caso de no emplearse para riego el coste ambiental derivado del riego sería cero), y en segundo lugar si va a ser empleada para riego el coste ambiental podría medirse como el costo de tratar el agua para que no tenga efectos nocivos. El tratamiento del agua para su uso en riego puede hacerse mediante el uso de productos químicos o mediante la implementación de tecnología a la planta, en cada caso habría que estudiar qué opción es más rentable. Otra alternativa es adaptar el cultivo a la calidad del agua.

2.6.3- Vías de reducción de los costes ambientales

La reducción de los efectos ambientales de la desalinización es tan importante como la de los costes económicos. La preocupación por estos efectos ambientales es mayor en los países de un alto poder adquisitivo, como es el caso de España. De entre los efectos ambientales que hemos analizado, el único que no se está controlando tanto como es técnicamente posible son las emisiones de CO_2. Para reducir estas emisiones se puede disminuir el consumo energético de la desalinización, por otro lado se puede producir la energía necesaria para dicho proceso mediante procesos no contaminantes, aunque está opción es exógena a la desalinización. La mayor parte de los esfuerzos se han centrado en el consumo energético de la desalinización ya que es algo que depende directamente de la planta, no como la composición energética que se emplea.

2.6.3.1- Sistemas de ahorro de energía

En los años setenta apareció el método de ósmosis inversa, que consiste en hacer pasar el agua del mar a altas presiones a través de una membrana semipermeable, que se encarga de filtrar las sales y las impurezas. La clave está en que en este proceso, con el paso del tiempo, se halló el modo de recuperar gran parte de la energía empleada. Estas plantas expulsan del dispositivo en forma de solución concentrada de salmuera en un flujo continuo que contiene gran cantidad de energía de alta presión.

Las primeras plantas desalinizadoras de ósmosis inversa en los años setenta tenían un consumo energético superior a 6 kWh/m^3, esto se debe a que el rendimiento de las membranas era muy bajo, ya que estaban sujetos a las limitaciones de la caída de presión, pero la eficiencia energética aumentó con los dispositivos de recuperación de energía. En los setenta no se empleaban estos sistemas de recuperación, que son en gran parte los responsables de la

caída de los costes. En el año 1985, Filmtec desarrolló un innovador elemento comercial de ósmosis inversa de baja presión y una sola etapa. Fue entonces cuando los fabricantes de bombas adaptaron las tecnologías existentes como las turbinas de movimiento inverso y las ruedas Pelton a las desalinizadoras, con el objeto de recuperar parte de la energía empleada y reducir significativamente el consumo. Estos cambios permitieron bajar las necesidades de energía hasta 4 kWh/m^3. Sin embargo, quedaba mucho por mejorar, ya que la maquinaria rotatoria de los primeros dispositivos de recuperación de energía estaba fabricada con piezas metálicas sujetas a graves problemas de corrosión y desgaste, con lo cual el coste de mantenimiento era muy elevado, en especial si se trabajaba con agua de mar.

En la década de los noventa, surgieron dispositivos de recuperación de energía más avanzados, que empleaban materiales de alta aleación, mucho más resistentes al desgaste, como el acero inoxidable 904L. Apareció también el turbocargador hidráulico.

Estas mejoras redujeron significativamente los costes de la desalinización, ya que por un lado disminuyeron los costes de mantenimiento, y por otro lado se recuperaba entre un 50-80% de la energía del flujo de salmuera a alta presión de las plantas.

Las inversiones y el esfuerzo investigador durante los últimos 20 años para disminuir los costes de la desalinización, se ha centrado en buena parte en desarrollar dispositivos comerciales avanzados de recuperación de energía que permitieran resolver las limitaciones del rendimiento de estas plantas. Los dispositivos que se han creado usaban combinaciones de pistones, palas, válvulas y temporizadores; algunos de estos daban un buen rendimiento inicial, pero presentaban graves problemas de degradación y precisaban de un minucioso y costoso mantenimiento. Otros sistemas estaban equipados con programas de inteligencia artificial, pero se vieron expuestos al grave problema de que la cualificación de los operadores no era adecuada.

La empresa Energy Recovery Inc, comenzó a desarrollar en 1992 un rotor tubular que transfería la energía a presión desde la salmuera de la ósmosis inversa al flujo de alimentación. Tras cinco años surgió un dispositivo comercial de recuperación de energía bajo patente. En 1997 se comenzó a comercializar este dispositivo denominado Pressure Exchanger, o de modo abreviado PE. El resultado de los dispositivos PE es muy bueno, con un desgaste de las partes móviles y de acoplamiento de cerámica excepcionalmente bajos. Por tanto el nuevo sistema ofrece como ventaja respecto a los elaborados con acero o bronce que no es tan susceptible a la corrosión.

Con el PE, se reduce significativamente el coste de mantenimiento, y debido a que transfiere energía directamente de la salmuera al flujo de alimentación sin los problemas de rendimiento de los ejes giratorios de alta velocidad, obtiene un rendimiento real de un 91-95% con un amplio rango de flujos.

Si bien en las últimas décadas se ha reducido en gran medida el consumo energético del proceso, parece muy complicado incrementar aún más la eficiencia energética de la desalinización. Esto es debido a que cuando se diseñaron las primeras mejoras, la ósmosis inversa era una tecnología muy reciente y en consecuencia, era relativamente sencillo el mejorar el sistema. Sin embargo, la ósmosis inversa ya es una tecnología madura y es muy difícil el poder alcanzar reducciones adicionales en el consumo energético actual que es de 3,5 Kwh/m^3. Si no parece probable el que se produzcan reducciones adicionales en el consumo energético, la vía para disminuir las emisiones de dióxido de carbono está en la producción de la energía. Porque ciertamente, se puede desalinizar sin emitir CO_2.

2.6.3.2.- El coste de desalar sin emitir CO_2

De entre los diversos efectos ambientales de la desalinización las emisiones de CO_2 es uno de los más graves. Estas emisiones se suelen imputar al proceso de la desalinización, aunque no es del todo cierto que la desalinización emita CO_2. Las emisiones son debidas al consumo energético, en este sentido, lo hace cualquier maquinaria que consuma electricidad dado el mercado eléctrico en España (Millan 1999, pp. 131-142), claro que la proporción de energía que consume la desalinización es muy elevada. Este apartado tiene como fin responder a las preguntas: ¿Es posible desalinizar agua sin emitir CO_2? Nuestra hipótesis es que se puede obtener agua desalinizada sin necesidad de incurrir en el daño ambiental que generan las emisiones de CO_2, pero evitar estas emisiones nos va a obligar a incurrir en unos mayores costes económicos o en un mayor coste social.

Las energías renovables nos permiten consumir energía sin emitir CO_2 a la atmósfera, puesto que estas emisiones son quizás el gran problema ambiental de la desalinización, a menudo se habla de las posibilidades de vincular de un modo directo o indirecto la desalinización con las energías renovables. Abastecer directamente una desaladora mediante energías renovables, significa que se produce energía con unos aerogeneradores, placas solares u otros sistemas, y se emplea dicha energía exclusivamente en la planta. A menudo, si hay excedentes de energía estos se ceden a la red eléctrica a cambio de una compensación económica.

Se denomina desalinización eólica a un sistema de desalinización que es abastecido energéticamente mediante aerogeneradores. Existen diversas variantes, de desalinización eólica, cuya diferencia principal reside en si se emplea la energía mecánica de los aerogeneradores o si bien se consume la electricidad que estos producen. Empleando directamente la energía mecánica, la eficiencia es mayor, pero como inconveniente no pueden venderse los excedentes de electricidad en caso de que los hubiere. Lo lógico es producir la energía allí donde mayor eficiencia existe, esto supone otro inconveniente para

este sistema ya que además de no poder vender los excedentes a la red, la ubicación rara vez será óptima.

Con la puesta en marcha del Programa A.G.U.A, no tardaron en aparecer las críticas acerca del elevado consumo energético que era necesario para alimentar a todas las plantas previstas. El Gobierno se comprometió a producir mediante energía eólica, al menos la misma cantidad de energía que se estaba consumiendo con las desalinizadoras. La capacidad de energía eólica en 2008 aumentó un 97% respecto a la de 2004. En la actualidad el Programa A.G.U.A. no ha cumplido sus previsiones de ejecución, acumulando un notorio retraso en la ejecución de las plantas previstas. Por ejemplo, las obras de construcción de la segunda planta del Canal de Alicante no se finalizaron hasta el verano de 2008 y la ampliación de la primera planta, inaugurada en 2003, se retrasó a 2006 completando así una inversión ya prevista en la Ley del Plan Hidrológico Nacional (2001). Otro ejemplo, lo encontramos en la desalinizadora de Torrevieja que se licitó en 2006, este proyecto no ha estado exento de polémica por el impacto de las obras de la planta en el entorno de la Laguna de Torrevieja, al que se suma el de la toma de agua y el vertido de la salmuera en el frente marítimo y puerto de la ciudad. En 2010 todavía no se habían acabado los colectores de captación de agua marina ni de evacuación de la salmuera de dicha planta. Se prevé que las obras de suministro eléctrico de la planta no finalicen antes de 2012 (Rico 2010, pp. 235-246).

En la actualidad se investiga con el fin de conseguir que las técnicas de desalinización a través de la tecnología solar puedan llegar a ser una fuente sostenible para la obtención de estos recursos hídricos que son cada vez más escasos.

Los sistemas de desalinización solar térmica se dividen en dos grandes grupos según su configuración (Minnich et al 1995, pp. 233-257):

- Desalinización solar térmica directa. En esta el colector y el destilador están integrados.

- Desalinización solar térmica indirecta. En este sistema el colector y el destilador están compuestos por elementos bien diferenciados.

Para cada sistema de desalinización, se pueden emplear distintas fuentes renovables de energía. La elección de qué fuente utilizar, viene determinada por el tipo de energía primaria que el proceso de desalinización consume, de modo que por lo general las técnicas de desalinización térmicas emplean fuentes de energía térmicas. Estas fuentes pueden ser la solar o la geotérmica. Para el caso de la ósmosis inversa que es el más empleado en la Comunidad Valenciana, la electricidad que precisa el proceso puede ser obtenida con energía fotovoltaica o eólica.

A la hora de elegir un tipo de energía renovable u otro debemos de tener en cuenta:

- Los distintos tipos de fuentes renovables disponibles en el emplazamiento y la calidad de las mismas.
- El tamaño de la desaladora que hay que abastecer.
- La salinidad que tiene el agua con la que vamos a trabajar.
- La localización de la desaladora (Pérez et al 2005, pp. 106-121).
- La disponibilidad de personal cualificado para su operación y mantenimiento.

El método más empleado en la Comunidad Valenciana, la ósmosis inversa (Prats et al 2008). La ósmosis inversa es el sistema de desalinización en el que más se emplean las energías renovables, pero aun así se emplea en muy pocas plantas y cuando se hace la energía que se obtiene representa una proporción muy reducida con respecto a la que la planta emplea. De entre las posibles fuentes de energía renovables, se suele emplear la solar, fundamentalmente la fotovoltaica, seguida de la térmica. Pero por ahora se trata de instalaciones pequeñas para aplicaciones y localizaciones muy específicas.

El uso combinado de algunos procesos de desalinización y de energías renovables, y sobre todo en el caso de la energía solar térmica, presentan la ventaja de que no se ven sometidas a las pérdidas de rendimiento que se dan en la generación y transporte de la energía eléctrica, que pueden ser incluso superiores al 75%. Una ventaja de la energía solar es que geográficamente coinciden los lugares donde más escasez de agua hay con donde mayores son los recursos solares (zonas áridas). Aunque no necesariamente la aridez y la escasez de agua se dan simultáneamente, ya que la escasez depende de la disponibilidad de agua como recurso frente a la demanda existente.

Pese a la idoneidad ambiental de desalinizar agua empleando energías renovables, cabe señalar que existen ciertas limitaciones a este respecto. El primero de los problemas de combinar plantas de desalinización con energía solar es el mismo que nos encontramos con la eólica o cualquier otra energía renovable, y es que las desalinizadoras han sido diseñadas para trabajar con una fuente de energía prácticamente constante. De no ser así, surgen complicaciones en su operación y baja el rendimiento de la planta, esto nos da un nefasto contraste con las energías renovables (Barclay 1995). Para minimizar los efectos de esta incompatibilidad podemos emplear los siguientes métodos:

- Utilizar sistemas de almacenamiento energético, con el fin de disponer siempre de energía (el problema de este es que encarece la inversión)
- Emplear de forma combinada varias energías renovables como pueden ser la solar y la eólica, o bien complementar energías renovables con no renovables.
- Controlar de forma combinada del sistema de captación de energías renovables y de la desaladora.
- Almacenar el agua en acuíferos.

La segunda limitación del uso de las energías renovables en la desalinización consiste en el elevado coste de inversión que requieren (De la Cruz 2006). El hecho de emplear energías renovables en la desalinización nos

asegura unas menores emisiones de CO_2, pero el coste económico de inversión es muy elevado (Montaño 2008 b, pp. 2-5). De hecho, si se repercute directamente a la desalinizadora la amortización de los aerogeneradores necesarios para su funcionamiento, el coste por metro cúbico aumentaría, siendo por tanto poco viable en términos económicos.

Otro método que nos permite desalinizar agua sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera es la desalinización nuclear (Consejo Económico-Social Sindical Intercomarcal de la Costa alicantina 1972, página 95). Para llevar a cabo este proceso, puede hacerse uso de la energía térmica o eléctrica. Si el proceso es termodinámicamente reversible, el mínimo requerimiento de trabajo para poder desalar un agua de mar con 35.000 ppm de sólidos disueltos totales (SDT) es de aproximadamente 0,7 kWh/m^3. La diferencia fundamental de la desalinización nuclear con respecto de una desalinización térmica convencional reside en la fuente de energía. En las centrales nucleares se genera calor mediante la fisión de los núcleos de uranio dentro de un reactor.

En la actualidad, en nuestro país la energía nuclear no goza de buena aceptación social con lo cual el uso de estas fuentes energéticas para la desalinización es poco viable desde un punto de vista social, aunque este hecho podría cambiar en el futuro. Sin embargo, el tradicional uso de combustibles fósiles como puedan ser el petróleo, carbón, lignito o el gas natural como fuente de energía primaria para el proceso de desalinización genera un impacto medioambiental severo. Las emisiones de gases de la desalinización mediante combustibles fósiles contribuyen al efecto invernadero, a la lluvia ácida y al impacto térmico sobre los cauces. Por otro lado se generan una serie de residuos sólidos que contaminan el suelo. Ante este deterioro del medio ambiente se hace conveniente la búsqueda de vías alternativas de obtener la energía necesaria y que sean además menos contaminantes, como pueden ser la hidráulica, la mareomotriz, la biomasa, la geotérmica, la eólica, la solar y la nuclear. En el terreno de los costes ambientales, destacan las plantas hidroeléctricas pequeñas y las nucleares por ser aquellas que generan un menor impacto. Técnicamente cualquier tipo de reactor nuclear se podría

adaptar a una desalinizadora, pero son los reactores nucleares enfriados por agua los más recomendables por su estado de desarrollo y experiencia operacional (Flores 2004; pp. 34-41). En abril de 2004 funcionaban en el mundo 440 reactores nucleares distribuidos entre 31 países, disponiendo de una capacidad instalada de 361,6 GW(e), produciendo unos 2.570 TW(e)h de electricidad y contribuyendo con el 16% de la generación total de electricidad a escala mundial.

El acoplar una planta nuclear a una desalinizadora permite la cogeneración de electricidad y agua potable. Este acoplamiento se realiza mediante el intercambio de calor generado en el reactor nuclear y el proceso térmico de desalinización, a través de unidades intercambiadoras de calor, e interponiendo por cuestiones de seguridad entre el calentador de salmuera y el intercambiador de calor del reactor un circuito de transferencia de calor. Las plantas de MSF utilizan la energía del vapor proveniente del reactor a baja presión, mientras que las plantas de ósmosis inversa utilizan la potencia eléctrica generada en el reactor para el bombeo de agua salada (alta presión). Este acoplamiento se realizaría de un modo similar al de las plantas de cogeneración que utilizan combustibles fósiles. La opción de acoplar un reactor nuclear en cogeneración, produciendo electricidad y vapor de proceso para la desalinizadora, a un sistema híbrido de desalinización, se puede realizar tanto con plantas MSF o MED combinadas con plantas de Ósmosis Inversa. La complementación entre dos tipos de plantas desalinizadoras ofrece ventajas técnicas y también ventajas económicas, en comparación a las desalinizadoras individuales. La evidencia es tal que no solo es atractiva esta opción, sino que se convierte en una necesidad a medida que la planta adquiere una gran capacidad. El introducir una planta de Ósmosis Inversa ofrece ventajas en tanto en cuanto hace posible la obtención de producto de diferentes calidades, en función del uso que le queramos dar. ¿Qué procesos debemos combinar? La respuesta a esta pregunta ha de emanar de las necesidades particulares de la demanda así como de la disponibilidad de electricidad.

La desalinización nuclear ofrece una solución para evitar las emisiones de CO_2 en las plantas de desalinización. Salvo diseños más avanzados como los de una planta híbrida, se obtiene una reducción de los costes al emplear plantas térmicas cuando el abastecimiento se hace mediante energía nuclear (Flores 2004; pp. 34-41). Cabe recordar, que las plantas térmicas tienen unos rendimientos de escala crecientes más altos que en las de membranas. Por tanto, para aprovechar al máximo estos rendimientos, las desalinizadoras que se abastecen de energía nuclear tienen una gran capacidad.

Como hemos visto, es posible desvincular a la desalinización de las emisiones de CO_2, bien recurriendo a las energías renovables o a la energía nuclear. Sin embargo, el hecho de liberarnos de las emisiones de CO_2, tiene el coste de incurrir en otros problemas. Si se abastece a las desalinizadoras mediante energías renovables, los costes aumentan significativamente, debido a que es necesaria una gran inversión, tanto si se opta por la energía solar como por la eólica o cualquier otra. Por otro lado, con la energía nuclear, no se incurre en las indeseables emisiones de CO_2, pero este sistema implica otros riesgos ambientales bien conocidos. Es compleja la discusión de si es más conveniente en términos medioambientales el uso de energías extraídas de combustibles fósiles o la nuclear, pero está claro que se trata de asumir uno u otro tipo de contaminación (Cook 1989). Paralelamente a esta discusión, en España las empresas y el Gobierno han mostrado voluntad de reducir las emisiones que derivan de la desalinización. Ante la incertidumbre y los costes de abastecer las plantas con energías renovables que son demasiado altos, junto a que la energía nuclear está sujeta a un gran rechazo social en nuestro país, los esfuerzos se han centrado en reducir el consumo energético. La inversión de las empresas españolas de desalinización para aumentar la eficiencia ha posibilitado a largo plazo que posean una gran competitividad respecto a las empresas del extranjero, de modo que la internacionalización aparece como una oportunidad y una estrategia común para las empresas españolas de desalinización.

Vemos que la hipótesis que nos planteábamos es cierta, ya que es posible desalinizar agua sin incurrir en las emisiones de CO_2, lo que implica que la desalinización no tiene por qué tener asociadas dichas emisiones[53]. Sin embargo, tal y como establecíamos en nuestra hipótesis, para evitar el coste ambiental que deriva de estas emisiones, hemos de incurrir, o bien en otro tipo de costes ambientales como los ligados a la energía nuclear, o bien en mayores costes económicos como sucede con las energías renovables.

[53] Del mismo modo que se pueden llevar a cabo diversas actividades que consumen energía sin emitir CO_2, pues dicha emisión depende del modo en que se obtenga la energía y no tanto del consumo de la misma.

2.7.- Las externalidades positivas de la desalinización

España es uno de los países líderes en el uso de la desalinización, pero destaca en especial por la competitividad de las empresas de desalinización. La inversión llevada a cabo en España ha generado efectos positivos tanto sobre la experiencia de las empresas nacionales, como sobre la generación de empleo y el PIB. Obviamente el principal efecto positivo de la desalinización es el disponer de agua dulce, pero en este punto vamos a analizar las externalidades positivas, es decir aquellos efectos externos que pese a ser beneficiosos no son el motivo por el cual se lleva a cabo la inversión de una desalinizadora.

2.7.1.- El aumento de la competitividad de las empresas españolas de desalinización

La demanda de agua desalinizada en nuestro país se vio dinamizada con el Programa A.G.U.A., en el que se contemplaba realizar una inversión de 3.798 millones de euros en la que la desalinización era la apuesta principal[54]. En las licitaciones llevadas a cabo en este programa las exigencias técnicas y ambientales eran elevadas, de modo que las empresas debían incrementar su eficiencia técnica y ambiental para ser competitivas y adjudicarse la construcción y explotación de las plantas programadas.

Las empresas españolas de tratamiento de agua han mejorado considerablemente su productividad y eficiencia. Por tanto la inversión en desalinización que se ha llevado a cabo en nuestro país, dinamizada con la puesta en marcha del Programa A.G.U.A. ha generado una externalidad

[54] Buena parte de las actuaciones e instalaciones que se preveía que funcionasen en el 2008 todavía no estaban acabadas en 2011.

positiva en tanto en cuanto ha incentivado a las empresas españolas a ser más competitivas, lo que ha derivado en un sólido proceso de internacionalización. Estando las empresas españolas de tratamiento de agua entre las más competitivas del mundo, han llevado a cabo un fructífero proceso de internacionalización en el que han resultado adjudicatarias de numerosos proyectos en países como Argelia, Túnez, Egipto o Australia entre otros. Por tanto, podemos hablar de la internacionalización de las empresas españolas de desalinización como una externalidad positiva de la elevada demanda de agua desalinizada en nuestro país. El proceso llevado a cabo en el extranjero por empresas como Befesa, Acciona Agua o Sadyt entre otras será analizado minuciosamente en los próximos capítulos.

2.7.2.- Creación de empleo y riqueza.

La inversión en una o en un conjunto de plantas de desalinización genera un efecto positivo directo sobre el empleo ya que para la construcción y explotación de la misma hacen falta trabajadores.[55] Por otro lado también se genera empleo indirecto, este puede aproximarse mediante las tablas input-output. El principal problema de la estimación del empleo indirecto generado a partir de las tablas input-output es que dichas tablas están en cierto sentido desactualizadas, ya que la versión más actualizada de estas es de 2005. Cuando calculamos mediante las tablas input-output los efectos indirectos sobre el empleo de una inversión que se ha llevado a cabo en el año 2009, no estamos suponiendo que la estructura productiva del año 2009 es la misma que la de 2005, lo sería obviamente falaz. Sin embargo, pese al sesgo de la estimación que podemos obtener a partir de las tablas input-output, este método de estimación del empleo directo e indirecto generado es el más fiable. A partir de las tablas input-output vamos a analizar la creación de empleo directo e indirecto que ha generado el Programa A.G.U.A..

2.7.2.1.- Creación de empleo del Programa A.G.U.A. en las Cuencas Mediterráneas

La inversión de este programa en las Cuencas Mediterráneas asciende a unos 3.798 M€ (IVA incluido) de acuerdo con el "Informe de Sostenibilidad Ambiental, Actuaciones urgentes del Programa A.G.U.A. en las Cuencas Mediterráneas, Anexo IV, Actuaciones urgentes por el Gobierno en las Cuencas Mediterráneas", esta inversión se planificó en 2005[56]. Así, para

[55] La creación de empleo no es algo especial puesto que es lo mismo que ocurre en otros procesos industriales, pero en este trabajo vamos a medir la creación de empleo de este sector.

[56] Aunque la desalinización es la partida con una mayor inversión en proporción, no es la única dentro de este Programa.

obtener el presupuesto neto de ejecución a la cifra de 3.798 M€ se le debería detraer el IVA: 3.798 M€ / 1,16 = 3.274,14 M€

Ahora cabe desglosar esta inversión en el periodo de ejecución de las Actuaciones Urgentes en la Cuenca Mediterránea. Para ello, contamos con el plazo oficial de ejecución de las obras que, de acuerdo con el Punto número 5 "Definición de Alternativas" correspondiente al citado "Informe de Sostenibilidad Ambiental", se deberían ejecutar entre 2005 y 2008. Sin embargo, tal y como es habitual en este tipo de programas, su cumplimiento no se ajusta a los plazos previstos, ya que son diversas las obras que todavía a finales de 2009 continuaban sin finalizarse. En el cuadro 2.17 podemos ver las inversiones y fechas previstas de las "Actuaciones Urgentes del Programa AGUA en las Cuencas Mediterráneas":

Cuadro 2.17: inversiones anuales de las obras del Programa A.G.U.A. en las cuencas mediterráneas (millones de €)

Año	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**TOTAL**
Inversión	98,22	163,7	327,41	720,3	982,24	654,82	327,41	3.274,14

Fuente: Elaboración propia a partir de www.mma.es

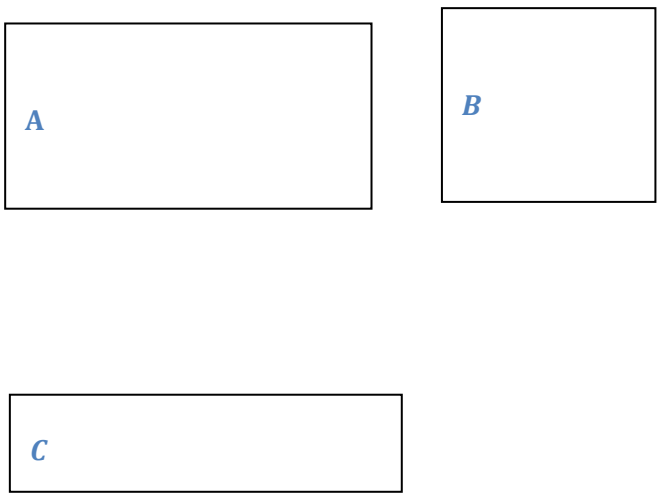
A partir de la inversión podemos estimar el empleo generado tanto directo como indirecto, es decir, el número de empleados directamente en la ejecución de las obras y el indirecto generado en otros sectores productivos como consecuencia de los efectos de arrastre generados por la ejecución de esa obra. Para cuantificar el empleo directo se puede optar por otra metodología que es preguntar a las empresas constructoras acerca del personal contratado para llevar a cabo la obra, pero los datos facilitados pueden ser poco fiables por diversos motivos[57]. Es por ello que se ha desechado esta alternativa y se ha optado por utilizar la metodología basada

[57] Las empresas del sector de la construcción de desalinizadoras operan con diversas subcontratas, lo que hace que el conocimiento final que pueden tener acerca del personal que ha trabajado en la obra estará sesgado. A esto se suma el hecho de que en el sector de la construcción existe una alta proporción de empleo irregular.

en el análisis de la Tabla Input-Output nacional, presentada por primera vez por Wassily W. Leontief en su obra “La estructura de la economía americana 1919-1939” (Leontief 1941)

La Tabla Input-Output describe el funcionamiento de un sistema productivo acotado en el espacio y en un momento histórico determinado (Domingo et al 1990 y Ferrer 2009). Esta Tabla está compuesta por las siguientes partes (gráfico 2.28)[58]:

Gráfico 2.28: partes constituyentes de la tabla input-output



A: En el cuerpo central de la tabla se recogen las relaciones entre las distintas ramas de actividad. En el caso de la Tabla Simétrica Input-Output 2005 (TSIO-2005), que será la que se utilice, 73 ramas de actividad. La Tabla Simétrica Input Output 2005 es la más actualizada de las disponibles en 2010, esto supone un sesgo respecto a las conclusiones que puedan extraerse.

B: esta parte de la tabla está compuesta por los distintos vectores de demanda final (consumo privado, consumo público, formación bruta de capital y exportaciones). La suma de la demanda intermedia la final permite obtener los empleos totales.

C: La parte de la Tabla situada hacia abajo proporciona el conjunto de vectores correspondientes a los denominados inputs primarios (Consumos intermedios a precios de adquisición, valor añadido bruto a precios básicos e importaciones.)

El análisis Input-Output se basa en determinadas hipótesis acerca de la naturaleza de las relaciones entre los diversos sectores productivos, el ajuste de las relaciones entre sectores presentado en la tabla y la realidad disminuye a medida que la distancia temporal aumenta[59]. Es decir, la estimación para el año 2005 es bastante realista ya que coincide con el año en el que se elaboró la tabla, pero la estimación para el año 2010 se ajusta menos a la realidad.

Cabe señalar que la edificación tiene requerimientos de empleo superiores a los de la obra civil debido a la mayor manualización en el proceso de acabado de viviendas y otro tipo de edificios. En cualquier caso, y pese a las limitaciones de esta metodología, se utilizarán estas Tablas para estimar esa generación de empleo directo e indirecto. En primer lugar vamos a calcular el empleo directo e indirecto generado por la inversión de un millón de euros invertidos en el sector de la construcción (incremento de una unidad en la demanda final del sector de la construcción), lo que también se conoce como el multiplicador de empleo tipo I que viene dado por la siguiente expresión (Domingo et al 1990):

ME_j (Tipo I) = $\sum$ (i=1 $\rightarrow$ n) $l_i * A_{i,j}$; j= (1, 2,..., n)

[59] La Tabla Simétrica Input-Output (TSIO) dispone de su última actualización en el año 2005, año en que comenzaron las Actuaciones Urgentes del Programa AGUA en las Cuencas Mediterráneas, pero el problema en este sentido es que las estimaciones para los años 2009 o 2010 tienen una menor fiabilidad ya que la estructura de la economía no es estable. Un inconveniente, es que la TSIO-2005 no distingue dentro del sector de la construcción entre las obras correspondientes a obra civil y edificación, y mucho menos, en el ámbito de la obra civil, entre obras de carreteras, ferrocarriles o hidráulicas.

Donde:

ME_j (Tipo I): Multiplicador de empleo tipo I del sector j.

$l_i = L_i / X_i$: Coeficiente de trabajo o de empleo, donde L_i es el total de empleo del sector i y X_i es el output del sector i.

$\sum$ (i=1 $\rightarrow$ n) $A_{i,j}$: Es el incremento directo e indirecto en el output debido al incremento de una unidad en la demanda final del sector j.

Para nuestro análisis vamos a analizar el efecto que tiene sobre el empleo una inversión en construcción, por lo que j=40. El valor de n según el número de ramas de actividad incluidas en la TSIO-2005 será de 73. En consecuencia, el multiplicador de empleo tipo I del sector de la construcción (código de rama de actividad número 40) de acuerdo con la TSIO-2005 será:

ME_{40} (Tipo I) = $\sum$ (i=1 $\rightarrow$ 73) $l_i * A_{i,40}$; j=40

En los cuadros 7.2 y 7.3 del anexo se recogen estos resultados[60]. La conclusión que obtenemos es que una inversión anual total de un millón de euros en la construcción de plantas de desalinización genera 21,56 empleos de los cuales 13,87 son directos (ocupados en el propio sector de la construcción) y el resto –7,69– son indirectos, es decir, el efecto de arrastre del sector de la construcción sobre otros sectores productivos.

[60] El cuadro 7.2 muestra los empleos y output por rama de actividad en la economía española en 2005. El cuadro 7.3 empleo directo e indirecto generado en la economía española por una inversión de un millón de euros en el sector construcción (2005).

A partir de las cifras de empleo directo e indirecto generado por cada millón de euros invertidos en el sector de la construcción y de la inversión total y anual según las obras del Programa A.G.U.A., podemos estimar la generación de empleo total y anual en función del ritmo estimado de ejecución de las obras. El cuadro 2.18 recoge los resultados del total de empleos generados.

Cuadro 2.18: empleo directo e indirecto generado por las Actuaciones Urgentes del Programa A.G.U.A. en las cuencas mediterráneas.

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEO GENERADO DIRECTO E INDIRECTO ACTUACIONES URGENTES AGUA (3.274,14 M€)
Agricultura, ganadería y caza	1	126
Selvicultura y explotación forestal	2	129
Pesca y acuicultura	3	2
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4	38
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	5	3
Extracción de minerales metálicos	6	6
Extracción de minerales no metálicos	7	326
Coquerías, refino y combustibles nucleares	8	19
Producción y distribución de energía eléctrica	9	84
Producción y distribución de gas	10	22
Captación, depuración y distribución de agua	11	52
Industria cárnica	12	5
Industrias lácteas	13	1
Otras industrias alimenticias	14	16

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEO GENERADO DIRECTO E INDIRECTO ACTUACIONES URGENTES AGUA (3.274,14 M€)
Elaboración de bebidas	15	4
Industria del tabaco	16	0
Industria textil	17	107
Industria de la confección y la peletería	18	129
Industria del cuero y del calzado	19	7
Industria de la madera y el corcho	20	897
Industria del papel	21	132
Edición y artes gráficas	22	328
Industria química	23	320
Industria del caucho y materias plásticas	24	456
Fabricación de cemento, cal y yeso	25	253
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	26	133
Industrias de la cerámica	27	639
Fabricación de otros productos minerales	28	1.665
Metalurgia	29	686
Fabricación de productos metálicos	30	2.763
Maquinaria y equipo mecánico	31	733
Máquinas de oficina y equipos informáticos	32	23
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	33	508
Fabricación de material electrónico	34	67
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	35	12
Fabricación de vehículos de motor y remolques	36	71
Fabricación de otro material de transporte	37	22
Muebles y otras industrias manufactureras	38	488
Reciclaje	39	84

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEO GENERADO DIRECTO E INDIRECTO ACTUACIONES URGENTES AGUA (3.274,14 M€)
Construcción	40	45.419
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	41	796
Comercio al por mayor e intermediarios	42	2.303
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	43	1.311
Alojamiento	44	201
Restauración	45	41
Transporte por ferrocarril	46	20
Transporte terrestre y transporte por tubería	47	1.974
Transporte marítimo	48	15
Transporte aéreo y espacial	49	24
Actividades anexas a los transportes	50	628
Actividades de agencias de viajes	51	66
Correos y telecomunicaciones	52	370
Intermediación financiera	53	535
Seguros y planes de pensiones	54	79
Actividades auxiliares	55	107
Actividades inmobiliarias	56	213
Alquiler de maquinaria y enseres domésticos	57	621
Actividades informáticas	58	117
Investigación y desarrollo	59	130
Otras actividades empresariales	60	3.611
Educación de mercado	61	182
Sanidad y servicios sociales de mercado	62	95
Saneamiento público de mercado	63	68

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEO GENERADO DIRECTO E INDIRECTO ACTUACIONES URGENTES AGUA (3.274,14 M€)
Actividades asociativas de mercado	64	40
Actividades recreativas, culturales y deportivas	65	246
Actividades diversas de servicios personales	66	34
Administración pública	67	0
Educación de no mercado	68	0
Sanidad y servicios sociales de no mercado	69	0
Saneamiento público de no mercado	70	0
Actividades asociativas de no mercado	71	0
Actividades recreativas y culturales de no mercado	72	0
Hogares que emplean personal doméstico	73	0
		70.602

Fuente: Elaboración propia a partir de Tabla simétrica nacional Input-Output 2005

Desglosando esa generación total de empleo entre empleos directos e indirectos y por anualidades se obtiene los resultados que concreta el Cuadro 2.19:

Cuadro 2.19: empleo directo e indirecto generado por las obras del Programa A.G.U.A. en las cuencas mediterráneas

AÑO		**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**TOTAL**
EMPLEOS/AÑO	**DIRECTO**	1.363	2.271	4.542	9.992	13.626	9.084	4.542	45.418
	INDIRECTO	755	1.259	2.518	5.540	7.555	5.037	2.518	25.183
	TOTAL	2.118	3.530	7.060	15.532	21.180	14.120	7.060	70.601

Fuente: Elaboración propia.

A la vista del análisis realizado, podemos concluir que una desalinizadora genera además de las externalidades negativas una importante externalidad positiva, ya que genera riqueza y empleo. Por un lado se crean puestos de trabajo vinculados directamente a la construcción de las desalinizadoras. Por otro lado, se generan puestos de trabajo indirectos en otros sectores a causa de los efectos de arrastre de dicha inversión.

2.8.- Conclusiones del capítulo

Este capítulo tiene como objetivo explicar qué es la desalinización. Nosotros nos hemos centrado en especial en los aspectos más estrechamente vinculados a lo económico. Aunque fue en la década de los sesenta cuando la desalinización comenzó a emplearse a gran escala, hemos visto que existen referencias a este proceso ya desde el siglo V antes de Cristo.

Cuando la desalinización comenzó a utilizarse eran los sistemas térmicos los más empleados, entre otros motivos porque los sistemas de membranas presentaban problemas tales como un consumo energético muy elevado y un desgaste elevado de las membranas que obligaba a reponerlas con mucha frecuencia. La duración de las membranas se alargó considerablemente y el consumo energético se redujo gracias al empleo de sistemas de recuperación de energía, con lo que los sistemas de membranas comenzaron a emplearse mayoritariamente en la década de los ochenta. En España, la desalinización ha tenido una gran importancia debido los desequilibrios hídricos presentes en las islas y en el litoral mediterráneo. Por tanto siempre hemos sido un país relativamente avanzado en materia de desalinización pues la escasez hídrica dado el marco jurídico y de precios nos ha forzado a buscar soluciones no convencionales para incrementar nuestra disponibilidad de agua. Sin embargo, la puesta en marcha del Programa A.GU.A. en el año 2004 marca un antes y un después en cuanto a la importancia de la desalinización en España. Con la puesta en marcha de este Programa se tomo la desalinización como la principal vía para incrementar las disponibilidades hídricas, derogando incluso obras previamente planteadas como el trasvase del Ebro. La influencia del Programa A.G.U.A. trasciende más allá de la capacidad instalada, también generó un incremento de la competitividad de un grupo de empresas españolas de desalinización, que son en la actualidad líderes mundiales en materia de desalinización.

Por el lado de la demanda, cabe destacar que la mayor parte del agua que se desaliniza tanto en España como en el mundo es consumida para el abastecimiento urbano. En cuanto al consumo agrícola cabe destacar que es el segundo en el que más agua desalinizada se consume. Esto contrasta con el hecho de que el sector agrícola es el que más recursos hídricos consume, pero en el caso del agua desalinizada hemos de tener en cuenta que el precio de este recurso, en caso de cobrarse al agricultor lo que cuesta, es muy caro y hace que muchos cultivos no sean rentables. Por tanto, solo los cultivos más eficientes pueden permitirse emplear agua desalinizada. Otra posibilidad cuya práctica siempre está presente de algún modo es el establecer un sistema de precios que subvencione el agua destinada a riego, pero esto va en contra de las directrices marcadas por la Directiva Marco.

Del análisis que hemos realizado sobre el coste energético de los distintos procesos, podemos extraer como conclusión que la ósmosis inversa es por lo general es sistema más eficiente. Ahora bien, si vamos a tratar un agua salobre que cumple con ciertos requisitos químicos puede ser más eficiente emplear la electrodiálisis. Sin embargo, si nos centramos en el coste económico y no tanto en el consumo energético, el sistema menos costoso consiste en emplear sistemas térmicos que tomen la energía residual de los procesos de generación de energía como pueden ser plantas térmicas, procesos de refinado de petróleo o plantas nucleares. Es por ello que hemos obtenido entre los resultados que los sistemas térmicos de desalinización son más eficientes en costes que los de membranas en algunas áreas geográficas. Sin embargo, esto es gracias a que esa energía residual que emplean no tiene un precio ya que no tiene un consumo rival, pero cabe matizar que si lo que tenemos en cuenta es el consumo energético necesario para desalinizar agua de mar, la ósmosis inversa es el sistema más eficiente. Por tanto nuestra hipótesis de que la ósmosis inversa es el sistema más eficiente en términos energéticos para tratar agua de mar se confirma con matices. Los sistemas térmicos que emplean energía residual permiten obtener agua desalinizada a un menor coste, pero pese a ser residual el consumo de energía de estos

sistemas sigue siendo elevado, de modo que podemos decir que no se trata de un modo más eficiente de desalinizar agua en términos energéticos, sino de un modo menos costoso de abastecer energéticamente a la planta.

En cuanto a la antigüedad de la planta, hemos comprobado que a medida que esta aumenta, el coste de explotación es mayor. Sin embargo, se da la excepción de que hay plantas térmicas muy antiguas que son mucho más eficientes en costes que las nuevas. Esto es debido a dos factores, en primer lugar que este tipo de procesos tienen unos rendimientos de escala muy acusados, por lo que una planta más vieja y grande, puede ser más eficiente que una más nueva y pequeña; en segundo lugar se debe a que muchas plantas térmicas antiguas emplean energía residual, mientras que en las nuevas es menos frecuente dado que donde se podía aplicar este método ya se ha hecho. Por otro lado, hemos comprobado que para todos los sistemas de desalinización, cuanto mayor es la capacidad de la planta, menores son los costes de explotación por metro cúbico, siempre que el caudal tratado sea consistente con dicha capacidad. También en relación a la capacidad, hemos visto que a medida que la capacidad instalada en un país aumenta, disminuyen los costes debido a la mayor experiencia acumulada. Otra variable que influye en gran medida sobre los costes de inversión y explotación es el tipo de agua que se vaya a tratar, es decir en función de los parámetros químicos de esta el proceso será más o menos costoso. La distinción más habitual que se hace de tipos de agua es si es salobre o de mar, pero dentro de estas dos clasificaciones hay diversos parámetros químicos que influyen en los costes del proceso, como pueda ser el grado de salinidad o la temperatura entre otros.

Hay un factor tan importante como lo que nos cuesta desalinizar el agua que es el envío hasta su punto de consumo. Este coste es mayor a medida que la distancia horizontal entre el punto de consumo y el de producción aumenta siendo mayor la influencia sobre el coste de la distancia vertical. Por otro lado, el material de las conducciones que transportan el agua es otra variable que afecta a los costes de envío del agua, siendo las de material sólido las que

menores costes presentan, seguidas de las rocosas y por último de las arenosas que son las menos eficientes.

Finalmente en el capítulo hemos analizado las principales externalidades de la desalinización tanto positivas como negativas. Las principales externalidades negativas de la desalinización son las emisiones de CO_2, el impacto que pueda tener el vertido de la salmuera, el impacto visual que genere la planta y los posibles efectos que puedan derivarse del uso del agua desalinizada para riego. Uno de los objetivos en la planificación y explotación de una planta de desalinización es la minimización de su impacto ambiental, para ello se tiende a ubicar la planta en un emplazamiento que no genere un gran impacto visual, se emplean emisarios submarinos o sistemas de difusión de la salmuera cuando es necesario y se toman las precauciones adecuadas para paliar los efectos nocivos del riego con esta agua. Sin lugar a dudas, las emisiones de CO_2 que están vinculadas al consumo energético de la desalinización son una de las externalidades negativas a minimizar, no obstante este problema no es específico de este proceso en concreto sino de cualquier actividad que implique un consumo energético. El impacto de estas emisiones puede disminuirse empleando energía nuclear o renovable, claro que tenemos que asumir o bien un elevado coste de inversión en el caso de la renovable u otro tipo de externalidades ambientales en el caso de la nuclear.

En cuanto a las externalidades positivas, se les ha dado una menor cobertura mediática que a las negativas. La gran inversión en desalinización que se ha realizado en España ha generado un sector empresarial fuerte y competitivo que se ha expandido en el mercado internacional, este efecto será analizado en posteriores capítulos. Por otro lado, la inversión que se ha llevado a cabo en España en materia de desalinización, ha generado una importante creación de empleo de un modo directo e indirecto. Para cuantificar este efecto hemos aplicado la metodología de las tablas input-output para medir el impacto del Programa A.G.U.A. sobre el empleo y hemos obtenido que en el periodo

que va desde 2005 a 2011 ha generado 45.418 empleos directos y 25.183 empleos indirectos (son puestos de trabajo cuya duración es de un año, es decir no es empleo permanente puesto que su función es la construcción de las plantas y esta es temporal).

Por tanto en este capítulo hemos explicado que es la desalinización, centrándonos en su marco histórico, en las principales características técnicas y económicas. Ahora nos preguntamos, ¿Cuál debe de ser papel de la desalinización en un modelo óptimo de gestión conjunta de los recursos hídricos? Es decir, existen otros recursos hídricos, como las aguas superficiales, las procedentes de trasvases o las subterráneas. La cuestión es, si tenemos diversos tipos de demanda de recursos hídricos y diversos recursos que constituyen la oferta, ¿Qué criterios debo aplicar para abastecer a una demanda y con cuál recurso debo hacerlo? Con el objetivo de responder estas preguntas vamos a iniciar el análisis de esta cuestión en el capítulo siguiente.

3.- Análisis del papel de la desalinización en la gestión integrada de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica

El punto óptimo en la gestión integrada de los recursos hídricos pasa por abastecer las distintas demandas hídricas existentes con los recursos disponibles, tratando de minimizar el coste económico y ambiental y al mismo tiempo maximizando la utilidad del consumo del agua. La desalinización de agua de mar y salobre se presenta hoy como una de las posibles soluciones de oferta a los desequilibrios hídricos, gracias a la disminución de sus costes a causa del progreso tecnológico. Pero el incremento de la oferta de recursos hídricos debe de ir acompañado de una optimización de la demanda, para llegar a esta es necesario un adecuado reparto de los derechos del agua y un mercado que articule el precio del recurso, llevando a la oferta y la demanda de recursos hídricos a un punto de equilibrio eficiente.

La desalinización no es la única solución posible a la falta de agua en España, pues existen otros medios de obtener recursos hídricos en las zonas de mayor escasez, como pueden ser la depuración y reutilización o los trasvases (Montaño et al 2010, pp. 1346-1358; Oficina Económica del Presidente 2005). Si comparamos el coste de la desalación nos damos cuenta de que es mayor que el de la reutilización o que el de algunos trasvases eficientes como el trasvase Tajo-Segura. Pero la desalinización cuenta, por otra parte, con una ventaja, el acceso al agua del mar para aplicarle el proceso y convertirla en agua dulce está prácticamente garantizado. Pero, a causa de los elevados costes energéticos y en consecuencia económicos, la desalinización no debe de ser entendida como una panacea ante la escasez de recursos hídricos en España. El estudio de las características del sistema de funcionamiento de las variables que afectan a la demanda y la oferta de agua,

ha sido tradicionalmente enfocado como un problema físico. Pero la sostenibilidad de estos espacios depende tanto de la evolución de las demandas y sus expectativas de crecimiento como de la posibilidad y coste de obtener recursos adicionales dentro del sistema de explotación. En España la solución a este problema ha pasado tradicionalmente por la concesión de derechos sobre el agua. Existe un predominio en cuanto al disfrute de estos derechos por parte de las comunidades de regantes, en los últimos años estas concesiones y derechos consuetudinarios se han puesto en cuestión. La gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos es el método más eficiente para intentar colmar las aspiraciones de todos los agentes (Torregrosa y Sevilla 2008, pp. 1-4).

La Directiva 2000/60/CE, más conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), toma como objetivo el establecer un marco comunitario para la protección de las aguas superficiales continentales, de transición, costeras y subterráneas con el fin de promover un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles; mejorar el medio acuático mediante medidas específicas tales como la supresión gradual de los vertidos y las pérdidas de sustancias peligrosas; garantizar la reducción progresiva de la contaminación del agua subterránea, evitando nuevas contaminaciones; contribuir a paliar los efectos de las inundaciones y las sequías.

Desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA), ha cambiado el modo de gestionar los recursos hídricos en España. La evolución se orienta hacia una mayor protección de las masas de agua y una gestión más sostenible en términos ambientales. La DMA cambia las perspectivas de análisis respecto a la gestión de los recursos hídricos. Su aplicación no es plena, aunque se tiende poco a poco hacia ella, e implica una nueva manera de entender la gestión de los recursos. La internalización de los costes ambientales altera en gran medida la planificación y gestión de una desalinizadora. A menudo es necesario tomar medidas concretas para evitar

determinadas externalidades negativas de una desalinizadora, esto repercute directamente sobre el coste de del metro cúbico de agua desalinizada.

El análisis económico es una herramienta fundamental para elaborar los programas de objetivos y prevenir el deterioro ambiental los recursos hídricos. La DMA pretende cambiar el hecho de que la planificación hidrológica se base en el diseño, construcción y explotación de infraestructuras con el fin abastecer la demanda de agua, dejando de lado por lo general estructuras de precios eficientes (OCDE 1987; OCDE 1999, pp. 17-37; Strand 2001, pp. 237-258). Por el agua se cobran precios bajos que no generan incentivos al consumo eficiente. Los principales condicionantes a la hora de llevar a cabo una obra hídrica son la restricción presupuestaria, la población y la actividad económica. Este es un modelo de oferta o “incrementalista” cuyo objetivo es satisfacer la demanda incrementando la oferta, este se está complementando con un modelo conocido como “water conservation” basado en mecanismos de gestión económica y social del agua. La perspectiva “water conservation” se recoge en la DMA incorporando una perspectiva ecológica y la necesidad de satisfacer las necesidades hídricas de un modo compatible con eficiencia económica y la eficacia ambiental (Maestu y del Villar 2007). Vamos a analizar los principios básicos de la DMA para entender mejor los cambios que se han dado a partir de su implantación.

Uno de los principios básicos de la DMA es el de no deterioro y alcance del buen estado integral de las masas de agua superficiales y subterráneas. Es decir, surge la necesidad de limitar los usos, vertidos o actividades que afectan al medio hídrico de un modo directo o indirecto (Ruiz 2000), según el medio receptor y su capacidad de soportar dichos impactos, teniendo en cuenta en cada momento la estructura y funcionamiento de los ecosistemas hídricos alterados. Esto implica que los sistemas acuáticos deben caracterizarse y tipificarse para ajustar mejor el programa de control y diagnosis, y el modelo de gestión sobre el sistema.

Otro de los principios básicos de la DMA es el del enfoque combinado de la contaminación y la gestión integrada del recurso. En este sentido, la directiva recoge los objetivos y finalidades de directivas anteriores y los reúne en una visión integradora de los sistemas que se deben analizar. Los sistemas acuáticos se enfocan desde un punto de vista ecosistémico. Las limitaciones en el uso del agua, los vertidos o las actividades que pueden generar un impacto sobre los ecosistemas acuáticos se realizan a partir de un análisis integrado del medio. En este análisis integrado se consideran los elementos físico-químicos adecuados para el mantenimiento de una buena calidad. Se prevé el uso de los principales elementos naturales que lo conforman y la calidad de la estructura (hábitat) que lo soporta. La unidad o parte del sistema hídrico sobre la que se elabora la gestión integrada, el programa de control y el programa de medidas para el alcance y mantenimiento del buen estado ecológico se denomina “masa de agua”.

Por otro lado la DMA aplica el principio de recuperación de costes de los servicios relacionados con el agua y el uso de los espacios acuáticos. Se introduce por tanto el concepto de plena recuperación de los costes, incluyendo en este sentido los costes ambientales y los costes de oportunidad del recurso. Por tanto se debe recuperar el coste asociado al mantenimiento sostenible del buen estado de salud de los ecosistemas asociados. Sobre la base de este principio se debe repercutir el coste del agua sobre el beneficiario o titular de la actividad causante del coste[61].

La aplicación de la DMA implica también la aplicación del principio de participación pública y transparencia en las políticas del agua. En este sentido, la gestión de los recursos y los programas de medidas se deben elaborar mediante la participación y el consenso social. Para ello será necesario

[61] Ver Directiva Marco del Agua (2000/60/CE)

emplear mecanismos de participación ciudadana con una total transparencia pública.

Por tanto, desde la puesta en vigor de la DMA la gestión de los recursos hídricos se articula de un modo más racional, tratando de maximizar la eficiencia en la gestión integral. Ello implica que a la hora de emplear unos u otros recursos hídricos no solo se tiene en cuenta la demanda existente, sino también los costes de construcción y explotación, los costes ambientales y sociales. Por otro lado la DMA prioriza la conservación de la masa de agua y la preservación de los ecosistemas, habiendo de evitar por tanto el deterioro de estos y siendo necesaria la internalización de los costes ambientales y sociales cuando estos se produzcan.

3.1.- Recursos hídricos sustitutivos y complementarios: el caso de la desalinización.

El objetivo de este apartado es analizar desde una óptica económica en qué medida un recurso hídrico puede ser considerado estrictamente preferible a otro y por tanto sustitutivo. En España existe un gran debate en torno al agua, con posturas extremas a favor y en contra de la desalinización (Bosque 2008).

La escasez de recursos hídricos en España no es homogénea, pero si bien es cierto que en términos medios, nuestro país posee una dotación inferior de metros cúbicos de agua por habitante que Europa; el problema es aún más grave si tenemos en cuenta que los recursos hídricos en España no están equidistribuidos (Morales et al 1999, pp. 9-15). Existen zonas en las que los problemas debidos a la escasez de agua son extremos, en especial en la franja mediterránea de la península y en las Islas Canarias. En las Islas Canarias los recursos superficiales y subterráneos son muy escasos y hablar de depuración es equivalente a hablar de desalación, además en éstas islas españolas se ha desarrollado un mercado del agua diferenciado con respecto a la península, que se sostiene por un simple y contundente motivo, ha conseguido garantizar durante muchos años abastecer a la demanda de recursos hídricos (Custodio y Cabrera 2002, pp. 247-253).

Ante la escasez hídrica que sufre buena parte del territorio español, es necesario recurrir a las aguas superficiales y subterráneas, siendo estas entendidas como recursos convencionales; pero es a su vez imprescindible recurrir a los recursos no convencionales que son la reutilización de aguas residuales y la desalinización (Olcina y Rico 1999, pp. 203-252 y Balairón 2000). Debido a la sensibilidad social ante la escasez hídrica, este tema se ha convertido en un debate político de gran repercusión en España. Este debate se ha radicalizado y polarizado, alejándose de la realidad y pretendiendo

ofrecer soluciones complejas a problemas cuya resolución es relativamente sencilla.

Del análisis físico de este problema se desprende la idea de que los recursos superficiales deben de ser empleados en primer lugar seguidos de los subterráneos evitando la sobreexplotación de los acuíferos. Una vez agotados los recursos convencionales, el debate se centra en qué recurso no convencional es el mejor, acudiendo por intereses políticos a los extremos, que poco o nada tienen que ver con la solución real. Pero además del criterio de disponibilidad física debemos tener en cuenta el marco jurídico y el sistema de precios que regula el recurso. Para entender cuál es el punto óptimo en la gestión de los recursos hídricos es necesario basar el análisis en las que denominaremos "las tres características básicas de los recursos hídricos", vamos a ejemplificar con recursos no convencionales estas características[62]:

- La primera de las características a tener en cuenta es la **seguridad de acceso al agua que nos ofrece el recurso**. En este sentido, un trasvase como puede ser el Tajo-Segura es dependiente de la publiometría que se experimente en la cuenca hidrográfica cedente (en este caso la Cuenca Hidrográfica de Tajo), del mismo modo los recursos subterráneos están correlacionados con los niveles de lluvia. Por su parte la desalación presenta una alta seguridad, ya que siempre podemos acceder al agua de mar para desalarla. La reutilización de aguas residuales tiene una seguridad media, debido a que la calidad del agua depurada es bastante oscilante y por otro lado, para poder depurar agua, es necesario previamente disponer de un recurso residual[63].

[62] Para analizar con ejemplos los criterios de comparación entre recursos hídricos, hablaremos de la desalinización, de la depuración y del Trasvase Tajo-Segura por ser el trasvase en funcionamiento envuelto en una mayor polémica.

[63] La seguridad del agua depurada es mayor de lo que puede parecer a simple vista ya que si bien es cierto que tiene que existir el recurso residual para ser tratado, dado que éste se genera en el abastecimiento urbano el cual está garantizado, la probabilidad de no poder reutilizar agua es baja.

- La segunda de las características a tener en cuenta es el **coste económico, ambiental y de oportunidad de dicho recurso**. En este sentido, el agua del trasvase Tajo-Segura tiene un menor coste que la desalada y la depurada para la demanda; el agua depurada es más económica que la desalada[64]. Siendo por tanto el agua desalinizada el método más costoso de obtener agua[65].

- La tercera característica a tener en cuenta es la **calidad del agua**. Siendo por tanto el agua desalinizada la de mayor calidad seguida de la del trasvase Tajo-Segura y la depurada[66]. La reutilización no es apta para el consumo humano, su uso se restringe a consumos indirectos como el riego[67].

Como puede verse, es prácticamente imposible proponer una característica adicional que sea útil para evaluar los recursos hídricos sin que ésta sea combinación de las anteriores. En función de "las tres características básicas de los recursos hídricos" y evaluando los recursos no convencionales y el trasvase Tajo-Segura desde este prisma, podemos decir que no se puede afirmar que uno de los recursos que hemos tomado como ejemplo sea mejor

[64] Cuando hablamos del coste económico, es complejo diferenciar lo que es en verdad un coste de lo que es un precio, en especial cuando se trata de recursos no convencionales sujetos a un proceso de explotación.

[65] Los costes y precios económicos son fáciles de contabilizar y medir, no obstante los ambientales son más complejos de medir ya que se basan en estimaciones con un alto componente subjetivo. Cabe señalar que los costes ambientales de la desalinización y el Trasvase TS son difícilmente comparables. Por otro lado, la reutilización más que costes ambientales tiene beneficios, ya que minimiza los vertidos contaminantes.

[66] Cabe matizar que hemos tenido en cuenta para valorar la calidad del agua su pureza química, no obstante la calidad es relativa en función del uso que se pretenda darle al agua, en este sentido para determinados cultivos agrícolas es de más calidad el agua residual, incluso sin haberle aplicado un terciario que el agua desalinizada.

[67] La comparación la hemos realizado entre el trasvase Tajo-Segura, la desalinización y la depuración para seguir con el ejemplo. Si comparamos con el resto de recursos tendremos que algunos casos el agua subterránea es la de mayor calidad.

que los otros[68]. Ya que, si planteamos el siguiente análisis teniendo en cuenta las tres "características básicas" vemos que ninguno de los tres recursos es estrictamente mejor que los otros:

$$\text{Desalación}_{calidad} \succ \text{Tajo-Segura}_{calidad} \succ \text{Reutilización}_{calidad}$$ [69]

$$\text{Tajo-Segura}_{coste} \succ \text{Reutilización}_{coste} \succ \text{Desalación}_{coste}$$ [70]

$$\text{Desalación}_{seguridad} \succ \text{Reutilización}_{seguridad} \succ \text{Tajo-Segura}_{seguridad}$$

Un hecho común en nuestro país por parte de los grupos políticos y otros grupos sociales es el posicionarse a favor o en contra de unos u otros sistemas de obtención de recursos hídricos. Siguiendo con el ejemplo anterior, vamos a analizar cuáles son las características de algunos de los recursos hídricos en la provincia de Alicante (Melgarejo 2004, pp. 25-323; Melgarejo y Montaño 2010). Esta provincia es, en la Comunidad Valenciana, la que mayor escasez de recursos padece, por ello es la zona idónea para realizar este análisis. Los tres recursos hídricos que vamos a comparar son el trasvase Tajo-Segura, la desalinización y la depuración y reutilización de aguas residuales.

En lo referente al consumo energético medio de la desalinización (4,2 kWh/m^3), es mayor que el del trasvase Tajo-Segura (1,2 kWh/m^3) y que el de la Depuración (1,1 kWh/m^3) (Melgarejo y Montaño 2009, pp. 173-195; Prats y

[68] Un recurso será mejor que otro cuando sea preferible en base a las tres características básicas de los recursos hídricos.

[69] Denotando $A_c \succ B_c$ el hecho de que A es preferido a B en relación al criterio c.

[70] En este caso estamos representando un caso específico, en este sentido cabe matizar que no todos los trasvases son más baratos que la desalinización, nosotros hemos analizado el caso concreto del trasvase Tajo-Segura que si es menos costoso que la desalinización. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la depuración en términos medios es más barata que la desalinización, pero en función de diversas variables hay depuradoras que obtienen un coste por metro cúbico mayor que el de la desalinización.

Melgarejo 2006, pp. 57-59). Del mismo modo que ocurre con la partida energética, sucede con los costes económicos, siendo la desalinización el sistema más costoso con más de 60 céntimos de euro de media[71] frente a los 21 céntimos del trasvase Tajo-Segura y los 38 céntimos de coste medio de la depuración y reutilización de aguas residuales[72] (López 2006). Por tanto, si nos quedamos con esta visión de la desalinización, basándonos en los costes energéticos y económicos, esta es poco eficiente frente al trasvase Tajo-Segura y la depuración y reutilización.

Respecto a los usos posibles, el agua procedente del trasvase Tajo-Segura es apta para todas las demandas potenciales. El agua desalinizada puede emplearse para cualquier uso, pero en la práctica es demasiado costosa para ser utilizada en ciertos tipos de agricultura, solo los cultivos más eficientes pueden asumir el coste del agua desalinizada (Cánovas 1997). Considerando la normativa vigente, el agua depurada no puede emplearse para el consumo humano directo, su uso se limita a riegos, campos de golf, etc[73]. En cuanto a la seguridad del recurso, el acceso al agua del mar está prácticamente garantizado. Por otro lado, el acceso al agua procedente del trasvase Tajo-Segura depende de que existan aguas excedentarias en la cuenca hidrográfica del Tajo (Cánovas y Melgarejo 2002, pp. 239-246; Claver 2002, pp. 217-261; Confederación Hidrográfica del Tajo 2004). En el cuadro 3.1 podemos ver esquematizada esta información.

Cuadro 3.1: comparativa de los recursos hídricos no convencionales en la provincia de Alicante

[71] Incluyendo amortización y consumo energético.

[72] En las depuradoras de Rincón de León, Monte Orgegia y Font de la Pedra los costes son respectivamente 0,37€/m^3, 0,46€/m^3 y 0,32€/m^3 (Melgarejo 2009).

[73] En función del uso que se le pretenda dar al agua depurada, los requerimientos químicos cambian, siendo necesarios distintos tipos de tratamientos terciarios.

Recursos hídricos no convencionales en la provincia Alicante	**Consumo energético medio por m^3**	**Usos posibles**	**Coste medio del m3**	**Seguridad del recurso**
Desalación	4,2 kWh	resulta muy cara para la agricultura	>0,60 €	Alta
Trasvase Tajo-Segura	1,2 kWh	todos	0,21 €	Baja
Depuración	1 kWh	riegos, campos de golf...	0,35 €	Baja

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la International Desalination Association el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo Segura y la Entitat Pública de Sanejament d'Aigües Residuals (EPSAR).

La primera conclusión que podemos extraer de la tabla anterior es que las aguas provenientes de la depuración no son un recursos sustitutivo ni de las aguas desalinizadas ni de las trasvasadas, ya que, en ningún caso, pueden ser útiles para el abastecimiento humano. Así pues, nos vamos a centrar en analizar si existe o no un cierto grado de sustitución entre el agua del trasvase Tajo-Segura y la proveniente de la desalinización[74]. Si comparamos la desalinización frente al trasvase Tajo-Segura nos encontramos con un factor a favor de este trasvase: el agua trasvasada es más barata; por otro lado nos encontramos con un punto a favor del agua desalinizada, que es su mayor seguridad[75]. El hecho de que el agua del río Tajo llegue a la Cuenca Hidrográfica (CH) del Segura tiene como condición necesaria el que hayan caudales excedentarios. En este sentido, se ha demostrado que existe cierta

[74] Si comparamos la seguridad de acceso al agua del Tajo-Segura con el agua superficial las conclusiones son diferentes.

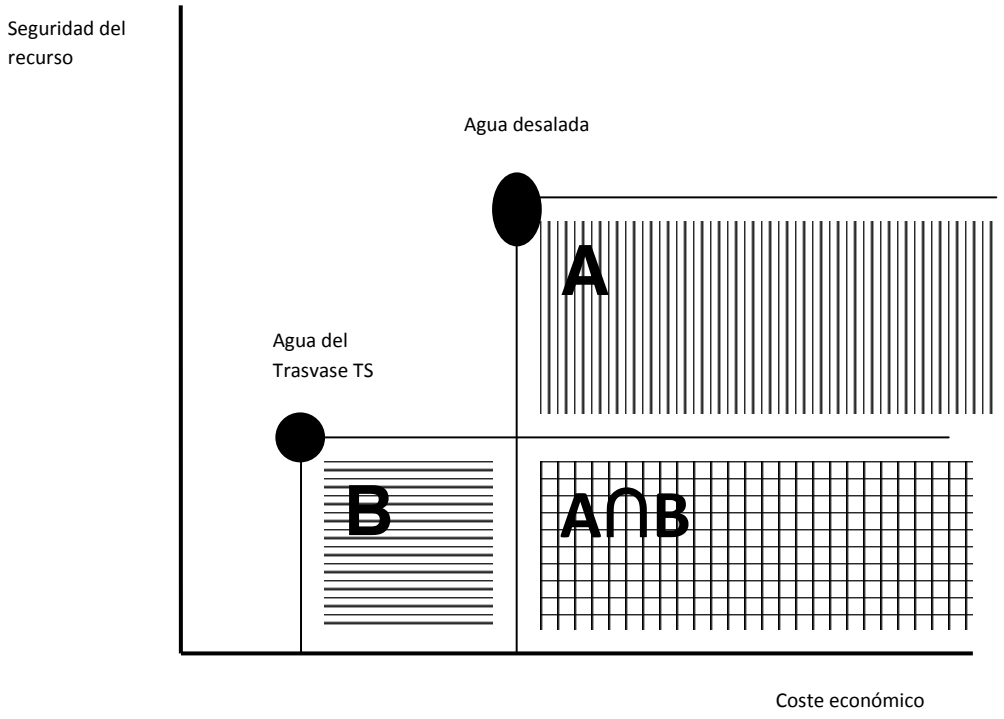
[75] Hay que tener en cuenta que el menor coste del Trasvase Tajo-Segura no es extrapolable a otros trasvases, ya que el coste de una transferencia de agua dependerá entre otros factores de la distancia, la pendiente, el material de la conducción, la amortización de la obra, las obras de mantenimiento…

correlación en la pluviometría en la cuenca hidrográfica del Tajo y del Segura (Cabezas 2000). Esto implica que cuando menos llueve en la CH del Segura, y por tanto más necesaria es el agua del trasvase, menos agua hay disponible para trasvasar (Morales et al 2005, pp. 73-75). Siguiendo este razonamiento, ante una sequía extrema en Murcia y Alicante, no sólo no dispondríamos de recursos hídricos propios, sino que además el caudal que nos llegaría del trasvase sería muy reducido (Morales et al 1999, pp. 9-15; Senent y García 1993). En cambio en esta misma situación de sequía extrema, el agua de las desalinizadoras nos llegaría sin ningún tipo de anomalía.

Vamos a comparar el agua del trasvase y de la desalinización, partiendo de la base de que el agua de la desalación es más cara, pero más segura. En el gráfico 3.1 podemos ver representados dos puntos, uno correspondiente al agua desalada, y otro a la del trasvase Tajo-Segura. En el eje de abcisas tenemos el coste económico del recurso, y en el eje de ordenadas la seguridad del recurso[76].

[76] Para esta comparación entre el Trasvase Tajo-Segura y la desalinización aplicaremos la metodología de análisis media varianza que generalmente se emplea en el campo de la economía financiera (Marín y Rubio 2001)

Gráfico 3.1: comparación media-varianza del trasvase TS y la desalinización



Podemos distinguir tres áreas fundamentales en este gráfico. La primera zona es la A; aquellos puntos sobre la frontera de la zona A son débilmente dominados por el punto que representa el agua desalada[77]. ¿Qué entendemos por un punto que está débilmente dominado? Son recursos hídricos que tienen o bien mayores costes económicos, dada una misma seguridad del recurso, o bien menor seguridad del recurso dados unos mismos costes económicos. Los puntos que están en el interior de la zona A, son estrictamente dominados por la desalación. Esto quiere decir que son recursos que además de ser más costosos son menos seguros. Equivalentemente a la zona A, hay recursos que están o bien dentro del área B o bien sobre la frontera del área B. Estos puntos son respectivamente dominados de un modo estricto y débil por el trasvase

[77] La zona A esta formada por su frontera, que son las rectas horizontal y vertical que parten del punto que representa al agua desalada; y por su interior, que son aquellos puntos ubicados en una posición inferior y más a la derecha que el punto que representa el agua desalada.

Tajo-Segura (TS). Esto quiere decir que, o son más costosos dada la misma seguridad, o más inseguros dado el mismo coste, o bien son a la vez más caros y más inseguros. Finalmente, está la zona A∩B; los puntos ubicados sobre la frontera de esta área son débilmente dominados por la desalación y el trasvase TS a la vez. Los puntos en el interior de la zona A∩B son estrictamente dominados por la desalación y el trasvase, lo que significa que tienen mayor coste y menor seguridad que la desalinización y que el trasvase a la vez.

Una de las hipótesis que queríamos contrastar era que desalinización y trasvase TS eran recursos complementarios y no sustitutivos. En este sentido, podemos ver en el gráfico 3.1, que el trasvase no es dominado por la desalación ni tampoco la desalinización es dominada por el trasvase, de modo que si queremos maximizar los recursos hídricos disponibles minimizando su coste, desalinización y trasvase TS deben de ser utilizados de manera conjunta.

Dada la distinta caracterización de estos recursos, no pueden ser considerados sustitutivos, si no que debemos tomarlos como complementarios (Balairón 2000). En consecuencia, la gestión racional de estos recursos debe de basarse en su uso combinado para lograr un objetivo primordial, que es obtener el agua necesaria al mínimo coste económico posible, así como obtener un sistema de precios y de reparto de derechos que maximice la eficiencia[78].

[78] No obstante, que sean recursos complementarios no implica que lo óptimo sea utilizarlos siempre de manera conjunta ya que si existe un nivel de recursos hídricos convencionales junto con los del trasvase TS suficientes para abastecer a todas las demandas existentes, no tiene sentido desalinizar agua si pretendemos minimizar el coste global del abastecimiento de agua. Es decir, estos recursos son complementarios en tanto en cuanto contar con uno de ellos no debe de llevarnos a prescindir del otro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no desalinizar no significa que el coste de la desalinización sea cero ya que o bien hay que continuar amortizando la instalación o bien hay que cargar la misma en el periodo de producción. De lo que se deduce que la desalinización es complementaria en el mejor de los casos de la utilización del resto de recursos.

En la provincia de Alicante, juegan un importante papel las aguas provenientes de los trasvases Jucar-Vinalopó, Tajo-Segura, reutilización y desalación. Las proporciones en las que usen estos recursos deben de estar sujetas al contexto publiométrico. De tal manera que la gestión óptima de los recursos hídricos ha de cumplir dos restricciones:

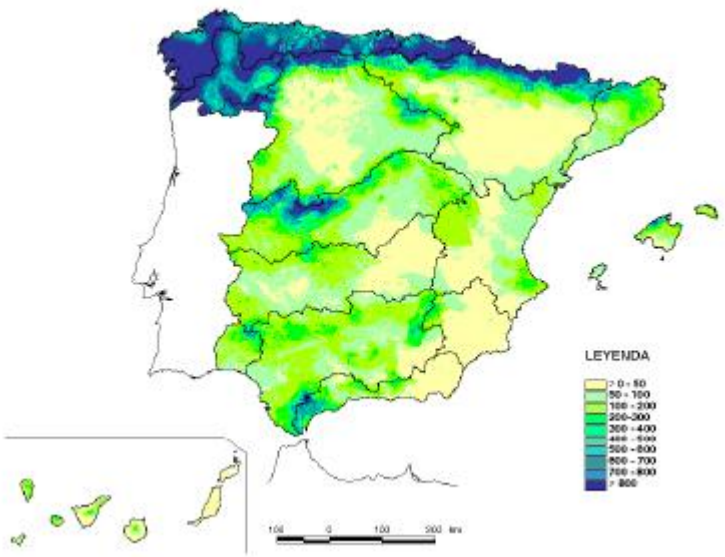
- Los recursos hídricos deben de ser consumidos de manera ordenada y con el objeto de minimizar el coste económico medio por metro cúbico (Teodoro 2002, pp. 54-64).

- La gestión óptima de los recursos hídricos debe de ser capaz de discriminar por precio, de tal manera que teniendo en cuenta las elasticidades precio de la demanda de agua de los distintos sectores económicos, la utilidad del agua sea la máxima posible. Para ello debe de articularse un mercado del agua que equilibre la oferta y la demanda con un sistema de precios y un reparto de derechos óptimo (Tate y Lacelle 1992).

3.2.- La gestión óptima de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica.

Los desequilibrios hídricos en España han condicionado los asentamientos humanos y han planteado la necesidad de buscar soluciones para satisfacer la demanda de agua en diversas zonas de la Península, la mayor escasez la encontramos en el litoral mediterráneo. Un ejemplo de la complejidad de estos modelos de gestión la podemos encontrar en la Marina Baja, situada en la provincia de Alicante (Torregrosa 2009). En el gráfico 3.2 podemos ver el mapa de escasez hídrica en España.

Gráfico 3.2: distribución de los recursos hídricos por unidades de planificación hidrológica



Fuente: Libro Blanco del Agua 2000.

En cuanto a la oferta de recursos hídricos, la solidaridad interregional fue la solución inicial a la escasez, pero los avances tecnológicos han posibilitado el uso frecuente y eficiente de la desalinización y la reutilización de agua, esto introduce nuevas posibilidades para optimizar la gestión de los recursos hídricos. El agua reutilizada contribuye en buena medida al equilibrio ya que

rebaja la demanda sobre otros recursos convencionales. Por otro lado cabe destacar la gran importancia que tiene la depuración en términos sanitarios y ambientales (Tirado et al 2006, pp. 441-464). La desalinización por su parte, es cada vez más importante debido a la progresiva disminución de costes; no obstante, estos siguen siendo elevados y además la desalinización presenta como problemas adicionales el que solo puede abastecer a una demanda cercana a la costa y que genera un impacto ambiental a tener en cuenta.

En cuanto a la demanda de recursos hídricos, destaca el elevado peso que tiene la agricultura[79]. Esto hace que antes de adentrarnos en el análisis, podamos destacar la necesidad de mejorar al máximo los sistemas de riego teniendo en cuenta el tipo de cultivo, el estado de las canalizaciones, los criterios de fijación de precios y las posibilidades de ahorro. En este trabajo pretendemos modelizar el suministro de recursos hídricos en una cuenca hidrográfica. Dentro de los costes de inversión y explotación que estamos analizando están incluidos algunos costes ambientales como la construcción y mantenimiento de las conducciones para verter la salmuera o como los estudios de impacto ambiental (Prats 2004, Torres 2004 a).

Para determinar el punto de equilibrio a largo plazo hay que partir de unas reglas del juego que regulen las cantidades que consume cada demanda y los precios. Si bien puede minimizarse el coste del abastecimiento hídrico a las distintas demandas a corto plazo, al largo plazo existen un gran número de escenarios que son determinados a su vez por variables endógenas como la planificación de obras futuras y de variables exógenas como los precios de la energía o las condiciones climáticas (Grupo de Análisis Económico del Ministerio de Medio Ambiente 2007 a).

[79] El regadío es, cuantitativamente, el principal uso del agua en España, con una demanda hídrica superior a los 24.000 hm^3/año, lo que representa cerca del 80% de las detracciones totales. Con estos recursos se abastece una superficie de 3,4 millones de hectáreas, lo que supone el 18% de la superficie total cultivada (Libro Blanco del Agua 2000)

Para analizar el equilibrio hídrico en una cuenca hidrográfica tenemos que analizar primero la oferta y la demanda. La oferta de recursos hídricos está compuesta por los siguientes recursos: recursos convencionales (subterráneas y superficiales), desalinización y reutilización del agua de las depuradoras. Por otro lado, la demanda de recursos hídricos se compone de la demanda urbana y doméstica (Rajah y Smith 1993, pp. 86-108), el consumo industrial, el consumo agrícola y el consumo medio ambiental. Vamos a analizar por separado los aspectos básicos de la oferta y de demanda. Una vez hayamos descrito cada una de las partes del mercado analizaremos el equilibrio.

3.2.1. La oferta de recursos hídricos en una cuenca hidrográfica.

La oferta de recursos hídricos se compone tanto de recursos convencionales, como de recursos no convencionales como la desalinización la reutilización.

Los recursos hídricos convencionales son en general de un bajo coste económico, aunque no siempre presentan una alta calidad. Con el precio de estos recursos generalmente se intenta recuperar su coste real. Por recursos convencionales se entienden también las aguas subterráneas, cuya sobreexplotación de no es deseable puesto que es perjudicial para el medio ambiente (González 2002, Munashingue 1992). Por otro lado, el agua de los acuíferos puede resultar bastante cara debido a los costes de extracción.

El agua depurada es otro de los componentes clave de la oferta. Para su análisis tenemos que tener en cuenta el agua que se está reutilizando, la que se podría reutilizar procedente de las depuradoras existentes y por último la que se podría llegar a reutilizar si se construyesen nuevas plantas. Un factor que siempre hay que tener en cuenta acerca de la reutilización de agua es el uso al que va destinada y las exigencias de calidad que este uso requiere. Ligado a la calidad requerida está el coste de obtención y en muchas ocasiones se presenta la imposibilidad del uso, por cuestiones sanitarias. Al igual que en la desalinización, no solo hemos de considerar el coste de la depuración del agua, sino también su coste de distribución. Una dificultad añadida en el caso de la depuración es el análisis del pago de este recurso, ya que si bien en el resto de recursos hídricos es el usuario final quien paga el agua, el principio medioambiental que rige la depuración del agua es el de “quien contamina paga”.

Los trasvases de otras cuencas son otro de los recursos hídricos disponibles. Los trasvases tienen una especial complejidad; debe de considerarse la disponibilidad de la cuenca cedente, la necesidad de la cuenca receptora y los acuerdos que se puedan alcanzar en este sentido. Un trasvase requiere una exhaustiva justificación del caudal a trasvasar, en base a la no disponibilidad de otros recursos y una racional tarificación del agua (Quinto y Gaspar 1997, pp.3-19). Por ejemplo, un trasvase estaría justificado si pudiese evitar una sobreexplotación de un acuífero de un modo estructural, como es el caso del Trasvase Júcar Vinalopó. Para que un trasvase se lleve a cabo, cabe hacer un minucioso estudio ambiental y económico, respecto a este último hay que tener en cuenta que el trasvase solo tendrá sentido en tanto que no exista ningún recurso hídrico en el destino a un menor coste económico. En otros casos que tenemos en nuestro país como el trasvase Tajo-Segura, la polémica tiene menos sentido ya que el agua procedente de este trasvase es mucho menos costosa que la desalinizada (Melgarejo 2009, pp. 587-632).

En España existen nueve confederaciones hidrográficas. La superficie total de las cuencas es de 497.897 km^2 de los cuales el 55% corresponde a las confederaciones del Duero, el Tajo y el Ebro[80].

Además de las mencionadas confederaciones hidrográficas existen en España Administraciones Hidráulicas Intracomunitarias, estas son:

- Cuenca Atlántica Andaluza.

- Cuenca Mediterránea Andaluza.

- Cuencas Internas de Cataluña.

- Galicia Costa.

- Islas Baleares.

- Islas Canarias.

- País Vasco.

---

[80] Las confederaciones hidrográficas existentes en España son las siguientes (entre paréntesis las provincias que abarcan):

- Confederación Hidrográfica del Duero (Ávila, Burgos, León, Palencia, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid, Zamora, Cáceres, Cantabria, Guadalajara, Madrid, La Rioja y Orense).
- Confederación Hidrográfica del Tajo (Ávila, Badajoz, Cáceres, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara, Madrid, Salamanca, Soria, Teruel y Toledo).
- Confederación Hidrográfica del Ebro (Álava, Barcelona, Burgos, Cantabria, Castellón, Girona, Guadalajara, Guipúzcoa, Huesca, La Rioja, Lleida, Navarra, Palencia, Soria, Tarragona, Teruel, Vizcaya y Zaragoza.).
- Confederación Hidrográfica del Guadiana (Albacete, Badajoz, Cáceres, Córdoba, Ciudad Real, Cuenca, Huelva, Toledo, Albacete, Almería).
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Cádiz, Ciudad Real, Córdoba, Granada, Jaén, Huelva, Málaga, Murcia y Sevilla).
- Confederación Hidrográfica del Júcar (Alicante, Albacete, Castellón, Cuenca, Tarragona, Teruel, y Valencia).
- Confederación Hidrogáfica del Cantábrico (Álava, Asturias, Burgos, Cantabria, Guipúzcoa, León, Lugo, Navarra, Palencia y Vizcaya).
- Confederación Hidrográfica del Miño-Sil (Asturias, La Coruña, León, Lugo, Orense, Pontevedra, y Zamora).
- Confederación Hidrográfica del Segura (Albacete, Alicante, Almería, Granada, Jaén y Murcia)

Por otro lado, existen otros tipos de usuarios que pueden gestionar el dominio público hidráulico que son:

- Comunidad de usuarios: se compone de dos o más personas físicas o jurídicas que pretenden compartir una misma toma de agua. La principal función de la comunidad de usuarios es disponer de la concesión y gestionar el aprovechamiento hídrico.

- Comunidad general de usuarios: esta se forma a partir de dos o más comunidades de usuarios que dispongan previamente de concesión. Mediante una Comunidad general de usuarios se pretende defender conjuntamente los intereses de las comunidades de usuarios.

- Junta central de usuarios: esta se compone de usuarios individuales, comunidades de usuarios y comunidades generales de usuarios que cuenten previamente con concesión. Las principales funciones de una Junta central de usuarios son proteger colectivamente sus intereses así como gestionar los aprovechamientos hídricos de su ámbito.

Ante la gravedad de las consecuencias económicas de la escasez de precipitaciones, el Gobierno ha puesto en marcha diversas actuaciones durante los últimos años con el fin de paliar esta situación. Destacando las siguientes:

- El Real Decreto Ley 10/2005, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los daños producidos en el sector agrario por la sequía y otras adversidades climáticas.

- El Real Decreto 287/2006, por el que se regulan las obras urgentes así como la mejora y consolidación de regadíos, con el objeto de obtener un adecuado ahorro de agua que palie los daños producidos por la sequía.

- El Real Decreto Ley 8/2008, por el que se adoptan aquellas medidas urgentes necesarias para paliar los efectos producidos por la sequía

en determinados ámbitos de las cuencas hidrográficas. Una de las medidas más relevantes que se han adoptado en esta última disposición fue la exención de determinados cánones para el año 2008 a los titulares de derechos de uso de agua para riego en los ámbitos territoriales afectados por la sequía, en el caso de haber tenido una dotación inferior al 50% de la normal.

De un modo complementario a las acciones mencionadas, la producción de agua desalinizada se ha convertido en un aspecto estratégico para solventar el déficit estructural que presentan algunas cuencas hidrográficas.

3.2.2.- La demanda de recursos hídricos

La demanda, el sistema de precios y el reparto de derechos son los principales responsables de la actual escasez relativa de agua en España, y por tanto, la mejora en la gestión de la demanda de recursos hídricos es una necesidad si queremos optimizar la gestión de los recursos hídricos. El agua se destina al abastecimiento de la población, de la industria y de los regadíos. El mayor consumo hídrico se encuentra en la agricultura, que tomando como ejemplo la cuenca de Júcar representa un 77%, seguido del consumo urbano con un 19% y del industrial cuyo consumo representa un 3,9%[81]. Estos porcentajes cambian considerablemente en función de la cuenca hidrográfica que tomemos o del área geográfica, pero por lo general el mayor consumo de agua proviene de la agricultura. Dado que la agricultura representa el mayor de los consumos los principales esfuerzos de optimización de la demanda se centran en la modernización del regadío, pues una pequeña mejora en el principal de los consumos generaría un gran ahorro de recursos hídricos.

[81] Elaboración propia a partir de los datos de la Propuesta Plan Hidrológico del Júcar de 2009.

3.2.2.1. La demanda urbana

El abastecimiento y saneamiento del agua constituye uno de los servicios públicos básicos cuya prestación debe de estar garantizada. Las tasas como instrumento de financiación de servicio y de reparto de los costes entre los usuarios, deberían de someterse a determinadas condiciones normativas como son la suficiencia, la equidad, la eficiencia y la sencillez (Barberán et al 2006, pp.175-178). Sin embargo, la mayoría de las tasas vigentes responden a decisiones políticas inspiradas en criterios técnicos muy genéricos. El consumo doméstico o urbano tiene una gran importancia ya que debe de estar garantizado y por tanto en caso de escasez habría que dar un carácter prioritario a la demanda urbana (Hewitt 2001, pp. 259-278). El consumo urbano depende de una serie de variables, habitualmente se contemplan como variables explicativas de la demanda de agua urbana el precio, el clima, la gestión empresarial, el poder adquisitivo y motivos sociodemográficos relacionados con el modo de vida como la composición de la familia o el tipo de vivienda (Trujillo 1994, pp. 111-135). En diversos estudios se ha llegado a la conclusión de que existe una relación positiva entre los niveles de renta y el consumo de agua (Arbués y Barberán 2005, Saurí y Domene 2003, pp. 5-17). Por otro lado se ha demostrado que el consumo de agua en una casa va a depender en gran medida del número de habitantes y también de su sexo (Arbués y Barberán 2005). También influye en gran medida sobre la demanda de agua urbana la temperatura que haga, los niveles de precipitaciones, el nivel de humedad y las horas de luz solar diarias. Otra variable que influye de un modo fundamental sobre la demanda urbana de agua es como se gestiona los recursos hídricos en la ciudad, siendo de gran relevancia el modo en que se cobre o tarifique el agua o la frecuencia con la que se cobre. Conocer la relación entre estas variables y el consumo de agua es de un gran interés a la hora de proponer medidas de ahorro efectivas.

Vamos a analizar como minimizar el coste económico de satisfacer un conjunto de demandas hídricas provenientes de distintos sectores económicos y geográficos.

La bibliografía referente a las tasas que gravan el consumo doméstico de agua, gira en torno a cuatro criterios fundamentales, que son la suficiencia, la equidad, la eficiencia y la sencillez. En el cuadro 3.2 podemos ver cuáles son los principales estudios centrados en las tasas del agua así como los criterios en los que se basan.

Cuadro 3.2: criterios normativos manejados en el análisis de las tasas del agua.

	Suficiencia	Equidad		Eficiencia		Sencillez	
Autores		**Beneficio**	**Capacidad/ Accesibilidad**	**P = CM**	**Fomento Ahorro**	**Costes aplicación**	**Comprensión**
Ahmad (2000)	X				X		
Boland y Whittington (2001)	X	X	X	X	X	X	X
Cueva y Lauria (2001)	X	X	X	X			
Hewitt (2001)	X				X	X	
Jones (1998)	X						
Munashingue (1992)				X			
OCDE (1987)	X	X	X	X	X	X	X
OCDE (1999)	X	X	X	X	X	X	X
Pashardes y Hajispyrou (2002)		X	X				
Rajah y Smith (1993)		X		X	X	X	
Renzetti (1992)		X					
Renzetti (1999)				X			
Renzetti (2001)			X	X	X		
Tate y Lacelle (1992)	X	X					
Teodoro (2002)	X	X			X		
Van Humbeeck (2001)			X				
Winpenny (1994)			X		X		X

Fuente: Arbués, F. y Barberán, R. (2005)

Los estudios que se centran en la suficiencia analizan y proponen métodos mediante los cuales se garantiza la existencia de los recursos hídricos para satisfacer la demanda existente. Los estudios sobre la equidad tratan de explicar cómo garantizar el acceso al agua a todos los usuarios con las mismas

condiciones de calidad y precio. Los autores que tratan la eficiencia de la gestión económica del agua analizan como cobrar por cada metro cúbico el precio que garantice la recuperación del coste marginal. Por último, diversos autores han escrito acerca de cómo tarificar el agua con una mayor sencillez y comprensión.

3.2.2.2. Consumo industrial.

El consumo industrial es otra de las piezas de este modelo. Existen distintos sectores industriales en los que se demanda agua, que puede proceder de una de una u otra fuente. Por otro lado, cabe analizar el modo en que se tarifica esta agua. Otro factor de gran relevancia en cuanto al origen del agua empleada por el sector industrial es si se realizan vertidos o si se dispone de sistemas internos de depuración. La industria no ha creado grandes polémicas en nuestro país en materia hídrica, fundamentalmente debido a dos causas, en primer lugar porque a la hora de escoger el terreno en el que se va a emplazar una industria se tiene en cuenta por lo general la disponibilidad de recursos hídricos y en segundo lugar el consumo industrial no representa grandes problemas porque no es tan elevado como a priori podría parecer[82]. El consumo hídrico del sector industrial no es homogéneo, dependiendo del tipo de industria (química, alimentaria, textil…) cambia la demanda en términos cuantitativos y cualitativos. La problemática fundamental que presenta la industria en relación al abastecimiento de agua reside en las posibles filtraciones o vertidos y la contaminación que pueda derivarse. Por otro lado, la medición del consumo industrial presenta la dificultad de que casi siempre está unido a la red general de abastecimiento que además es prioritaria[83].

3.2.2.3. Consumo agrícola

La demanda agrícola es la responsable de la mayor parte del consumo hídrico, es por esto que en este sector se han centrado todos los esfuerzos de ahorro, estudiando de un modo detallado como optimizar los métodos de riego de un modo que maximice el ahorro de recursos. El coste que deben de afrontar los agricultores depende por lo general de la dificultad de obtener el

---

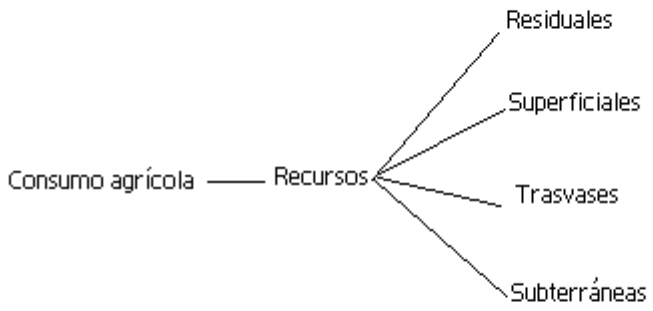
[83] Como sucede por ejemplo en Elche.

recurso y su distribución, si es necesario bombear el agua para su obtención o darle algún tratamiento especial son los agricultores los que deben soportar este coste. Cuando no es superficial, el agua que suele tomar para el consumo agrícola es depurada o bien subterránea.

3.3.- Modelo de gestión general

En este punto vamos a construir un modelo lineal de optimización incluyendo los grados de incertidumbre a los que dicho modelo está sujeto. (Cohon 1978; Friedman 1984, pp. 793-803; Helweg 1985; Yeh 1985, pp.1797-1818; Srinivasan et al. 1999, pp. 325-332; Han 2001, pp. 695-708; Ahmned et al. 2003, pp. 3-24; Draper at al 2003, 155-164; Jenkins 2004, pp. 271-280; Hernandez-Sancho 2007). Para entender el sistema óptimo de gestión de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica, uno de los factores determinantes es que tipo de agua puede emplear cada uso del recurso. Debido a diversos motivos, no todos los recursos hídricos son adecuados para todos los fines. Una de las incompatibilidades es la del uso de agua desalinizada en la agricultura, en este caso, el factor que causa esta no aptitud es el elevado coste del agua desalinizada, esto hace que su uso no sea rentable. No obstante, existen cultivos agrícolas de una alta rentabilidad y eficiencia económica que si pueden pagar el agua desalinizada, pero esto es una excepción. En el gráfico 3.2 podemos ver esquematizada esta situación.

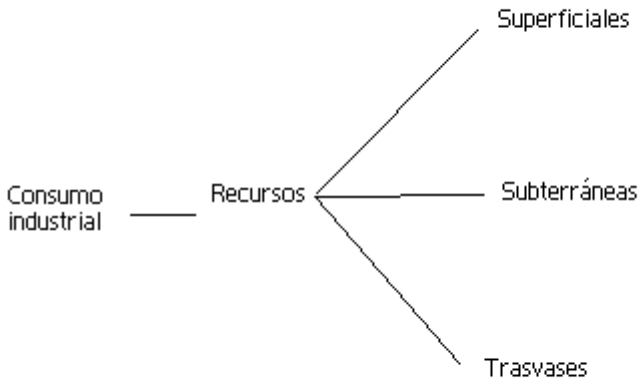
Gráfico 3.2: recursos hídricos que se emplean en el consumo agrícola.



Por otro lado, el consumo industrial en términos generales tiene un consumo relativamente bajo de agua depurada y desalinizada[84]. No obstante en ambos casos existen excepciones, ya que hay plantas industriales que emplean agua depurada e industrias que emplean agua desalinizada, en nuestro análisis no vamos a tener en cuenta estos casos ya que representan volúmenes de agua muy pequeños en términos proporcionales. El agua depurada no puede emplearse en los procesos industriales debido a la normativa que regula el uso de este recurso. En lo referente al agua desalinizada, el motivo de su incompatibilidad es el mismo que encontrábamos en el consumo agrícola, su elevado coste. No obstante, sí se emplea agua desalinizada en algún proceso, generalmente en casos donde la nave industrial se encuentra próxima al mar y que no hacen un uso intensivo de agua, en definitiva se podría emplear agua desalinizada en procesos industriales en los que el consumo de agua sea reducido y su coste sea por tanto fácilmente amortizable. En el gráfico 3.3 podemos ver esquematizado el conjunto de recursos hídricos aptos para la industria.

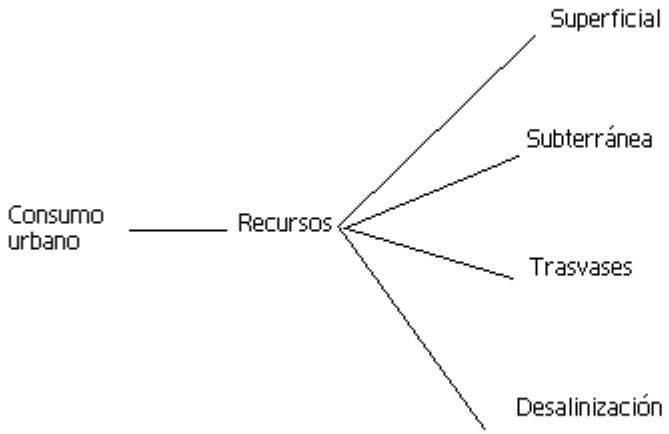
[84] En el caso del agua desalinizada es el elevado coste económico lo que hace que se emplee poco este recurso en la industria, por otro lado en el caso del agua depurada, su uso en la industria se limita a la refrigeración y otros usos similares, pero rara vez puede emplearse en el uso principal de la industria.

Gráfico 3.3: recursos hídricos que se emplean en el consumo industrial



A diferencia de en el consumo agrícola y el industrial, el agua desalinizada si puede emplearse en el consumo urbano, su elevado precio es fácilmente amortizado en este caso concreto. En cuanto al agua depurada no puede ser empleada por el consumo urbano, debido a que las normativas sanitarias lo prohíben. Sin embargo, una posibilidad habitual es el uso municipal de agua depurada para el riego de jardines y parques, esto se lleva a cabo por ejemplo en la ciudad de Alicante con parte del agua tratada en las depuradoras de Rincón de León y Monte Orgegia. Pero como el agua depurada representa en cualquier caso una proporción muy pequeña del consumo industrial, no lo vamos a tener en cuenta en nuestra modelización. En el gráfico 3.4 vemos de qué recursos hídricos se abastece el consumo urbano.

Gráfico 3.4: recursos hídricos que se emplean en el consumo urbano


Consumo urbano
Recursos
Superficial
Subterránea
Trasvases
Desalinización

3.3.1. Notación y variables.

A continuación vamos a definir el conjunto de variables con las que vamos a trabajar. Cada variable representa la cantidad de m^3 que se van a emplear en un destino, provenientes de un recurso. Por ejemplo, la variable R_{1a1} representa la cantidad de agua residual proveniente de la depuradora 1 que se emplea en la unidad de demanda agrícola 1. La variable R_{1a1} y el resto de variables que hacen alusión a una cantidad de agua que se envía de un origen a un destino, son no negativas y tienen una cota superior que viene dada por la capacidad de las conducciones que permiten llevar el agua de cada origen a cada destino. Tal y como se explica en el apartado anterior, no todas las combinaciones origen-destino son compatibles, bien por motivos relacionados con el coste o bien por cuestiones legales y sanitarias. De modo que el conjunto de variables origen-destino con el que vamos a trabajar es el siguiente:

- T_{tUu}: es el agua del trasvase t que se emplea en la unidad de demanda urbana u. (siendo n y m números entre el 1 y el número total de la unidad a la que hace referencia)
- T_{tIi}: es el agua trasvasada de la unidad t que se usa en la unidad de demanda industrial i.
- T_{tAa}: son los m^3 que se emplean en la unidad de demanda agrícola a, provenientes del trasvase t.
- B_{bUu}: representa los recursos hídricos subterráneos del acuífero a que se consumen en la unidad de demanda urbana u.
- B_{bIi}: son los m^3 que se emplean en la unidad de demanda industrial i provenientes del acuífero b.
- B_{bAa}: es el agua que tiene como origen el acuífero b y que va destinada a la unidad de demanda agrícola a.
- S_{sUu}: son los m^3 que se consumen en la unidad de demanda urbana u y que tienen como origen la unidad de agua superficial s.

- S_{sIi}: es el agua superficial que parte de la unidad s y que tiene como origen la unidad de consumo industrial i.
- S_{sAa}: son los recursos hídricos que consume la unidad de consumo agrícola a provenientes de los recursos superficiales s.
- D_{dUu}: son los recursos hídricos provenientes de la desalinizadora d que se emplean en la unidad de demanda urbana u.
- R_{rAa}: representa los recursos reutilizados en la unidad agrícola a, provenientes de la depuradora d.

Por otro lado, cabe señalar que cada una de las combinaciones origen-destino anteriores tiene asociado un coste económico. El coste de la variable origen-destino X se denotará como Cos_X, es decir, Cos_{SsAa} es el coste por metro cúbico usado en la unidad agrícola m que tiene como origen la unidad de recursos subterráneos n. Del mismo modo hay un coste asociado a cada una de las combinaciones origen-destino anterior.

3.3.2.- Restricciones para la gestión de los recursos hídricos.

Las restricciones en el abastecimiento de las distintas demandas de una cuenca hidrográfica y en cualquier otro sistema vienen dadas por la disponibilidad de recursos en los distintos orígenes y la demanda de cada destino. En concreto las restricciones implican una cantidad máxima de recursos que pueden ser empleados de cada origen.

La primera restricción nos dice que el total de agua depurada empleada en las diversas unidades agrícolas proveniente de depuradora n no puede ser superior a la capacidad de depuración total que tiene dicha planta. Esta propiedad se aplica a cualquier planta depuradora existente ($\forall r = 1, 2, \dots R$). Cabe destacar de la notación que $\sum_{a=1}^{A} R_{rAa}$ representa la suma del agua que cede la planta depuradora n a cada una de las unidades de demanda agrícola. Por otro lado, $TotalR_r$ denota la cantidad total que hay en la depuradora r. Teniendo en cuenta esta notación, las ecuaciones de oferta serían las siguientes:

(1)

$$\sum_{a=1}^{A} R_{rAa} \leq TotalR_r \ \forall r = 1, 2, \dots R$$

(2)

$$\sum_{a=1}^{A} B_{bAa} + \sum_{i=1}^{I} B_{bIi} + \sum_{u=1}^{U} B_{bUu} \leq TotalB_b \forall b = 1,2 \dots B$$

(3)

$$\sum_{a=1}^{A} S_{sAa} + \sum_{i=1}^{I} S_{sIi} + \sum_{u=1}^{U} S_{sUu} \leq TotalS_s \; \forall s = 1,2 \ldots S$$

(4)

$$\sum_{a=1}^{A} T_{tAa} + \sum_{i=1}^{I} T_{tIi} \sum_{q=1}^{Q} T_{tUu} \leq TotalT_t \; \forall t = 1,2 \ldots T$$

(5)

$$\sum_{u=1}^{U} D_{dUu} \leq TotalD_n \; \forall d = 1,2 \ldots D$$

De la cantidad de agua que se envía hacia un destino, no toda llega, pues se producen pérdidas debidas a filtraciones, evaporación, desperfectos en las canalizaciones, etcétera. A este respecto se emplea el índice de eficiencia que nos dice que porcentaje del agua enviada llega finalmente a su destino. La demanda por tanto, trabaja a su vez con el coeficiente de eficiencia, pues lo que le interesa es el agua que finalmente llega a su destino. Vamos a denotar como E_{r1a1} el coeficiente de eficiencia que hay en el envío de la depuradora 1 a la unidad de demanda agrícola 1[85]. Por otro lado denotaremos como $DemandaA_a$ la demanda total de la unidad agrícola a. A continuación podemos ver cuáles serían las restricciones de las demandas agrícolas, industriales y urbanas.

(6)

$$\sum_{r=1}^{R} R_{rAa} * E_{RrAa} + \sum_{s=1}^{S} S_{sAa} * E_{SsAa} + \sum_{b=1}^{B} B_{bAa} * E_{BbAa} + \sum_{t=1}^{T} T_{tAa} * E_{TtAa} \geq DemandaA_a \; \forall a = 1,2 \ldots A$$

(7)

[85] Equivalente esta misma notación servirá para hacer referencia a cualquier transferencia origen-destino.

$$\sum_{r=1}^{R} R_{rIi} * \mathrm{E}_{\mathrm{RrIi}} + \sum_{s=1}^{S} S_{sIi} * E_{SsIi} + \sum_{b=1}^{B} B_{bIi} * E_{BbIi} + \sum_{t=1}^{T} T_{tIi} * E_{TtIi} \geq Demanda I_{i} \ \forall i = 1,2 \ldots I$$

(8)

$$\sum_{r=1}^{R} R_{rUu} * \mathrm{E}_{\mathrm{RrUu}} + \sum_{s=1}^{S} S_{sUu} * E_{SsUu} + \sum_{b=1}^{B} B_{bUu} * E_{BbUu} + \sum_{t=1}^{T} T_{tUu} * E_{TtUu} \geq Demanda U_{u} \ \forall u = 1,2 \ldots U$$

3.3.3.- Satisfacción de la demanda al mínimo coste en el corto plazo.

En este punto, vamos a analizar cómo puede satisfacerse la demanda de recursos hídricos, minimizando el coste total de dicho abastecimiento. ¿Qué factores determinan el coste del proceso? Las variables que influyen sobre este son los costes de los procesos como la desalinización o la depuración, tratamientos del agua, energía consumida por bombas para enviar el agua a su destino, y por último dependerá de los costes de inversión, amortización y mantenimiento de las canalizaciones necesarias (Hoyos-Limón 2000). Por otro lado, denotaremos mediante Cos_{SsAa} el coste de enviar un metro cúbico desde la unidad de recursos superficiales s hasta la unidad de consumo agrícola a. La función objetivo, que pretendemos optimizar es la siguiente:

(9)

$$Función\ objetivo = \sum_{r=1}^{R}\sum_{a=1}^{A} Cos_{RrAa} R_{rAa} + \sum_{s=1}^{S}\sum_{a=1}^{A} Cos_{SsAa} S_{sAa} + \sum_{b=1}^{B}\sum_{a=1}^{A} Cos_{BbAa} B_{bAa} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{a=1}^{A} Cos_{TtAa} T_{tAa} + \sum_{s=1}^{S}\sum_{i=}^{I} Cos_{SsIi} S_{sIi} + \sum_{b=1}^{B}\sum_{i=1}^{I} Cos_{BbIi} B_{bIi} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} Cos_{TtIi} T_{tIi} + \sum_{s=1}^{S}\sum_{u=1}^{U} Cos_{SsUu} S_{sUu} + \sum_{b=1}^{B}\sum_{u=1}^{U} Cos_{BbUu} B_{bUu} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{u=1}^{U} Cos_{TtUu} T_{tUu} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{u=1}^{U} Cos_{DdUu} D_{dUu}$$

Una condición deseable es que la oferta de recursos hídricos sea mayor que la demanda de recursos hídricos, no obstante esto puede no cumplirse en algunas ocasiones. En aquellos casos en los que la demanda de recursos hídricos sea mayor que la oferta, habrá que establecer consumos prioritarios y analizar sobre que demandas se aplican restricciones. Generalmente la demanda de agua urbana tiene carácter prioritario. Por otro lado también hay que tener en cuenta la capacidad de las conducciones y el ratio de eficiencia de las mismas. Para conseguir tales objetivos hay que establecer sistemas de precios eficientes.

3.3.4.- Reflexiones en torno al modelo de equilibrio en el largo plazo

El modelo que hemos explicado en los puntos anteriores, está sujeto a una serie de restricciones en torno a la capacidad de oferta de recursos hídricos. No obstante el análisis a largo plazo es más complejo e interesante, pues dichas capacidades pueden modificarse. Al largo plazo la cuenca hidrográfica puede incorporar nuevas instalaciones bien sean desalinizadoras, trasvases, embalses o depuradoras. Algebraicamente vamos a incluir en el modelo la posibilidad de construir o no cada una de las opciones mediante la inclusión de variables binarias. Por tanto el coste correspondiente a la construcción de la nueva instalación forma parte de la función objetivo a largo plazo. La construcción de una nueva depuradora sería modelizada mediante la inclusión de la siguiente ecuación.

(10)

$$BinR_r\ (CF_{Rr} + \sum_{\alpha=1}^{A}\sum_{\alpha=1}^{A} Cos_{RrA\alpha} R_{rA\alpha})$$

Donde $BinR_r$ representa una variable binaria que toma el valor uno si se construye la depuradora R_r. CF_{Rr} representa el coste fijo de la depuradora, que se debe en gran parte a la inversión que haya que realizar. Por otro lado la variable $Cos_{RrA\alpha}$ denota el coste por cada metro cúbico enviado desde la depuradora r hasta la unidad de consumo agrícola a.

Cabe destacar que si bien a corto plazo las variables que denotan el coste de envío desde un origen hacia un destino toman un valor fijo, a largo plazo no es así. A largo y medio plazo los costes de cada envío pueden variar debido a cambios en los costes energéticos, a economías de escala, a la

sobreexplotación, a variaciones en la calidad de agua, a cambios en la demanda y otros motivos similares. La demanda debe de entenderse por tanto como una función cuasi-lineal que se ajusta mediante los precios bien de un modo continuo o por tramos (Grupo de Análisis Económico del Ministerio del Medio Ambiente 2007 c). Puede ser más práctico el escoger funciones cuasi-lineales en lugar de funciones no lineales debido a que en este último caso no estaría garantizada la globalidad de la solución. Por tanto podrían incorporarse al modelo los costes de cada recurso por tramos.

Por otro lado, a corto plazo el escenario es homogéneo, pero en el análisis a largo plazo cabe añadir en la gestión el escenario en el que nos encontramos. Desde el punto de vista de la oferta, la cantidad de precipitaciones y la temperatura puede hacer variar la cantidad de agua superficial, subterránea, reutilizable o trasvasable. Por otro lado la cantidad de agua desalinizada puede variar en función de la gestión de este recurso. Desde el punto de vista de la demanda, también se dan diferentes escenarios en función de la meteorología, precios disuasorios para consumos excesivos, recortes en el suministro, campañas de concienciación, etcétera. Cuantos más escenarios se planteen más realista será el resultado, pero es necesario contemplar un número limitado para poder llegar a unas conclusiones. Por tanto el resultado debe de venir del análisis conjunto de la oferta y la demanda de recursos hídricos en diversos escenarios.

3.4.- La polémica de los trasvases y la desalinización

Tal y como hemos analizado, si se gestionan los recursos hídricos en base a criterios económicos tales como el abastecimiento de la demanda existente sujeto a la minimización del coste global del sistema, no debieran existir determinados debates y polémicas en torno al agua. Con respecto a esta discusión mediática, la primera puntualización que cabe hacer es que no tiene sentido generalizar adquiriendo una postura a favor de uno de los dos sistemas, ya que cada trasvase y cada planta tienen unas características distintas. Por ejemplo existen grandes diferencias entre una desalinizadora que trata agua salobre de un río y otra que trata agua salada del mar. La planta salobre tendrá una mayor eficiencia en costes, pero por otro lado existe una mayor probabilidad de que no se pueda desalinizar agua ya que esto dependerá del caudal del río[86]. Por otro lado, la planta que trata agua de mar tiene unos costes de operación mucho mayores, pero en esta planta está asegurada la obtención de agua desalinizada, ya que siempre va a haber agua salada para tratar.

En cuanto a los trasvases, existen grandes diferencias entre unos y otros. En particular, dos trasvases pueden diferir en gran modo en su impacto ambiental, en función del lugar por el que haya de transcurrir la canalización y de los posibles efectos que puedan tener sobre los ecosistemas. Otro factor determinante que hace un trasvase sea más o menos eficiente es el coste económico del mismo. Este coste ha de ser recuperado, con lo cual el metro cúbico trasvasado tendrá un coste mayor o menor en función del coste de construcción y explotación de dicha infraestructura. Un condicionante fundamental del coste de explotación de un trasvase es el consumo energético del mismo, este aumenta cuando la distancia que ha de recorrer el agua es mayor, cuando la pendiente que ha de salvar el agua es mayor y puede

[86] Cuando el río sea caudaloso como podría ser el caso del Támesis o el Ebro, una desalinizadora de agua salobre presenta prácticamente las mismas garantías de obtención del recurso que una desalinizadora marina.

aumentar también en función del material con el que se elabore la conducción del agua. Otra variable que hace que un trasvase sea más o menos eficiente es la correlación entre los niveles pluviométricos entre la cuenca cedente y la receptora. Ante una sequía en la cuenca receptora del trasvase sería interesante que en la cuenca cedente no se dé también esta sequía, pues de lo contrario es posible que el caudal del trasvase se vea mermado.

Por tanto, queda claro que no tiene sentido valorar la desalinización y los trasvases en su conjunto, sino que hay que analizar cada caso por separado. Siguiendo con esta lógica, a continuación vamos a analizar y comparar el trasvase Tajo-Segura y la desalinización.

3.4.1.- El trasvase Tajo-Segura y la desalinización

En el año 2004, la gestión pública de los recursos hídricos en nuestro país dio un giro importante. El Plan Hidrológico Nacional se dejó parcialmente de lado, elaborando una nueva estrategia para aliviar la escasez de recursos hídricos que afecta a España (Albiac et al 2008, pp. 2-19). Se puso en marcha el Programa A.G.U.A., proponiendo la construcción de un conjunto de plantas desalinizadoras en España, en aquellas zonas de mayor escasez. Si bien se han extremado mucho los argumentos a favor y en contra de la desalinización y los trasvases, no tiene sentido el plantear una sustitución de un recurso por otro ya que en base a la metodología planteada en el punto anterior el trasvase Tajo-Segura y la desalinización serían dos recursos complementarios.

El trasvase Tajo-Segura y las plantas desalinizadoras geográficamente próximas al área de influencia de este trasvase, no pueden considerarse como recursos sustitutivos, puesto que son plantas que pueden proporcionar agua si existe una gran escasez, pero el coste energético es desproporcionadamente mayor que el del trasvase Tajo-Segura. Las características de estas desalinizadoras y el trasvase hacen que sean recursos complementarios. En este epígrafe vamos a describir las diferencias existentes entre la desalación y el trasvase Tajo-Segura en lo referente al consumo energético de ambos procesos. El consumo energético es para ambos recursos el principal coste de explotación, por ello nos vamos a centrar en este[87]. Para obtener un resultado de mayor precisión vamos a analizar directamente el consumo energético y no el coste económico del mismo, pues si tomamos en cuenta lo que se paga por esta energía entran en juego una infinidad de variables tales como subvenciones o tarifas especiales que pueden distorsionar los resultados (Renzetti 1992, pp.147-163; Renzetti 1999, pp.688-704; Renzetti 2001, pp.123-140; Van Humbeeck 2001, pp. 279-295; Whittington 1992, pp. 75-87).

[87] Además del energético, el coste de amortización tiene un gran peso, pero estamos centrándonos en los costes de explotación, por ello no lo vamos a tener en cuenta.

En este punto pretendemos responder a una pregunta. ¿Cuál es la diferencia en el consumo energético entre el Trasvase Tajo-Segura y la desalinización? Previamente a la investigación desarrollada, nos planteamos la siguiente respuesta como nuestra hipótesis a contrastar: sabemos que el consumo energético del trasvase Tajo-Segura es menor al de la desalinización, la hipótesis que queremos verificar es si el consumo energético máximo del Trasvase Tajo-Segura es menor que el consumo energético medio de la desalación. Por tanto vamos a describir los costes energéticos de la desalación y del trasvase Tajo-Segura y a proponer un modo óptimo de gestionar los recursos hídricos teniendo en cuenta el objetivo de "obtener el agua necesaria al mínimo coste económico y ambiental posible" (Cueva y Lauria 2001, pp. 167-188).

La primera condición que debemos establecer para cumplir nuestro objetivo, es decir "obtener el agua necesaria al mínimo coste económico y ambiental posible" en el área de influencia del trasvase Tajo-Segura, es que existan las desalinizadoras. Esto es debido a que si no se pudiera contar con las plantas de desalinización, ante una gran escasez de agua en la Cuenca del Segura el trasvase Tajo-Segura proporcionaría un nivel muy bajo de recursos hídricos ya que existe correlación entre la pluviometría en la Cuencas del Tajo y la Cuenca del Segura (García 2008, pp. 110-120).

Esta condición nos indica que el trasvase Tajo-Segura no es un recurso que pueda sustituir a la desalinización a largo plazo, es decir, el contar con dicho trasvase no permite prescindir de la desalinización. Ahora bien, a corto plazo, si contamos tanto con la obra del trasvase como con la desalinizadora y existe un nivel de recursos suficiente como para poder ser abastecidos con agua trasvasada, tampoco sería eficiente utilizar el agua desalinizada, ya que es más costosa. De aquí podemos concluir que la desalinización tampoco es un recurso que pueda sustituir al trasvase Tajo-Segura ya que es un recurso

más costoso. La desalinización debe de entenderse en cierto sentido como un seguro, es decir es un modo relativamente caro de obtener agua pero que ofrece la ventaja de que si se diese una sequía pronunciada seguiría pudiéndose obtener agua desalinizada.

Esta conclusión es un tanto polémica debido a que existen diversas posturas enfrentadas a este respecto, si bien el que la desalinización es un recurso más seguro es un argumento poco discutido, la discusión se centra principalmente en el apartado de los costes energéticos y económicos.

Tanto en el trasvase como en la desalinización, si analizamos el coste marginal de obtención del recurso, dejando de lado la amortización, podemos ver que la mayor parte del coste de explotación es debido al consumo energético. Partiendo del análisis anterior si la desalinización tuviese un coste energético inferior al del trasvase, dado que además es un recurso más seguro, esto podría justificar el sustituir el agua del trasvase por la desalinizada. Nuestro análisis indica que no es así, es decir que el consumo energético y por tanto económico del trasvase Tajo-Segura es menor que el de la desalinización, no obstante una pregunta que nos podemos hacer es ¿es menor el máximo consumo energético del trasvase Tajo-Segura que el de la desalinización? Es decir, cabe tener en cuenta que el consumo energético de un trasvase es diferente para cada uno de los puntos a los que se pretende llevar el agua, por tanto vamos a analizar este caso particular con el fin de averiguar si el trasvase Tajo-Segura es más eficiente energéticamente que la desalinización[88].

[88] Cabe destacar que la metodología que vamos a emplear para comparar el consumo energético del trasvase y la desalinización puede ser extrapolada a otros casos. Si bien los datos de la desalinización serán siempre muy similares, la eficiencia económica y energética de cada trasvase será sustancialmente diferente. Es por ello que pudiéndose extrapolar la metodología de análisis, lo que no puede aplicarse para otros casos es la conclusión a la que lleguemos. Dicho de otro modo, el que la eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura sea mayor que el de la desalinización no es extrapolable por ejemplo al trasvase del Ebro.

3.4.1.1.- El coste energético del trasvase Tajo-Segura

En este punto nuestro objetivo será analizar la eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura a lo largo del recorrido del agua, estudiando los kW consumidos en los distintos tramos.

En el primer tramo se toman las aguas del embalse Bolarque, y mediante el uso de una central equipada con cuatro grupos reversibles de 203 MkW se salva un desnivel de 245 m elevando el recurso hasta la cumbre de la Sierra de Altomira mediante una galería de presión de 13.800 m hasta el embalse de la Bujeda.

En el segundo tramo se conduce el agua al embalse de Alarcón, que es una pieza importante en el trazado de la conducción del Trasvase, pues ha permitido reducir la longitud de las obras de conducción.

En cuanto al tercer tramo, correspondiente al postrasvase, comienza en el túnel del salto El Picazo, y se realiza una conducción de 106 Km. Finalmente el túnel de Talave que salva la divisoria Júcar-Segura en una longitud 32 Km, atraviesa la Sierra Hellín y el agua desemboca en el embalse de Talave mediante tres rápidas consecutivas.

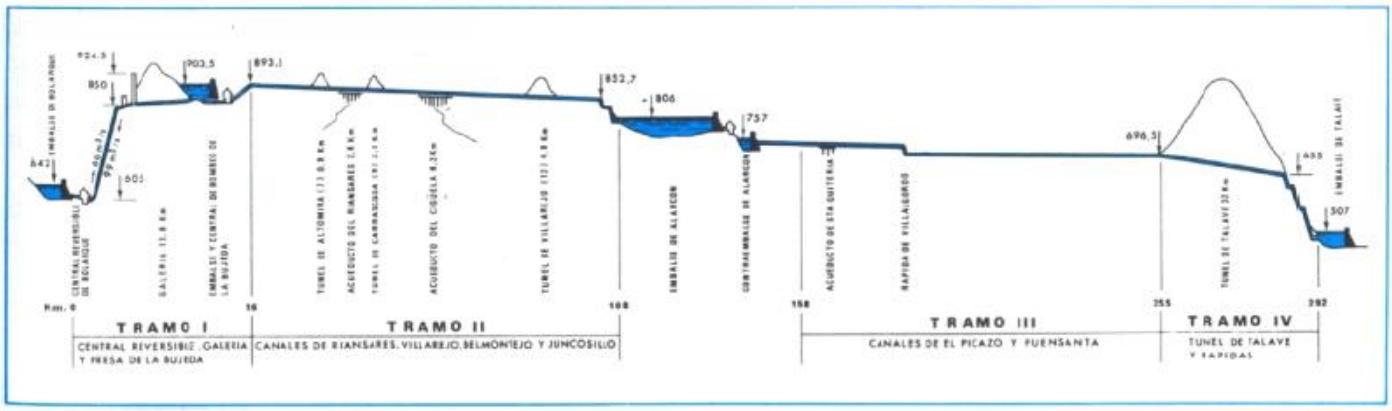
En la impulsión de Blanca, se toma el agua antes del Azud de Ojós, tras esta impulsión el agua va a la Zona II, la potencia necesaria para elevar un caudal máximo de 3 m^3/s a una altura de 170 m es de 9.000 kW. Desde el Azud de Ojós por la margen derecha empleando 4 grupos de impulsión de 40.000 kW de potencia total se eleva el agua 150 m de altura con una capacidad de caudal de 23 m^3/s. De este punto, comienza el canal de la

margen derecha y prosigue con el canal de Almería mediante el cual llega el agua hasta el Valle de Almanzora.

El Canal del Campo de Cartagena en la margen derecha dispone de la impulsión de Fuente Álamo que es capaz de elevar hasta 4,64 m^3/s hasta una altura de 93 m, la potencia necesaria para llevar a cabo esta impulsión es de 7.500 kW.

El coste energético del agua del trasvase Tajo-Segura no es homogéneo a lo largo del mismo. De modo que en función de donde valla un m^3, este requerirá un mayor o menor coste energético. Independientemente de cuál sea el destino del agua, debemos de repercutirle la energía que se consume en la elevación de Altomira, ya que toda el agua del trasvase Tajo-Segura pasa por este punto. Por otro lado, la elevación de Ojós afecta a toda la margen derecha. En el gráfico 3.5 podemos ver las elevaciones que tiene que salvar el agua en el trazado del trasvase.

Gráfico 3.5: elevaciones del trasvase Tajo-Segura



Fuente: Melgarejo y Montaño 2009

El agua destinada para riego en la Zona I, cuyo usuario es la C.R. (Comunidad de Regantes) Calasparra, Cieza, y Hellín tiene un coste energético de 0,87 kWh/m^3 ya que únicamente debe de salvar la elevación de Altomira. El agua que se emplea para el riego de la Zona II, representa un 2% del agua total, tiene un coste energético equivalente al consumo energético de Altomira 0,87 kWh/ m^3 más el consumo de la impulsión de Blanca 0,549 kWh/ m^3. Por tanto el agua que llega del trasvase a la Zona II tiene un coste energético de 1,419 kWh/ m^3. En la margen izquierda, el agua que es elevada en Crevillente, tiene un consumo energético compuesto por la elevación de Altomira 0,87 kWh/ m^3 más los 0,094 kWh/m^3 de Crevillente, resultando necesario por metro cúbico un consumo energético de 0,964 kWh. El agua elevada en Crevillente representa un 19,33% del total. También en la margen izquierda, de un modo similar a lo que ocurre en Crevillente, el gasto energético total del agua que se eleva en Fuente Álamo se obtiene sumando el consumo de Fuente Álamo 0,347 kWh/m^3 a la energía gastada en Altomira 0,87 kWh/m^3, con lo cual el metro cúbico elevado tiene un gasto energético acumulado de 1,217 kWh. El agua que circula por la margen derecha, sin pasar por más elevaciones que la de Ojós y Altomira, representa un 5,61% del total y tiene un coste energético de 0,87 kWh más 0,515 kWh, es decir 1,385 kWh/m^3. Los costes energéticos en la margen derecha son mayores que en la margen izquierda, ya que es necesario impulsar el agua en Ojós. Siendo así que el agua elevada en Alhama, que es un 16,75%, tiene un consumo compuesto por la impulsión de Alhama 0,413 kWh/m^3 más el consumo de Ojós 0,515 kWh/m^3 más el consumo de Altomira 0,87 kWh/ m^3, de modo que la energía total por metro cúbico que se consumido tras Alhama es de 1,798 kWh. Finalmente en la margen derecha está la elevación de Yéchar, en la que se eleva el 2% del agua, cuyo consumo energético es la suma del consumo de Yéchar (0,556 kWh/m^3), Ojós (0,515 kWh/m^3) y Altomira (0,87 kWh/m^3) , obteniéndose un consumo energético total de 1,941 kWh/m^3.

En el cuadro 3.3 podemos observar los distintos usuarios de riego que tiene el trasvase Tajo-Segura, así como el agua a la que tienen derecho por

concesión, las elevaciones que son necesarias para llevar el agua a cada usuario y en consecuencia el consumo energético.

Cuadro 3.3: elevaciones y kWh/m^3 necesarios para llevar el agua a cada usuario de riego del Trasvase Tajo-Segura

	zonas	usuarios	concesión trasvase m^3	Elevaciones necesarias	kWh/m^3
Vega Alta del Segura Zonas I-II-III y V	Zona I	C.R. Calasparra y Cieza	13.488.800	Altomira	0,87[a]
	Zona II	C.R. Sector A. De Abarán	4.000.000	Altomira y Blanca	1,419[b]
		C.R. Motor Resurrección			
		C.R. Grupo 1.485			
		C.R. Sector A. De Blanca	4.000.000	Altomira y Blanca	1,419
		C.R. Saque y Navela			
		C.R. Enrique Trenor			
	Zona III	C.R. Campotéjar	9.040.200	Altomira	0,87
		D. Mario Tárraga Agulló			
		C.R. La Molineta			
	zona IV	C.R. San Victor	2.780.000	Altomira	0,87
		C.R. Rambla Salada	2.488.000	Altomira	0,87
		C.R. Azarbe del Merancho	4.300.000	Altomira	0,87
		C.R. La Isla	2.285.312	Altomira	0,87
		C.R. La Santa Cruz	6.000.000	Altomira	0,87
		C.R. El Porvenir	7.182.860	Altomira	0,87
Riegos de Levante Margen Izquierda; Derecha; Vega Baja	Alicante	C.R. Riegos Levante M.I. Y Murada-Orihuela	77.330.867	Altomira y Crevillente	0,964[c]
		C.R. Riegos Levante	5.500.000	Altomira	0,87
		C.R. De Albatera	8.167.480	Altomira	0,87

y Tomás Delegadas (M.I) 125.000.000		C.R. S. Isidro y El	7.500.000	Altomira	0,87
	Tomas	C.R. La Murada Norte	2.000.000	Altomira	0,87
		C.R. Toma 1.- El Mojón	967.040	Altomira	0,87
		C.R. Lo Marqués	485.360	Altomira	0,87
		C.R. Lo Belmonte (C	666.920	Altomira	0,87
		C.R.Toma 2.- Las Cuevas	1.589.480	Altomira	0,87
		C.R. Toma 3.- Las Majadas	804.000	Altomira	0,87
		C.R. "El Carmen" (Salas Ortuño)	515.000	Altomira	0,87
		C.R. "Lo Reche"	1.415.360	Altomira	0,87
		C.R. Toma 11.- José Soto	66.600	Altomira	0,87
		C.R. Toma 12.- Manchón Candela	111.280	Altomira	0,87
		C.R. "El Perpetuo Socorro"	1.709.613	Altomira	0,87
	Pedrera	C.R. "Las Dehesas"	961.895	Altomira	0,87
		C.R. Barranco de Hurchillo	238.591	Altomira	0,87
		C.R. "San Onofre". Torremendo	1.715.337	Altomira	0,87
		C.R. "San Joaquín". Bigastro	479.692	Altomira	0,87
		C.R. La Fuensanta Grupo 2.000	1.007.101	Altomira	0,87
		C.R. "La Estafeta". Orihuela	55.252	Altomira	0,87
		C.R. "Santo Domingo". Bigastro	2.276.652	Altomira	0,87
		C.R. "Las Cañadas" S.M. Salinas	2.123.452	Altomira	0,87
		S.A.T. Mengoloma. Orihuela	208.452	Altomira	0,87
		C.R. Campo Salinas S.M. Salinas	2.123.452	Altomira	0,87

		C.R. "San Miguel" S.M. Salinas	1.922.534	Altomira	0,87
		C.R. El Pilar de la Horadada	2.621.980	Altomira	0,87
		AGROGIL.Orihuela			
		C.R. El Rio Nacimiento. Orihuela	627.869	Altomira	0,87
		Agrícola Villamartín. Torrevieja	110.505	Altomira	0,87
		C.R. Cañadas de San Pedro			
		C.R. "El Grajero". Torremendo			
Campo de Cartagena (M.I)		C.R. Campo de Cartagena	122.000.000	Altomira y Fuente Álamo	1,217[d]
Tramo Canal Margen Derecha	Lorca	C.R. Regadío de Lorca	29.060.000	Altomira, Ojós y Alhama	1,798[e]
		C.R. Trasvase de Sangonera	6.161.320	Altomira y Ojós	1,385[f]
		C.R. Trasvase de Librilla	6.854.680	Altomira y Ojós	1,385
		C.R. Trasvase de Alhama	10.372.000	Altomira, Ojós y Alhama	1,798
		C.R. Trasvase de Totana	12.552.000	Altomira, Ojós y Alhama	1,798
		C.R. "El Mayés". Villanueva S.			
		C.R. Riegos de Ricote			
		D.José García Gómez			
		D.José Riojo Rodríguez			
		C.R. Comarza			
		D.Hilario López Fernández			

Mula y su comarca (Margen Derecha)		C.R. Pantano de la Cierva	3.600.000	Altomira, Ojós y Yéchar	1,941[g]
		C.R. La Puebla	400.000	Altomira, Ojós y Yéchar	1,941
		C.R. "La Purísima" Yéchar	4.000.000	Altomira, Ojós y Yéchar	1,941
Almería y Valle de Almanzora (Margen Derecha)		C.R. "El Saltador"	7.500.000	Altomira, Ojós y Alhama	1,798
		Sindicato Central de cuevas de Almanzora	7.500.000	Altomira, Ojós y Alhama	1,798
Autorizaciones Provisionales		C.R. De Pulpí			
		C.R. Águilas			
		C.G. Riegos Meridionales			

a) Los 87 kWh/m^3 provienen de la elevación de Altomira

b) Los 1,149 kWh/m^3 se obtienen de la suma del consumo energético de la elevación de Altomira y Blanca

c) Los 0,964 kWh/m^3 provienen de la suma de las elevaciones de Altomira y Crevillente

d) Los 1,217 kWh/m^3 se obtienen de la suma del consumo energético de Altomira y Fuente Álamo

e) Los 1,798 kWh/m^3 son la suma del consumo energético en Altomira y Alhama

f) Los 1,385 kWh/m^3 son equivalentes a la suma del consumo energético en Altomira y Ojós

g) Los 1,941 kWh/m3 se obtienen de sumar el consumo energético de Altomira, Ojós y Yéchar

Fuente: Melgarejo y Montaño 2009

En el cuadro 3.4 podemos ver los distintos consumos energéticos que tiene el trasvase Tajo-Segura, y el porcentaje de agua trasvasada que corresponde a cada coste energético, agrupando los datos por kWh necesarios por metro cúbico.

Cuadro 3.4: Los costes energéticos del agua para riego

Zona	***hWh/m³***	***m3(concesión)***	***%***
Zona I (C.R de Calasparra y Cieza)	***0,87***	95.234.305	23,81%
Zona II	***1,419***	8.000.000	2,00%
Riegos de Levante Margen Izquierda	***0,964***	77.330.867	19,33%
Campos de Cartagena	***1,217***	122.000.000	30,50%
Lorca, Totana, Alhama y el Valle de Almanzora	***1,798***	66.984.000	16,75%
Yéchar, Pantalo de La Cierva, La Puebla.	***1,941***	8.000.000	2,00%
Margen Derecha (salvo las zonas de la MD citadas anteriormente)	***1,385***	22.450.828	5,61%
Coste medio	**1,21**		
Totales		**400.000.000**	**100,00%**

Fuente: Elaboración propia a partir de las dotaciones de trasvase y peaje de 2007 y de Melgarejo y Montaño 2009.

Por tanto, podemos ver que el consumo energético del trasvase Tajo-Segura tiene un mínimo de 0,87 kWh/m^3 que se da al llevar el agua a la Zona I (C.R. Calasparra y Cieza) y un consumo energético máximo de 1,941 kWh/m3, que corresponde a Yéchar, Pantano de la Cierva y La Puebla. Por otro lado el coste energético medio del trasvase, puede ser obtenido ponderando los distintos costes energéticos con los porcentajes de agua que tienen cada coste, de este modo obtenemos que el coste energético medio del Tajo-Segura es de 1,21 kWh/m^3.

3.4.1.2.- Análisis comparativo entre el coste energético de la desalinización y el trasvase Tajo-Segura

Como hemos analizado en este trabajo, los métodos de desalación pueden ser térmicos o de membrana, actualmente en nuestro país la desalación se hace por lo general mediante ósmosis inversa (Wilf y Klinko 2001, pp. 299-306). La ósmosis inversa, al igual que la electrodiálisis y demás sistemas de membranas, tienen un menor consumo energético que los sistemas térmicos. El consumo energético primario de la ósmosis inversa es bajo, y su consumo de energía eléctrica está entre los 2,4-4,5 kWh/ m^3, siendo un sistema válido tanto para agua de mar como salobre. Debido a su consumo energético, sus menores costes de inversión, sus menores necesidades de superficie, y a su compatibilidad con todo tipo de agua, la ósmosis inversa es el sistema más habitual en España, por otro lado es el sistema que se emplea en el área receptora del trasvase Tajo-Segura.

En la desalinización por ósmosis inversa, al igual que en el trasvase Tajo-Segura, el gasto energético cobra una gran importancia ya que cerca de un 40% de los costes totales del proceso son referidos al apartado energético[89]. En el cuadro 3.5 podemos ver la importancia que cobra la energía en los costes de una planta de ósmosis inversa en España.

[89] Los costes energéticos de la desalación por ósmosis inversa tienen un peso cercano al 40% del total de costes del proceso si tenemos en cuenta la amortización de la planta. Por su parte los costes de amortización de la planta están en torno 38% del total de los costes, si dejamos de lado la amortización por ser un coste de inversión, y nos centramos en los costes de explotación, el consumo energético representaría un porcentaje mucho mayor del 40% de los costes. En la tarifa del trasvase Tajo-Segura sí se contempla la amortización de la obra.

Cuadro 3.5: Distribución porcentual de los costes de una planta de ósmosis inversa

Distribución porcentual de los costes de la desalación	
Partida	**Porcentaje**
Amortización	33-43
Mantenimiento	3,5-4,5
Limpieza química	0,2-0,3
Cambio de membranas	2-5
Reactivos químicos	2-6,5
Mano de obra	4-11
Energía	37-43

Fuente: David Martínez (2003)

El consumo energético, de la desalación por ósmosis inversa depende de la presión con que opera la planta. Esta presión depende fundamentalmente del grado de salinidad con la que se trabaja, a menor grado de salinidad menor presión, y por tanto menos consumo de energía. En general, la presión operativa oscila entre 10-25 bares para aguas salobres y entre 50-80 bares si estamos trabajando con agua de mar. Por otro lado la presión operativa está también en función del diseño de la planta y del tipo de membranas utilizadas (si se reduce la permeabilidad de las membranas podremos obtener una cantidad menor de agua desalada). La densidad del agua a tratar es otra de las variables que influyen en el consumo energético de la desalación por ósmosis inversa. Cuando se esté desalando agua de mar, la salinidad y la temperatura de la misma configuran la densidad del agua, de modo que cuanto mayor es la salinidad y menor la temperatura, más densa es el agua y por tanto, más

consumo energético necesitamos para desalarla. Existen grandes diferencias en el consumo energético en función de cuál sea la salinidad del agua. Las aguas salobres son aquellas que tienen entre 1 y 10 gramos de sal por litro, el consumo energético necesario para desalinizar un agua con esta salinidad mediante ósmosis inversa está entre 1 y 1,5 kWh/m^3. Por otro lado el agua de mar tiene una salinidad entre 38 y 40 gramos de sal por litro, dado este volumen de sal, es necesario en términos medios, un consumo energético para desalinizarla de entre 3,5 y 5 kWh/m^3. La tasa de recuperación también influye en gran medida en el consumo energético de una desalinizadora por ósmosis inversa (Duncan 2006, Stover 2004, pp. 313-321). La tasa de recuperación es el porcentaje que representa el caudal del permeado, con respecto al caudal de alimentación. Cuando trabajamos con aguas salobres, la tasa de recuperación puede alcanzar el 80%, pero con agua de mar, la tasa de recuperación oscila entre el 40% y el 55%. La antigüedad de la planta es otro de los factores determinantes del consumo energético de esta. Otra de las variables que influyen sobre el consumo energético de la planta es el tamaño, existiendo una relación negativa entre el consumo energético por metro cúbico y el tamaño de la planta, de modo que a medida que la planta es más grande, el consumo energético por metro cúbico disminuye. Es decir, existen rendimientos crecientes a escala en términos energéticos.

Para llevar a cabo un análisis comparativo entre los costes energéticos del trasvase Tajo-Segura y la desalinización, nos interesa en particular el coste energético de las principales desalinizadoras que abastecen la misma zona que el trasvase, estas son: Alicante I, San Pedro I y San Pedro II[90]. El consumo energético promedio de estas plantas es de 4,35 kWh/m^3, si bien se suele establecer el consumo energético medio la cifra de 3,8 kWh/m^3, como podemos ver la media de estas plantas es superior[91]. En el cuadro 3.6 podemos ver

[90] En las provincias de Almería, Alicante y Murcia, existen más plantas de las que hemos mencionado. El haber seleccionado éstas y no otras es debido simplemente a que para estas plantas teníamos acceso a una información fiable y uniforme, no siendo así para el resto.

[91] Este consumo energético es el que corresponde al agua desalinizada a pie de planta, después habría que imputarle el coste de llevarla hasta los puntos de distribución en alta.

cuáles fueron los consumos energéticos por metro cúbico en el año 2008 de estas tres plantas:

Cuadro 3.6: Consumos específicos medios del año 2008 en desaladoras del área de influencia del trasvase Tajo-Segura (kWh/m^3).

PLANTA	Bombeo hasta filtros	Turbobombas	Bombeo Producto	Tratamiento y S.A.	Σ Total de Procesos
ALICANTE I*	0,892292	3,482022	0,648673	0,122435	5,145423
SAN PEDRO I**	0,4118035	3,09459568	0,39547927	0,041451	3,943629
SAN PEDRO II***	0,3797953	3,086668	0,34190166	0,163435	3,971800

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Mancomunidad de Canales del Taibilla

*Puesta en marcha en 2003

**Puesta en marcha 2005

***Puesta en marcha 2006

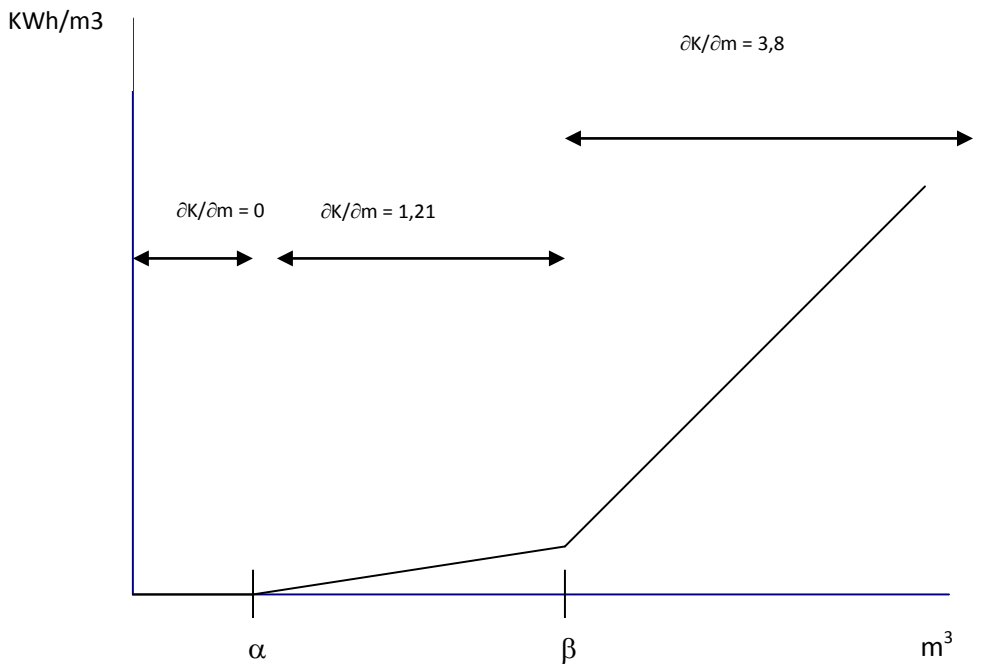
Por tanto queda claro que si comparamos el consumo energético medio de la desalinización en estas plantas que es de 4,35 kWh/m^3 con el del trasvase Tajo-Segura que es de 1,21 kWh/m^3 podemos concluir que el consumo energético de la desalinización es mucho mayor (Escurra 2004). Si el análisis lo hacemos teniendo en cuenta el consumo energético máximo del trasvase, que es de 1,941 kWh/m^3 vemos que la desalinización sigue consumiendo más energía. El hecho de que el consumo energético sea mayor en el caso de la desalinización se acaba convirtiendo en un mayor coste económico (0,23€ del trasvase frente a 0,5€ de la desalinización) y emisiones de CO_2 (Sánchez 2004, pp. 20-23). Si dispusiéramos de ambos recursos, trasvase Tajo-Segura y desalinización y dejásemos de emplear agua del trasvase para consumir agua desalinizada, ello supondría incurrir en un mayor coste económico, energético y en unas mayores emisiones de CO_2.

Para entender mejor el problema al que nos enfrentamos y sus posibles soluciones a corto o medio plazo vamos a modelizar dicha situación. Supongamos una economía con único input, el agua, y dos outputs, la riqueza medida por el PIB (output deseable) y las emisiones de CO_2 (output indeseable). La generación de riqueza precisa por tanto del uso del agua, de modo que la riqueza depende positivamente del agua empleada. Vamos a suponer, que la disponibilidad de agua en nuestro ámbito de análisis es ilimitada, ahora bien, existe una cantidad α de agua que no lleva ligado ningún coste energético; para cantidades de agua entre α y β el coste energético que va a tener el agua es de 1,21 kWh/m^3, es decir el coste energético medio del trasvase Tajo-Segura; para cantidades mayores de agua empleada que β el coste energético es de 3,8 kWh/m^3, de modo que en nuestro modelo, el consumo energético dependerá de la energía del siguiente modo:

$$\text{kWh/ m}^3 = \begin{cases} 0 & \text{Si m3} < \alpha \\ 1{,}21\text{m}^3 & \text{Si } \alpha \leq \text{m}^3 \leq \beta \\ 3{,}8\text{m}^3 & \text{Si m}^3 > \beta \end{cases}$$

De modo que, el coste energético del agua, se correspondería con la restricción del gráfico 3.6. Donde para simplificar, denotaremos con K los kWh/ m^3 y por m los metros cúbicos.

Gráfico 3.6: restricción energética



Por otro lado, al consumir energía estamos produciendo un output que afecta de un modo negativo el bienestar de la población, el CO_2 (Pashardes y Hajispyrou 2002). Ciertamente, el hecho de consumir energía no hace que necesariamente estemos generando CO_2, sino que esto dependerá del modo en el que se produzca la energía. Actualmente en España el consumo de energía eléctrica lleva ligado consigo las emisiones de CO_2, de modo que en nuestro modelo supondremos que se da esta situación. El objetivo de la economía que estamos describiendo, es maximizar la riqueza que generan, minimizando sus emisiones de CO_2. Vamos a suponer que la función de utilidad de cada uno de los individuos de esta sociedad es la misma, de modo

que la combinación entre riqueza y CO_2 que maximiza el bienestar de un individuo de esta economía es la que a su vez maximiza el bienestar de toda la economía. Representaremos la utilidad de los individuos mediante una Cobb Douglas de parámetros δ y γ. De modo que nos enfrentamos al siguiente problema de maximización (donde Y es la riqueza medida por el PIB y C el nivel de CO_2)[92].

$$\text{MAX}$$

$$U(Y,C) = \delta \text{Ln } Y - \gamma \text{Ln } (|1\text{-kg of } CO_2|)$$

$$\text{s.t.:}$$

$$Y = \varphi\, m^3$$

$$\text{Kg de } CO_2(m^3) = \begin{cases} 0 & \text{Si } m3 < \alpha \\ 2{,}23m^3 & \text{Si } \alpha \leq m^3 \leq \beta \\ 6{,}99m^3 & \text{Si } m3 > \beta \end{cases}$$

Siendo :

$$\alpha < \beta$$

[92] Por cada kWh se emiten aproximadamente 1,84 Kg de CO_2.

$$\alpha, \beta, \delta, \gamma, \varphi > 0$$

α y β son dos constantes. α representa la cantidad de agua que no tiene asociado un consumo energético. (β - α) es la cantidad de agua disponible en el trasvase Tajo-Segura. β es la cantidad total disponible entre los recursos superficiales y el trasvase. δ, γ, φ son constantes. En este análisis suponemos que es necesario consumir un mínimo de agua para satisfacer las necesidades básicas (m_0). Vamos a analizar cuál sería el consumo óptimo de agua en función de m_0, en concreto vamos a distinguir tres casos:

- Si $m_0 < \alpha$ $\quad m^3 - \varepsilon = \alpha$

Siendo ε un número muy pequeño, de modo que se consumiría una cantidad de agua prácticamente igual a α.

- Si $\alpha \leq m_0 \leq \beta$ $\quad m^3 = \frac{\delta}{2.23(\delta-\gamma)}$

En este caso si $\gamma > \delta$ tendríamos que $m^3 = \alpha$. Por otro lado si $\delta > \gamma$ entonces $\alpha \leq m^3 \leq \beta$, de modo que si δ aumentara el agua sería más productiva y por tanto su consumo se incrementaría. En el caso de que γ incrementara, esto significaría que las emisiones generarían más malestar y en consecuencia disminuiría el consumo de agua del trasvase.

- Si $m_0 > \beta$ $\quad m^3 = \frac{\delta}{6.99(\delta-\gamma)}$

En este caso si $\gamma > \delta$ tenemos que $m^3 + \varepsilon = \beta$. Siendo ε un número muy pequeño, de modo que se consumiría una cantidad de agua prácticamente igual a β. Si $\delta > \gamma$ entonces $m^3 \geq \beta$, así pues si δ aumenta, esto significará que el agua es más productiva y por tanto su consumo se verá incrementado. Por

otro lado un incremento de γ significa que las emisiones generan un mayor malestar de modo que estas disminuirán.

Lo que realmente nos interesa del modelo propuesto no es tanto su resolución, sino un concepto clave del mismo. El punto óptimo no nos permite alcanzar un crecimiento económico ilimitado, debido a que debemos mantener un equilibrio entre emisiones de CO_2 y crecimiento económico. La mejor actuación posible, consiste en cambiar el problema que estamos considerando, de modo que las emisiones de CO_2 no estén ligadas al consumo energético, y a su vez sería deseable que el consumo de agua no estuviese vinculado al consumo energético. En la Cuenca del Segura, no existen soluciones técnicas para obtener agua sin consumir energía eléctrica, en cambio, si es posible conseguir que el consumo energético no esté ligado a las emisiones de CO_2. Para conseguir esta meta, habría que modificar los métodos de producción de energía, haciendo un mayor uso de las energías renovables y disminuyendo el uso de los combustibles fósiles. Por otro lado, además de reducir las emisiones de CO_2 conseguiremos reducir la dependencia energética del exterior.

3.5.- Conclusiones del capítulo.

En este capítulo hemos visto que puede optimizarse matemáticamente la gestión económica de los recursos hídricos en un sistema hídrico cerrado o abierto a corto plazo. Para ello son variables determinantes la cantidad disponible de cada tipo de recurso hídrico, la demanda de cada sector económico y el coste total del abastecimiento de cada unidad de recurso a cada unidad de demanda. Las principales demandas de recursos hídricos son la agrícola, la urbana y la industrial. Por el lado de la oferta tenemos los recursos superficiales, subterráneos, residuales, trasvasados y desalinizados.

Hemos analizado que características debe de presentar un recurso hídrico para ser preferible a otro (mayor seguridad de acceso al recurso, menor coste y mayor calidad), esta lógica puede ser útil a la hora de planificar una inversión en la que debemos de optar entre varias alternativas. Si bien dos recursos hídricos pueden ser sustitutivos siendo uno de ellos estrictamente preferido al otro, es complicado que esto suceda, ya que además de ser mejor en base a las tres características básicas de los recursos hídricos debe de existir un excedente de oferta para poder descartar su uso. En cualquier caso lo que si es conveniente es establecer el orden de preferencia de uso de cada recurso para cada demanda. En cuanto a las tres características básicas de los recursos hídricos, vemos que si intentamos proponer algún criterio adicional de comparación será combinación de las características ya mencionadas.

La desalinización es un recurso cuyo coste es elevado, es por ello que a corto plazo, para un nivel de demanda dado, si los recursos disponibles excluyendo la desalinización son suficientes para abastecer la demanda, puede ser conveniente no producir agua mediante desalinización. No obstante el razonamiento anterior no es válido para justificar la no construcción de una planta, ya que el que exista un equilibrio entre oferta y demanda a corto plazo no implica que este equilibrio vaya a mantenerse en el tiempo, bien porque la

demanda puede aumentar o porque pueden disminuir los recursos hídricos disponibles. La desalinización es el modo más costoso de obtener recursos hídricos y por ello debería de ser la última opción, no obstante cuando la escasez es muy aguda, ciertos trasvases pueden resultar más costosos que la desalinización. Esta polémica es la que ha enfrentado en España a los partidarios del trasvase del Ebro y a los de la desalinización, los protagonistas de éstos son desde la clase política hasta diversos sectores productivos, en especial los agricultores (Arrojo y Martínez 2009, pp.1-6). Si evaluamos la sustitución del agua desalinizada y la del trasvase del Ebro en base a las tres características básicas de los recursos hídricos, vemos que el agua desalinizada tiene una mayor calidad y seguridad, no obstante el tercer criterio referente al coste es el menos obvio (San Martín y Pérez 2002, pp. 2-10; Carpintero 2001, pp. 89-100).

El objetivo a largo plazo debe de ser satisfacer la demanda existente al mínimo coste posible junto con incentivar que dicha demanda se ajuste a un nivel eficiente. De entre las posibilidades para incrementar la oferta de recursos hídricos, en caso de que esto fuese necesario, se debe de escoger la que presente un menor coste independientemente de quien deba amortizarlo. El problema planteado en este capítulo deja de lado dos variables clave en el análisis a largo plazo del modelo de gestión de los recursos hídricos, como son el riesgo y el coste ambiental. No todos los recursos nos aseguran una cantidad de agua con la misma probabilidad, en este sentido, podemos afirmar que la desalinización prácticamente nos garantiza el acceso al agua, mientras que en el caso de los trasvases la disponibilidad de recursos dependerá de la pluviometría en la cuenca cedente. Por otro lado el coste ambiental de cada uno de los recursos también debe ser tenido en cuenta, existen unos niveles mínimos en las aguas subterráneas que limitan la cantidad máxima de recurso que se puede extraer y unos caudales ecológicos en los ríos que ponen tope a la cantidad a trasvasar. Por otro lado vemos que, desde un punto de vista racional y con la intención de minimizar los costes de abastecimiento hídrico, ningún recurso es prescindible a priori. No parece tener sentido el debate de

quienes se postulan a favor de la desalinización contra los favorables a los trasvases, en todo caso puede evaluarse si un trasvase real o proyectado es mejor o peor que una desalinizadora real o proyectada para abastecer una unidad de demanda concreta. Nosotros hemos aplicado esta metodología de análisis para comparar el trasvase Tajo-Segura con la desalinización geográficamente próxima y vemos que son recursos complementarios ya que siendo el agua de este trasvase más barata también ofrece menos garantías de acceso al recurso.

Otra conclusión importante a la que hemos llegado en este capítulo es que un recurso que es estrictamente preferible a otro a corto plazo puede no serlo a largo plazo. Esto se debe a que los costes pueden cambiar, así como la seguridad de acceso al recurso o la calidad del recurso. Además, a corto plazo puede existir un excedente de oferta que nos permite descartar el uso de un recurso hídrico y a largo plazo existir escasez.

Al observar el papel de la desalinización en el modelo de gestión integral de los recursos hídricos, vemos que esta puede ser entendida como un seguro en el caso en que exista un excedente de oferta, es decir, es un recurso muy costoso pero que nos garantiza la disponibilidad de los recursos hídricos para los que la planta esté dimensionada. Por otro lado, si existe escasez además de actuar como seguro sería un recurso que se emplearía de un modo continuo. Ahora que ya conocemos la desalinización así como su papel en el modelo de gestión conjunta de los recursos hídricos, vamos a analizar la realidad económica del mercado en el que se oferta este recurso. Hasta ahora hemos estudiado principalmente que razones justifican la demanda de agua desalinizada, pero nos interesa entender el otro lado de este mercado, es decir cómo y por qué se oferta este recurso. Las preguntas que nos planteamos para los próximos capítulos son ¿Qué empresas son las que construyen y explotan las desalinizadoras? ¿Cuál es la estructura de competencia de este sector económico?

4.- Las empresas españolas de desalinización.

4.1.- Análisis de las principales empresas del sector

El vuelco del Gobierno a favor de la desalinización como método de obtención de agua potable con el Programa A.G.U.A., así como la importancia que ha tenido en nuestro país la desalinización antes de dicho programa, han llevado a las empresas españolas de este sector a un periodo de auge. La mayoría de estas empresas están especializadas además de en la desalinización en otras formas de tratamiento de agua como la potabilización o la depuración (Gil et al 2009, pp. 997-1001). Lo que ha llevado a las empresas españolas a ser competitivas en el exterior ha sido sin duda su experiencia en desalinización. En la actualidad, las empresas españolas desalinizan más de 24 millones de metros cúbicos y se depuran más de 9,6 millones de metros cúbicos al día en todo el mundo (AEDyR)[93]. Sin lugar a dudas, España es uno de los países más avanzados en tecnologías mecánicas y electrónicas en el sector del agua. Este liderazgo internacional supone un triple desafío: establecer alianzas público-privadas para el desarrollo de estos tratamientos, reconciliar el desarrollo económico y tecnológico del mundo empresarial con necesidades reales e impulsar en la gestión del agua un marco regulatorio que normalice las políticas y acciones estatales en torno a esta. En muchos países del mundo, especialmente en el continente africano, es necesario recurrir a la potabilización, desalinización u otros tratamientos para obtener unos recursos hídricos suficientes para abastecer las necesidades de la población.

La desalinización es el activo que permite a las empresas españolas diferenciarse respecto a su competencia en todo el mundo, ya que estas se han posicionado como empresas sólidas tecnológica y financieramente, siendo avaladas además por su presencia en India, Oriente Medio o Norteamérica entre otros destinos. Uno de los programas de desalinización más importantes en los que participan las empresas españolas es el de Argelia, país en el que participan en las plantas de Mostagánem, Tlemcem y Beni Saf que producen 200.000 metros cúbicos al día, así como en las plantas de Skikda, Cap Djinet y Douaouda que generan 100.000 metros cúbicos diarios. En estas plantas participan las empresas españolas: Acciona Agua, ACS, Befesa, Inima, Spa y Sadyt. Destaca también la presencia de Acciona Agua en Estados Unidos, donde está reformando la planta de Tampa (Florida), con una capacidad superior a los 100.000 metros cúbicos diarios. Acciona Agua está también presente en Dighton (Massachussets) donde lleva a cabo la construcción de una planta en la desembocadura del río Taunton con el fin de reducir la salinidad ocasionada por el efecto marea.

En nuestro país se lleva más de treinta años trabajando en instalaciones desalinizadoras, y esto confiere a las empresas españolas la experiencia necesaria para ser competitivas en el mercado internacional. España es un referente mundial en el sector de la desalinización, con un gran número de empresas que operan a nivel internacional destacando: Acciona Agua, Aqualia, Befesa, Cadagua, Cobra, Infilco, Inima, OHL, Sadyt. Por otro lado, cabe destacar que la multinacional francesa Degremont tiene una unidad de desalinización muy potente que está integrada casi en exclusiva por personal español.

Además de las empresas privadas anteriormente citadas, existen otras entidades y organismos que tienen un papel relevante en la desalinización. En este sentido, cabe destacar el papel de las Sociedades Estatales de Aguas, siendo su objetivo principal el de impulsar el desarrollo y la explotación de infraestructuras hidráulicas. Estas sociedades son :

- Acuaduero (Aguas del Duero)
- ACESA (Aguas de la Cuenca del Ebro)
- Hidroguadiana
- AcuaJúcar (Aguas de la Cuenca del Júcar)
- AcuaSegura (Aguas de la Cuenca del Segura)
- AcuaTajo (Aguas de la Cuenca del Tajo)
- AcuaNorte (Aguas de la Cuenca del Norte)
- Aguas de la Cuenca del Ebro
- AcuaVir (Aguas de la Cuenca del Guadalquivir)
- AcuaMed (Aguas de las Cuencas Mediterráneas)

Por otro lado existen otros organismos estatales de gran importancia entre los que cabe destacar los siguientes:

- Mancomunidad de los Canales del Taíbilla. Se trata de un organismo autónomo adscrito también al citado Ministerio cuya fecha de inicio de actividad fue 1927. Esta se encarga de suministrar agua potable a la red primaria para abastecer aquellas poblaciones cuyos municipios son parte de la Mancomunidad, en total 79 repartidos en las provincias de Albacete, Alicante y Murcia. Por otro lado, tiene a su cargo la realización de estudios, redacción de proyectos así como la ejecución de obras destinadas al cumplimiento de la atribución descrita anteriormente (Gil 2004).
- Existen entidades públicas encargadas de la promoción de plantas desalinizadoras en Cataluña y en la Región de Murcia. En Cataluña, es la Agencia Catalana del Agua la que planifica, proyecta, adjudica y dirige las obras de las plantas, esto lo hace bien directamente o a través de la

empresa pública Aigües Ter Llobregat. A modo de ejemplo, la inversión de la planta del Prat de Llobregat, que ha sido inaugurada recientemente, ascendiendo a 230 millones de euros, de los cuales 150 han sido aportados por los Fondos de Cohesión de la UE, 26 por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el resto por la Generalitat de Cataluña.

- En la Región de Murcia existe el Ente Público del Agua, que se constituyó en 2004, es el propietario y gestor de una planta desalinizadora localizada en Escombreras (Cartagena)[94]. Esta entidad pública empresarial tiene como misión el promover la disponibilidad y el abastecimiento supra-municipal de agua para diversos usos.

Hay que destacar por otro lado el papel de las entidades gestoras. El cometido de estas es gestionar las plantas desalinizadoras una vez que han entrado en funcionamiento. Para ello la iniciativa privada constituye un importante agente económico en la gestión de este tipo de instalaciones, generalmente se llevan a cabo mediante uniones temporales de empresas. El sector público también está activamente presente a través de varios tipos de entidades tales como empresas municipales de aguas o entidades autonómicas (como la Agencia Balear del Agua y la Calidad Ambiental y los consejos insulares del agua en las Islas Canarias) u organismos autónomos adscritos al MARM.

Si valoramos la situación actual del sector en España desde un punto de vista empresarial, podemos observar que nuestro país cuenta con un sólido tejido productivo caracterizado por ser pionero en I+D+i y por acumular una dilatada experiencia en ejecución de grandes plantas “llave en mano” y su posterior explotación. Si tenemos en cuenta las cifras aportadas por Global Water Intelligence DesalData y la International Desalination Associatio, seis compañías españolas se sitúan entre los 20 mayores proveedores mundiales

[94] Esta planta que costó 117 millones de euros está actualmente en funcionamiento, la construcción y explotación de la misma la ha llevado a cabo Tedagua. La capacidad máxima de producción es de 63.000 m^3/día, siendo posible una futura ampliación a 72.000 m^3/día.

de agua desalinizada por capacidad instalada. Estas empresas son Befesa Agua, ACS (Cobra, Tedagua y Drace), Acciona Agua, Sadyt, Cadagua y Aqualia. La proliferación de plantas desalinizadoras en los últimos 20 años se ha visto impulsada por la innovación de los procesos y por la reducción de los costes energéticos asociados a una mejora tecnológica, hasta el punto de optimizar progresivamente la viabilidad de este proceso industrial. El ranking de empresas por capacidad instalada entre 2000 y 2007 según los datos de Global Water Intelligence DesalData y la International Desalination Association sería el que se muestra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: principales empresas de desalinización en el mundo.

Posición en ranking	Empresa	País
1	Veolia Environment	Francia
2	Fisia Italimpianti	Italia
3	Doosan	Korea
4	General Electric Water	USA
5	Suez Environment	Francia
6	Befesa Agua	España
7	ACS (Cobra)	España
8	Hyflux	Singapur
9	Acciona Agua	España
10	IDE Technologies	USA
11	Sadyt	España
12	Cadagua	España
13	Nomura Micro	Japón
14	Aqualia	España
15	Kurita Water Industries	Japón
16	John Holland	Australia
17	Wabag	India
18	Wetico	Arabia Saudí
19	ITT	Arabia Saudí
20	Aqualing	Noruega

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Global Water Intelligence DesalData y la International Desalination Association

El impulso del sector en el mundo y en España ha sido posible gracias al avance tecnológico de los procesos industriales, aunque existe recorrido en la mejora de los mismos, especialmente en la evolución de las membranas de ósmosis inversa. Las necesidades actuales del mercado se centran en ofrecer membranas más resistentes al cloro, al ensuciamiento, capaces de consumir menos energía y con mayor rechazo de ciertos compuestos (Fariñas 2004). Las empresas españolas son muy competitivas tanto en el mercado internacional. A continuación analizaremos esto con más detalle pero podemos poner algunos ejemplos de instalaciones representativas.

La empresa Drace[95] ha construido la desalinizadora de agua de mar del Prat de Llobregat, que es la mayor planta que se encuentra operativa hasta el momento en nuestro país[96].

Sadyt, como parte del consorcio GEIDA, fue adjudicataria de la construcción y explotación durante 25 años de la planta desalinizadora de agua de mar de Skikda (Argelia). La capacidad de este centro es de 100.000 m^3/día, inició su actividad en septiembre de 2008, y representa la primera planta inaugurada de un grupo de otras dos adjudicadas en Argelia al citado consorcio (Beni Saf y Tlemcem Hounaine, ambas de 200.000 m^3/día).

El consorcio liderado por Valoriza Agua (del Grupo Sacyr-Vallermoso al igual que Sadyt) y Técnicas Reunidas consiguió en 2008 el contrato para la construcción y explotación durante 25 años de una planta desalinizadora en Perth (Australia), de 140.000 m^3/día.

---

[95] Drace es una de las empresas españolas dedicadas a la construcción y explotación de desalinizadoras.

[96] La planta del Prat de Llobregat tiene una capacidad de 60 hm^3 anuales, la planta de Torrevieja tiene una mayor capacidad con 80 hm^3 pero debido a los problemas existentes a la hora de abastecerla energéticamente, está todavía sin funcionar.

Acciona Agua y Acciona infraestructuras son dos de las empresas que forman la UTE concesionaria de la construcción, explotación y mantenimiento de la planta desalinizadora que se está llevando a cabo en Torrevieja.

Actualmente en el extranjero, Acciona Agua gestiona una planta ubicada en Tampa (Florida, EEUU) que fue inaugurada en 2008 y cuyo periodo de adjudicación es de 20 años, la capacidad de esta planta es de 109.000 m^3/día siendo la ósmosis inversa la tecnología empleada. Otros proyectos de gran relevancia son la planta de Adelaida (Australia), Fouka (Argelia) y el de la Península de Paraguaná (Venezuela) cuyo periodo de puesta en marcha es 2010-2011.

El mercado español presenta un nivel de madurez alto y las empresas españolas han optado por diversificar la actividad de desalinización hacia otras actividades y otros mercados en el extranjero. En este sentido podemos diferenciar tres oportunidades para estas empresas:

1ª) Está la posibilidad que vamos a analizar con mayor detalle en este trabajo, que es progresar en los mercados foráneos, tales como Arabia Saudí, Argelia, Australia, China, Emiratos Árabes Unidos, India, Israel, Libia, Marruecos o Túnez entre otros.

2ª) Las aguas depuradas, que se regulan en el Real Decreto 1620/2007, deben cumplir unos criterios de calidad. En consecuencia, y según los casos, es necesario emplear el proceso de ósmosis inversa o la tecnología de membranas (ultra o microfiltración) para alcanzar los parámetros ótptimos exigidos en la normativa.

3ª) El agua destinada al consumo humano ha de cumplir unas exigencias de calidad en base al Real Decreto 140/2003. Aunque esta legislación está vigente desde hace años, la realidad es que en muchas instalaciones de tratamiento de agua potable no se está cumpliendo, acogiéndose a moratorias administrativas, y a medio plazo han de desarrollar proyectos de desalinización.

4.1.1.- Acciona Agua

Acciona Agua, es la división de la empresa Acciona dedicada a la gestión de recursos hídricos (www.acciona-agua.es). Desde la creación de esta división se han desarrollado numerosas soluciones innovadoras para abordar la problemática del agua. Por todo el mundo ha construido más de 100 instalaciones de tratamiento de agua potable que abastecen a más de 16 millones de personas. Algunas de las plantas más importantes que tiene Acciona Agua son: Port Stanvac (Australia) con una producción de más de 300.000 m^3 al día, Fouka (Argelia) o Tampa Bay (Florida). En cuanto a la depuración, Acciona Agua ha construido más de 300 depuradoras de aguas residuales, siendo la capacidad total cercana a los 7 hm^3 diarios, lo que supone una población equivalente de más de 33 millones de habitantes. En el sector de la depuración sus principales destinos son Chile, México, Turquía, Egipto y Portugal.

La empresa Acciona Agua tiene una amplia trayectoria en la aplicación de la tecnología de ósmosis inversa con agua de mar y salobre, tal y como lo demuestran las más de 70 referencias cuya producción de agua potable es superior a 1,8 hm^3 diarios. A diferencia de otras empresas, Acciona Agua posee una gran experiencia en todo el ciclo de vida de proyecto, es decir: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento. En el cuadro 4.2 podemos ver cuáles son las principales plantas desalinizadoras que ha llevado a cabo Acciona Agua tanto en España como en el extranjero.

Borja Montaño Sanz

Cuadro 4.2: principales desalinizadoras de Acciona Agua.

ACCIONA AGUA			Tipo de contrato	
Referencias de Construcción y Manetinimiento de desalinizadoras	**País**	**Capacidad (m3/día)**	**D&C**	**O&M**
Port Stanyac, Adelaida	Australia	300.000	X	X
Torrevieja, Alicante	España	240.000	X	X
Beckton Fase I y II- Londres	GB	150.000	X	X
Carboneras, Almería	España	120.000	X	
Fouka	Argelia	120.000	X	X
Tampa Bay, Florida	EEUU	108.831	X	X
Paraguaná	Venezuela	75.000	X	
Canal de Cartagena Fase I (BOT) Murcia	España	65.000	X	X
Canal de Cartagena Fase II, Murcia	España	65.000	X	X
Canal de Alicante (BOT), Alicante	España	65.000	X	X
Almería Capital (BOT)	España	50.000	X	X
Las Palmas III, Las Palmas	España	42.750	X	
Sureste de Gran Canaria	España	33.000	X	X
Tordera (BOT), Gerona	España	28.800	X	X
Ampliación Tordera, Gerona	España	28.800	X	X
Jávea (BOT), Alicante	España	26.000	X	X
Reggio Calabria	Italia	25.000	X	X
Santa Cruz de Tenerife	España	20.000	X	
Campo de Dalías, Almería	España	20.000	X	
San Antonio, Ibiza	España	17.500	X	X
Ceuta, Ceuta	España	16.000	X	
Almuñecar, Granada	España	16.000	X	X
Denia, Alicante	España	16.000	X	
Telde Fase II, Las Palmas	España	16.000	X	
Martos O.I. Jaén	España	15.000	X	X
Arucas & Moya (BOT), Las Palmas	España	15.000	X	X
Ciutadella (BOT), Ibiza	España	10.000	X	X
Jacarilla, Alicante	España	9.000	X	
Cervezas Dam, Barcelona	España	7.200	X	
Cap Milano	Italia	6.480	X	
Praia	Cabo Verde	5.000	X	
Guia, Las Palmas	España	5.000	X	
Galdar, Las Palmas	España	3.500	X	
Talara	Perú	2.200	X	X
Bocabarranco, Las Palmas	España	10.000		X
Roque Prieto, Las Palmas		5.000		X
36 plantas adicionales más pequelas	50.304			
Capacidad total			**1.793.917**	**1.446.987**

Siendo: D&C Diseño y Construcción; O&M Operación y Mantenimiento

Fuente: Acciona Agua

4.1.2.- Aqualia

La empresa Aqualia fue creada en el año 2002, aunque para hablar de los inicios de Aqualia tendríamos que remontarnos al año 1900 que fue cuando se creó en Barcelona Fomento de Obras y Construcciones (www.aqualia.es). Esta entidad inició su actividad en los servicios públicos en 1911. Más tarde en el año 1944 se fundó Construcciones y Contratas en Madrid y en 1980 se creó Seragua, S.A. una empresa especializada en la gestión integral del agua.

En 1992 se fusionaron las empresas Fomento de Obras y Construcciones con Construcciones y Contratas, más tarde en 1999 se integró el grupo Seragua. Más adelante la integración de estos tres grupos dio lugar a Aqualia, que hasta entonces era parte de la línea de negocio de FCC[97]. La empresa Aqualia está especializada fundamentalmente en la gestión integral del agua, pero también ha sido partícipe en la internacionalización dentro del sector de la desalinización.

En el año 2005 Argelia adjudicó a Aqualia Infraestructuras (la empresa del grupo Aqualia que se encarga de la construcción de desalinizadoras) la construcción de dos plantas en Argelia. Aqualia infraestructuras es una de las empresas pioneras en la desalinización, desarrollando proyectos de gran envergadura en todo el mundo. La experiencia de esta empresa es su principal aval para ofrecer un servicio integral, desde el momento en que aparece la necesidad del tratamiento, hasta la puesta en marcha de cada planta, pasando por el estudio y diseño de los procesos de los procesos de ingeniería y la

[97] Aqualia pertenece al grupo empresarial FCC (Fomento de Construcciones y Contratas)

propia construcción. Entre las principales referencias de Aqualia en desalinización destacan la planta de Santa Eulalia y Sant Antoni en Ibiza, la desalinizadora de agua marina del Delta de la Tordera en Barcelona, la desalinizadora de Roque Prieto (Gran Canaria) y otros proyectos en ejecución como las plantas de Mostaganem y Cap D'Jinet ambas en Argelia.

4.1.3.- Befesa

Befesa genera agua desalinizando agua de mar y reutilizando las aguas residuales urbanas para modernizar los regadíos y reducir su consumo (www.befesa.es). La capacidad de desalinización y potabilización de Befesa es superior a 1hm^3/día, con lo que más de cuatro mil millones de personas beben del agua que esta empresa genera. Las principales actividades de Befesa Agua son: la desalinización (ósmosis inversa, nanofiltración, electrodiálisis reversible y térmica), tratamiento de aguas (potabilización, depuración y reutilización), modernización de regadíos, obras hidráulicas (regulación y almacenamiento, abastecimiento y saneamiento, centrales hidroeléctricas), gestión hidrológica, agua industrial (tratamiento de aguas de proceso y de servicio, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de lodos).

BEFESA
Befesa Agua

De entre los proyectos de Befesa en el exterior destacan las de Tenés y Skikda en Argelia y la desalinizadora de agua de mar de Chennai (en India). Los directivos de esta empresa señalan que uno de los factores clave ha sido su disposición a probar oportunidades en algunos de los mercados más recientes y arriesgados del mundo. Befesa fue una de las primeras compañías españolas en operar en Argelia y destaca también por su reciente proyecto en India.

En el cuadro 4.3 podemos ver las principales referencias en desalinización de Befesa Agua.

Cuadro 4.3: Principales desalinizadoras de Befesa Agua[98]

Título	Cliente	Localización	Población Servida		Capacidad		Año	Presupuesto (€ sin IVA)
Desaladora de Ténès	Algerian Energy Company (AEC)	Ténès. Chlef. Argelia	800.000	hab.eq.	200.000	m^3/d	En ejecución	232.000.000,00
Desaladora Bajo Almanzora	Acuamed	Almería	140.000	hab.eq.	60.000	m^3/d	En ejecución	73.000.000,00
Desaladora Qingdao	The Qingdao Municipal Engineering and Public Utility Bureau	Qingdao. China	500.000	hab.eq.	100.000	m^3/d	En ejecución	135.000.000,00
Desalobradora en Baix Llobregat	Depurbaix	Barcelona	310.000	hab.eq.	60.000	m^3/d	En ejecución	13.000.000,00
I.D.A.M. de Minjur-Chennai	Chennai Metropolitan Water Supply and Sewerage Board (CMWSSB)	Tamil-Nadul (India)	500.000	hab.eq.	100.000	m^3/d	En ejecución	80.021.000,00
I.D.A.M. de Tlemcem Hounaine, Argelia	Algerian Energy Company (AEC)	Tlemcem Hounaine, Argelia	750.000	hab.eq.	200.000	m^3/d	En ejecución	149.838.000,00
I.D.A.M. de Skikda (Argelia)	Algerian Energy Company (AEC)	Skikda (Argelia)	500.000	hab.	100.000	m^3/d	En ejecución	100.000.000,00
I.D.A.M. de Cartagena	MIMAM	Murcia	330.000	hab.eq.	65.000	m^3/d	2006	36.924.326,57
Planta desalobradora de El Atabal	Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Sur, S.A. - ACUSUR	Málaga			165.000	m^3/d	2004	39.533.473,00
I.D.A.M. de Almería	Ayuntamiento de Almería	Almería	230.000	hab.eq.	50.000	m^3/d	2002	30.403.801,08
I.D.A.M. de Carboneras	Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Sur, S.A. - (ACUSUR)	Almería	500.000	hab.eq.	120.000	m^3/d	2002	68.516.523,33
I.D.A.M. Covisa	DSM Deretil, S.A.	Villaricos (Almería)	6.000	hab.eq.	1.000	m^3/d	1999	1.382.508,14
I.D.A.M. Precosa	Delphy Automative Systems España	Puerto Real (Cádiz)	6.000	hab.eq.	1.000	m^3/d	1995	1.798.829,23
I.D.A.M. de Valverde	Gobierno Canario - Consejería de Obras Públicas	Isla del Hierro (Tenerife)	3.400	hab.eq.	600	m^3/d	1994	151.062,83

[98] La información que se muestra en la tabla es la que ofrece Befesa en su página web, no

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Befesa

obstante algunas de las plantas que se presentan en la tabla como “En ejecución” ya están funcionando.

4.1.4.- Cadagua

La empresa Cadagua es la filial del grupo Ferrovial dedicada al tratamiento de agua (www.cadagua.es). Recientemente han conseguido realizar un contrato en India para construir una planta de agua potable por valor de 37,6 millones de euros. Esta planta tendrá capacidad para 170.000 m^3/día y se ubicará en la localidad de Hogenakkal, al sur del país. En la actualidad, Cadagua está llevando a cabo la construcción de una desalinizadora de agua marina en Chipre. En total dispone de 200 plantas de tratamiento de agua potable y 140 estaciones para aguas industriales, repartidos principalmente en China, Arabia Saudí, Venezuela, Francia, Reino Unido y Polonia.

Cadagua es una empresa española de tratamiento de aguas con una amplia experiencia y presencia en el mundo. Como en el resto de empresas españolas del sector, el mayor reto que ha afrontado Cadagua es la apertura de nuevos mercados. En 1967 la empresa logró su primer contrato internacional. Hoy Cadagua está presente en China, Arabia Saudita, Chipre, Argelia, Túnez, Chile, Venezuela, Portugal, Francia, Reino Unido y Polonia. Por otro lado, Cadagua está presente con sus propias oficinas en Polonia, Dubai y Nueva Delhi. Una de las particularidades estratégicas de Cadagua es que tienden a aliarse con socios locales lo que les permite descentralizar su actividad y ofrecer a sus clientes servicios adaptados a las condiciones y exigencias particulares de cada mercado. Uno de los apoyos clave de Cadagua es la presencia del Grupo Ferrovial en los cinco continentes.

Algunas de las principales referencias de Cadagua en desalinización de agua de mar son: Kümkoy/ Morphou (Chipre), Granadilla, Ceuta, Aguilas (Guadalentín), Dhekelia (Chipre), Valdelentisco (Cartagena), Melilla, Madinat Yanbu (Arabia Saudí), Alicante, Ceuta, Formentera, San Nicolás de Tolentino, Santa Cruz de Tenerife, Jerba (Túnez), Zarzis (Túnez), Formentera, Costa Lanzarote, La Oliva, Galdar, Lanzarote II.

4.1.5.- Cobra

La principal presencia en el extranjero de la empresa Cobra está en Argelia (www.grupocobra.com). Cobra se fundó en 1944 y ocupa posiciones de liderazgo en redes de distribución de energía y agua, en telecomunicaciones, ferrocarriles, sistemas industriales y en proyectos energéticos. El grupo Cobra está presente en un gran número de países entre los que destaca España, Libia, Portugal y México.

En la actualidad Cobra cuenta con más de 23.000 empleados y su facturación crece en cada ejercicio. Si analizamos el grado de apertura al exterior de esta empresa vemos que el 63% del volumen de negocio lo lleva a cabo en España, mientras que el 37% lo lleva a cabo en el exterior, en estas cifras se contemplan todas las líneas de negocio de la empresa. Cabe señalar que en el exterior, Cobra tiene el 49% de sus trabajadores (11.688) frente al 51% de trabajadores que tiene en España (11.696)

En cuanto al volumen de ventas en el exterior, el 76% va dirigido a Europa, el 19% a América, el 3% a África y el 2% a Asia y Oceanía. Estos son los datos corresponden a todas las líneas de negocio de la empresa, si tenemos en cuenta las cifras que hacen referencia a la desalinización se aprecia una mayor importancia relativa de África y Asia.

4.1.6.- Inima

La empresa Inima perteneciente al Grupo OHL[99] destaca en desalinización por su presencia internacional (www.inima.es). El primer proyecto internacional de Inima fue la desalinizadora de Arica en Chile, que se puso en marcha en 1998. Más adelante llevaría a cabo proyectos en Brasil (1999), EEUU (2000), México (2003) y Argelia (2005). Los objetivos inmediatos de ampliación de negocio son Oriente Medio y Próximo así como los nuevos miembros de la Unión Europea como Rumanía o Bulgaria.

OHL es uno de los grupos españoles más importantes de construcción, concesiones, medio ambiente, desarrollo e industrial. OHL cuenta con el aval de una experiencia de más de noventa años en el mercado nacional e internacional, actualmente está presente en más de veinte países en los cuatro continentes. El crecimiento de OHL en los últimos años ha sido notable, habiendo evolucionado en gran medida su actividad exterior, el Grupo se ha consolidado como un gran grupo internacional. La prioridad del Grupo ha sido la internacionalización ya desde el inicio de su actividad, la primera obra se realizó en 1912 con la construcción de dos dársenas en el puerto de Lisboa. Algunas de las principales referencias de OHL en el exterior son la Desalinizadora Los Cabos (México), la Desalinizadora Mostaganem (Argelia) o la Desalinizadora Río Taunton (Massachusetts, EEUU). En el cuadro 4.4 podemos ver las principales referencias de desalinización de Inima:

[99] OHL es uno de los mayores grupos españoles de concesiones, construcciones, industrial, desarrollos y medio ambiente. OHL cuenta con más de un siglo de experiencia y presencia en 25 países de los cinco continentes.

Cuadro 4.4: principales referencias en desalinización de Inima

Contrato	Cliente	Tratamiento	Caudal	Población	Año
Moncofa	Acuamed	O.I.	49.315 m3/d	(Castellón)	2008
EDAM Los Cabos	OOMSAPASLC	EDAM	20.736 m3/d	(México)	2006 - 2026
Cabo Verde I	Ministerio de Ultramar de Portugal	MSF	35.000 m3/d.	(Cabo Verde)	1968 -1975
Fuerteventura I	MOPU	MSF + e	2.000 m3/d.	(Gran Canarias)	1970
Lanzarote I	MOPU	MSF + e	5.000 m3/d.	(Gran Canarias)	1973 - 1975
Las Palmas III	MOPU	OI	36.000 m3/d.	(Gran Canarias)	1986 - 1990
Lanzarote II	INALSA	OI	5.000 m3/d.	(Gran Canarias)	1986 - 1990
Puerto Rosario	MOPTA	OI	4.000 m3/d.	(Fuerteventura)	1988 - 1998
Lanzarote III	MOPU	OI	20.000 m3/d	(Gran Canarias)	1990 - 1996
Marbella	DECOSOL	OI	56.000 m3/d.	(Málaga)	1994 - 1996
Las Palmas	Gobierno Canario	MED	35.000 m3/d.	(Telde)	1997 - 2003
Antofagasta	ESSAN	OI	52.000 m3/d.	(Chile)	2003 - 2023
Carboneras	ACUAMED	OI	120.000 m3/d.	(Almería)	2003 - 2028
Los Cabos	OOMSAPAS	OI	20.736 m3/d.	(México)	2006 - 2026
Mostaganem	AEC	OI	200.000 m3/d.	(Argelia)	En Construcción
Cap DJinet	AEC	OI	100.000 m3/d.	(Argelia)	En Construcción
Canales del Taibilla	Mancomunidad de Canales del Taibilla	OI	69.000 m3/d.	(Alicante)	En Construcción

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Inima

4.1.7.- Sadyt

La Sociedad Anónima de Depuración y Tratamiento, Sadyt, perteneciente a Valoriza Agua es otra de las empresas españolas líderes en el ámbito de la desalinización y tratamiento de aguas (www.sadyt.com). Es quizás de entre las empresas analizadas la que ha presentado un mayor crecimiento durante los últimos años. Sadyt ha construido más de 55 desalinizadoras y produce más de 1,3 hm^3/día. Las principales actividades de Sadyt son la desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa y electrodiálisis reversible, la potabilización, la depuración y la reutilización y desalinización para uso agrícola. En el exterior tiene importantes clientes, su último gran contrato es el de la desalinizadora de Perth (Australia) donde tiene un contrato de construcción y posterior operación y mantenimiento durante 25 años, y destacan también las desalinizadoras de Skikda y la de Themclen Hounaine (Argelia).

Sadyt es otra de las empresas españolas que pertenece al grupo de compañías de tratamiento de agua líderes a nivel mundial. En poco más de diez años de existencia, Sadyt ha alcanzado una intachable reputación técnica que le ha permitido optar y ganar algunos de los contratos más importantes en el mercado internacional de desalinización. Algunas de las plantas de Sadyt incluyen la implantación de sistemas de energías renovables e importantes medidas de integración arquitectónica, paisajística y ambiental mediante la utilización de materiales ecológicos, tecnologías sostenibles, vegetación autóctona, aprovechamiento del terreno o eficiencia energética. Los principales mercados en el exterior de Sadyt son Argelia, Australia, Túnez e Israel.

Sadyt multiplicó por tres su facturación en sus diez primeros años de existencia y cuenta ya con una cartera de pedidos en firme en España y sobre todo internacional para multiplicar su cifra de negocio por diez.

4.2.- Análisis del proceso de internacionalización de las empresas españolas de desalinización

La escasez de recursos hídricos que afecta a España en general, y al arco mediterráneo y las islas españolas en particular, ha obligado a planificar un entramado complejo para poder disponer del agua suficiente para la actividad productiva[100]. Los esfuerzos en investigación, inversión y continuos debates sociales para lograr el acceso al agua en todas las partes de nuestro país han generado por su parte una externalidad positiva. Hemos adquirido un fuerte *know how* y han aflorado empresas especializadas en el diseño, construcción y explotación de plantas de desalinización y depuración. En este punto pretendemos analizar qué ha llevado a estas empresas a su internacionalización y estudiar el modo en que han llevado a cabo este proceso. Por tanto nuestro objetivo es responder a la siguiente pregunta ¿Cuales son los motivos que han llevado a este conjunto de empresas a su internacionalización? De la respuesta que podemos dar a esta pregunta previa al análisis surge la hipótesis que vamos a contrastar, el motivo que ha empujado a estas empresas a su internacionalización es que era el único modo de poder seguir creciendo con el mismo producto. De modo que las empresas españolas de desalinización expandieron su oferta hacia otros países. Una vez cubierta la demanda insatisfecha de recursos hídricos en España, la única forma posible de seguir creciendo sin cambiar el producto ofertado es montando nuevas plantas en áreas geográficas de escasez de recursos hídricos.

Este conjunto de empresas cuenta con un gran número contratos de construcción y explotación, tanto en nuestro país como en el extranjero. Nosotros estamos especialmente interesados en los clientes que se ubican en el exterior, ya que vamos a analizar el proceso de internacionalización. Pero

[100] Más allá del recurso correspondiente a las aguas superficiales, en España ha sido necesario recurrir a trasvases entre cuencas hidrográficas, depuración y reutilización de aguas residuales, extracción de aguas subterráneas y desalinización.

para poder entender bien el proceso de internacionalización hay que estudiar previamente el sector en España.

El conjunto de empresas españolas dedicadas a la desalinización surgieron a partir de empresas del sector de la construcción. Inicialmente estas empresas comenzaron a trabajar en el sector del tratamiento de agua construyendo en nuestro país desalinizadoras y depuradoras para comunidades de regantes, empresas privadas y el sector público[101].

La demanda de plantas de tratamiento de estas empresas provenía prácticamente de todos los sectores económicos. El sector agrario a través de comunidades de regantes demandó plantas depuradoras para reutilizar el agua y pequeñas desalinizadoras. Respecto al sector turístico, destaca en especial la demanda de depuradoras en los campos de golf, cabe señalar también que este sector tiene una eficiencia económica suficiente demandar desalinizadoras si fuese necesario. El sector industrial ha demandado la construcción de plantas de agua ultrapura, en el caso del sector eléctrico se han llevado a cabo centrales térmicas y de biomasa, se han construido numerosas EDARs en industrias alimentarias.

Este grupo de empresas están especializadas en la ingeniería, dedicándose a diseñar y construir las instalaciones en la fase inicial y en la siguiente fase explotan la planta. Aunque no necesariamente construyen y explotan la planta, ya que en ocasiones solo llevan a cabo una de las dos

[101] Los clientes son básicamente de dos tipos, público y privado. En lo referente a los clientes del sector público cabe señalar que lo habitual en estas empresas es que los contratos con el sector público se consigan tras presentarse a licitaciones públicas para la construcción y/o explotación de desalinizadoras, depuradoras, potabilizadoras o tratamientos terciarios. Los principales clientes nacionales han sido Acuamed y el Ministerio de Medio Ambiente. Respecto al sector privado, han trabajado para múltiples sectores: agrícola, turístico, ocio, eléctrico e industrias alimentarías.

actividades. Para el proceso de montaje y construcción de la planta estas empresas compran todos los materiales que necesitan, con lo cual existe una relación comercial con una serie de proveedores que puede resultar decisiva en cuanto a la competitividad.

El poder de mercado de los proveedores con respecto a la empresa de ingeniería es moderado, no siendo extremadamente alto pero tampoco es pequeño. De cada componente la empresa de ingeniería tiene unos tres o cuatro proveedores de confianza[102]. Los componentes son muy específicos y poco homogéneos entre los que ofrecen los distintos proveedores, de hecho es tan baja la homogeneidad que se identifica a cada componente con el nombre de la empresa que lo oferta. El conjunto de empresas de construcción y explotación de desalinizadoras, acceden a los componentes en igualdad de condiciones. La relación comercial con los proveedores sería sustancialmente diferente en el caso en el que se diera que una de las empresas de construcción y explotación de desalinizadoras se integrara verticalmente con uno de los proveedores.

Como hemos mencionado, estas empresas se dedican en España no solo a la desalinización, sino también a la depuración, potabilización y otros tratamientos del agua. Sin embargo, si analizamos el proceso de internacionalización, destaca el hecho de que en el exterior estas empresas se dedican casi en exclusiva a la desalinización. Esto se debe a varios motivos, pero las causas principales son tres. En primer lugar destaca el hecho de que las empresas españolas poseen una gran experiencia (de más de treinta años) en el campo de la desalinización. En segundo lugar, el nivel de *know how* y el valor añadido que pueden ofrecer las empresas españolas de desalinización es muy superior al de las empresas de ingeniería locales en los países de

[102] A modo de ejemplo, Sadyt cuenta, entre otros, con los siguientes proveedores:
Membranas: Toray, Hydranautics, Dow Chemical, Trisep y Koch.
Bombas de alta presión: IDP, Sulzer y Calder.
Tubos de presión de membranas: Codeline y Bekaert.

destino[103]. En la desalinización, la obra civil supone aproximadamente un 15-30% del coste del proyecto, frente al 50% en proyectos de depuración de aguas residuales, esto hace que la dependencia respecto a los socios locales sea mucho menor y por tanto es más fácil llevar a cabo proyectos de desalinización.

En cuanto al modo de entrada de estas empresas en el extranjero, es habitual el que se realicen consorcios con empresas u organismos del país de destino (Moosa 2002). El modo más habitual de iniciar una actividad económica en un país es presentándose a una licitación, bien individualmente o en consorcio. Por ejemplo, Argelia convocó unas licitaciones públicas a las que se podía presentar cualquier empresa para ser precalificada. Para concursar en este proceso las empresas Sadyt, Cobra y Befesa formaron el consorcio GEIDA. También es habitual que estas empresas realicen diversas subcontratas locales en aquellos países en los que trabajan.

Muchas veces es en el propio proceso de licitación donde las normas exigen algún tipo de asociación, lo más habitual es que el país que licita pretenda que las empresas locales participen de algún modo en el proyecto y esto lo puede conseguir exigiéndolo en la normas de la licitación (Villarroya 1997). En el caso de Australia se planteo una licitación en la que inicialmente las empresas podían presentarse individualmente, pero aquellas dos empresas que llegaran a ser finalistas tendrían que colaborar con un socio local de ingeniería y otro constructor. A la fase final del proceso de licitación en Australia (Perth) llegaron Sadyt y Acciona[104]. En otros países las empresas españolas han concursado en licitaciones directamente con socios locales para aumentar sus posibilidades sin que fuera exigido en las normas (como por ejemplo en China y Oriente Medio). Cada empresa de las analizadas está

[103] Si bien en desalinización las empresas españolas son muy competitivas, hay que matizar que hay muchas empresas en el mundo especializadas en depuración. Esta es una de las causas por las que estas empresas españolas se dedican principalmente a la desalinización cuando trabajan fuera de España.

[104] Finalmente Sadyt fue la la que se adjudicó el proyecto en dicho proceso de licitación.

presente en diversos países, pero el modo de entrada no depende tanto de la empresa como del país en el que pretendan entrar. Dado que el agua es un bien considerado de interés estratégico, prácticamente ningún país quiere que las empresas extranjeras exploten este recurso desde el sector privado, aunque existen excepciones.

Los diversos países en los que trabajan estas empresas españolas preferirían que fuesen las empresas autóctonas las que llevaran a cabo los proyectos de desalinización, pero a menudo éstas carecen de conocimientos suficientes para desarrollar obras hidráulicas de tal envergadura. Los recursos hídricos son para la población un recurso básico sin el cual no se puede subsistir, de modo que si existe escasez y las empresas del país no están capacitadas para la construcción y explotación de una desalinizadora, lo mejor es permitir que lo hagan empresas extranjeras (Bravo 2005).

4.2.1.- La internacionalización de las empresas constructoras y de ingeniería

Si analizamos el proceso de internacionalización de las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras, no podemos ignorar que estas pertenecen a un grupo de empresas del sector de la construcción. La internacionalización no es exclusiva de las empresas de desalinización, esta se enmarca a su vez en el proceso llevado a cabo por las empresas del sector la construcción.

El sector de la construcción es uno de los más importantes en la economía española, en 2004 alcanzó el 18,2% del total del PIB español, aunque la crisis económica del 2008 ha afectado en especial a este sector. La construcción es uno de los sectores más cíclicos de nuestra economía, hasta antes de la crisis económica estaba en una época muy buena tanto para edificación como para la obra civil. Con el fin de reducir la dependencia del ciclo económico español y de aumentar su volumen de negocio, estas empresas han llevado a cabo su internacionalización.

Las principales empresas exportadoras del sector de la construcción son ACS, Ferrovial, FCC, Acciona, Sacyr Vallehermoso, OHL y Comsa. Todas estas son empresas con una gran tradición en el sector, y que en la actualidad tienen unos altos niveles de diversificación (Medall 2006, pp. 66-76). Dentro de este proceso diversificación está el negocio de construcción y explotación de desalinizadoras.

La internacionalización de las grandes constructoras españolas se entiende mejor cuando se analiza desde el largo plazo. En este proceso tuvo una enorme influencia la gran demanda de construcción que se produjo durante los años del franquismo y en particular en la época desarrollista, para que las empresas españolas ganasen tamaño, experiencia, conocimiento del

negocio y capacidades técnicas[105]. Este proceso se ha dado gracias a cuatro factores clave (Torres 2009 pp. 125-127):

- La existencia de unos equipos directivos y técnicos muy profesionalizados, involucrados en la propiedad de las empresas que constituyeron un activo fundamental para la competitividad de las mismas.
- La transferencia de conocimientos técnicos y organizativos procedentes de las empresas extranjeras que operaban en España desde los años cincuenta. En los años sesenta y setenta esta transferencia de conocimientos se intensificó mediante la importación de tecnología y la participación conjunta en empresas especializadas.
- La dinámica de cooperación en las uniones temporales de empresas y de competencia en las licitaciones de obras.
- La importancia que tuvo desde muy pronto la existencia de organizaciones de defensa de los intereses del sector como SEOPAN (1957) o AECI (1976).

La internacionalización de las empresas españolas de construcción comenzó en los años sesenta con empresas como Dragados que disponiendo de conocimiento del sector y de las capacidades técnicas y de gestión necesarias para hacer en países de un nivel de desarrollo similar o inferior al de España lo que estaban haciendo aquí. En 1975 se dio en España una crisis del sector que empujó a los mercados exteriores a las empresas más reacias a la internacionalización. Otro aspecto de gran influencia en el proceso de internacionalización de las empresas de construcción es el factor político. La presencia de las empresas constructoras españolas está principalmente en Hispanoamérica, el norte de África y Oriente Medio, lo que guarda una estrecha relación con las zonas en las que ha querido estar presente el Gobierno español (AECI 1992). La experiencia acumulada en los mercados exteriores por las constructoras españolas durante su primer ciclo de internacionalización fue un factor esencial para la continuidad del proceso a partir de los años noventa. Las empresas españolas se basaron cada vez más en la reputación

[105] Dentro de este sector de la construcción destacan las infraestructuras, la obra civil, la edificación residencial y la no residencial

como su estrategia de entrada fuera de nuestras fronteras. Esta reputación era de alcance internacional y se concentraba en grandes obras de infraestructura tales como obras hidráulicas, carreteras, autopistas y puertos. La ventaja competitiva de estas empresas en el extranjero se consolidó con el aumento del tamaño y la diversificación. Dentro del proceso de diversificación de las constructoras españolas están las empresas españolas de desalinización.

Aunque las empresas españolas de desalinización siguen estrategias autónomas de internacionalización y competencia, hay que tener presente que la propia existencia de estas empresas y su modo de operar forma parte de la herencia del proceso llevado a cabo por las empresas constructoras.

4.3.- Causas de la internacionalización

En el presente epígrafe vamos a tratar los motivos que han llevado a estas empresas a internacionalizarse. En este sentido cabe señalar que existen teorías económicas que explican los procesos de internacionalización de las empresas (Caves 1971, pp. 1-27; Chislett 2007; García 2000; Hymer 1960; Johnson 1970; Knickerbocker 1973; Vernon 1966, pp.190-207). Estas teorías explican los motivos por los que a una empresa puede interesarle iniciar un proceso de internacionalización, aunque no todas pueden ser aplicadas al caso de las empresas de desalinización. Nosotros analizaremos de entre las teorías económicas que explican la internacionalización aquellas que pueden aplicarse de algún modo al caso de estas empresas.

Aunque existen unos motivos que son comunes para todas las empresas, cada una es un caso en sí mismo. Por otro lado, tampoco son idénticos los motivos que explican la entrada en un país frente a otro, es decir hay motivos diferentes para cada destino. Es por ello que vamos a analizar las causas reales que han motivado a la entrada en algunos países para describir las diferentes teorías que pueden existir.

4.3.1.- Teorías económicas que explican la internacionalización

4.3.1.1.- El modelo de Vernon.

En este epígrafe vamos a analizar de qué modo de Vernon explica el proceso de internacionalización de las empresas españolas de desalinización. Este modelo, entiende la salida al exterior de una empresa como un proceso en varias etapas (Vernon 1966, pp. 190-207).

La primera de las etapas, es la de introducción del producto. En esta fase se crea y se empieza a ofrecer un nuevo producto. Esto sucedió cuando comenzaron a construirse plantas en España y se prolongó durante años, ya que el precio al que se puede obtener el recurso fue descendiendo de modo que el agua desalinizada era cada vez más viable en términos económicos. Según el modelo de Vernon en la etapa de introducción del producto la venta se lleva a cabo en el mercado local, en nuestro caso de análisis la construcción y explotación de desalinizadoras se inició en España. Vernon explica que la venta se realiza inicialmente en el mercado local entre otros motivos porque el proceso productivo no está todavía estandarizado y pueden ser necesarios cambios en el diseño, marketing o procesos de producción que requieran de contacto con especialistas. De acuerdo con Vernon, las empresas españolas de desalinización tenían más facilidades para construir sus primeras plantas en España pues este mercado era más próximo que otros. Una vez se construyeron en España las primeras plantas, estas empresas adquirieron un importante *know how* o experiencia. Las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras consiguieron captar prácticamente la totalidad de la demanda de recursos hídricos en España, de modo que se inició la etapa de crecimiento del producto.

La etapa de crecimiento del producto es la segunda de las etapas del modelo de Vernon, en la cual la venta del bien o servicio que fabrica la empresa crece exponencialmente. Se dio un crecimiento de la competencia en la construcción y explotación de desalinizadoras en España, con lo que la elasticidad precio de la demanda aumentó. Es decir la mayor competencia hizo

que la demanda pudiera escoger mejor la empresa que iba a llevar a cabo el proyecto, con lo cual las empresas debían reducir al máximo posible el precio. En el caso de la desalinización, la competencia es muy compleja ya que no se trata simplemente de bajar los precios, el coste que pugna es el de adjudicación en el que se incluye tanto inversión como explotación[106]. Por otro lado también se compite en calidad, ya que las empresas ofrecen distintas opciones en cuanto a la ingeniería. Para las empresas que estamos analizando, competir por ambiciosos proyectos en España era cada vez más difícil. Tenían que presentar proyectos mejores que los de sus competidoras, con menores márgenes de beneficios, menor impacto ambiental y en general más competitivos. Estas son las características que se dan en el mercado cuando se está en lo que Vernon denomina "etapa de crecimiento del producto". El modelo de Vernon explica que en la etapa de crecimiento del producto, aprovechando que este ya es conocido por los consumidores, es cuando las empresas se plantean exportar el producto a países extranjeros con el fin de explotar economías de escala en la producción. Sin embargo, no es viable el hecho de que una empresa desalinice el agua en nuestro país y después venda el agua en el extranjero, es decir la exportación no es eficiente en términos económicos. Según el modelo de Vernon la exportación del producto es una etapa intermedia entre la venta en el mercado local y la internacionalización, pero el coste de transportar el agua desalinizada hace que salvo una situación excepcional no se pueda exportar[107]. No obstante, Vernon apunta que en la etapa de crecimiento del producto es posible que se opte por llevar a cabo una internacionalización mediante acuerdos contractuales, en el caso en el que este medio sea el más eficiente al comparar sus costes con las demás opciones. Por tanto la fase o etapa de crecimiento del producto se caracterizada por la internacionalización de las empresas españolas de desalinización y esta se ha llevado a cabo a partir de su participación en licitaciones públicas en diversos países del mundo. Gracias a la alta

[106] Siempre que el proyecto conste de estas dos actividades. Ya que la licitación puede incluir solo la construcción o solo la explotación.

[107] Recientemente, se ha dado en nuestro país la necesidad de transportar agua, desde la desaladora de Carboneras, en Andalucía, hacia Cataluña, el coste de esta operación ha sido muy elevado, el hecho de que se haya llevado a cabo esta operación viene justificado por la necesidad extrema.

competitividad de las empresas españolas de desalinización, es habitual que sean las adjudicatarias en las licitaciones que se dan en el extranjero. En estas licitaciones, a menudo los países exigen que el proyecto se desarrolle en colaboración con una empresa local, de este modo además de incrementar los recursos hídricos disponibles se desarrolla a las empresas locales.

La última de las etapas por las que pasa un producto según el modelo de Vernon es la "etapa final del producto". Se alcanza esta etapa cuando el producto ya está estandarizado, de tal modo que las empresas ofrecen prácticamente el mismo producto y los mismos costes. Según la teoría de Vernon, en esta etapa, las empresas se internacionalizan hacia países en los que la tecnología es inferior, ya que de este modo su producto es competitivo, esto se puede identificar fácilmente en la internacionalización realizada hacia Israel, Túnez o Argelia. Sin embargo, también la entrada a países con tecnologías avanzadas como EEUU o Australia se deben a este motivo, ya que en el campo específico de la desalinización la tecnología y conocimientos técnicos de España es comparativamente superior.

Podemos concluir por tanto que en España, la desalinización ha alcanzado la fase final del producto, mientras que en el extranjero el producto está en su fase de crecimiento. La teoría del ciclo de vida del producto (Vernon 1966, pp.190-207) explica en cierta medida el proceso de internacionalización de las empresas españolas de desalinización. El que se haya entrado en unos países y no en otros, se debe a los recursos tecnológicos del país en materia de desalinización así como a las necesidades hídricas.

4.3.1.2.- El modelo de Hymer.

Ciertos elementos del proceso de internacionalización de las empresas españolas de desalinización encajan con la teoría de Hymer (Hymer 1960). Vamos a analizar esta teoría y como puede ser aplicada al proceso llevado a cabo por las empresas de desalinización. Según Hymer, para comprender la inversión directa hay que entender un concepto clave, el control. En el proceso de internacionalización que estamos analizando el nivel de subcontratación podría ser mucho mayor, hasta el punto de exportar únicamente los conocimientos técnicos. El hecho de que sean las propias empresas de ingeniería españolas las que construyen y/o explotan las plantas les atribuye un mayor control. Por otro lado, la subcontratación tiene como inconveniente el hecho de que permite adquirir experiencia a un potencial competidor en el futuro. El asociarse con empresas locales, a menudo es un requisito de la propia licitación, otras veces esta asociación se produce voluntariamente con el fin de emplear el conocimiento del mercado que posee la empresa local. La teoría de Hymer nos dice que, por otro lado, la inversión directa en el exterior es interesante para las empresas en tanto que les permite diversificar sus mercados y clientes. La mayoría de las desalinizadoras importantes son demandadas por el sector público, de modo que esto implica una elevada dependencia de estas empresas hacia sus clientes. Inicialmente, antes de que emprendiera el proceso de internacionalización de estas empresas, su principal cliente era el sector público español, de modo que existía una elevada dependencia y en consecuencia, un elevado riesgo. La internacionalización permite diversificarse, no tanto en su actividad, ya que siguen haciendo lo mismo (aunque con más especialización en desalinización que a nivel nacional). La diversificación que supone la internacionalización se refiere fundamentalmente al área geográfica y los clientes con los que trabajan. Por otro lado, también puede apreciarse una internacionalización en términos de proceso en tanto que en algunos países solo han ofertado diseño, equipos, montaje o explotación. Muchas de las empresas que estamos analizando,

representan ya desde su creación una diversificación por parte de los grupos a los que pertenecen, que por lo general se dedican a la construcción.

El elemento más distintivo de la teoría de Hymer es el aprovechamiento de las ventajas comparativas que tenga una empresa en cuestión con respecto a las empresas en el país de destino. Vamos a analizar cuáles son las ventajas comparativas de las empresas de desalinización.

En primer lugar, destacar que existen economías de escala, en tanto que estas empresas cuentan con ventajas al operar con un número de plantas elevado tanto en España como en el resto del mundo, esto les permite tener unos menores costes unitarios. En parte estos menores costes y mayor eficiencia, son debidos a que estas empresas cuentan con capital humano formado y competitivo. Gracias a las economías de escala, los diseños y proyectos que pueden hacer estas empresas son más competitivos que los de las empresas locales de los países en los que están entrando.

La segunda de las ventajas comparativas es la diferenciación del producto. Pero a este respecto cabe matizar, que si bien las empresas españolas debido a su mayor competitividad pueden ofrecer proyectos con una mayor diferenciación, en este sector la oferta es bastante homogénea. Sin embargo, aun no existiendo una alta heterogeneidad en el producto, las empresas españolas ofrecen diseños más competitivos, presupuestos más eficientes, y en definitiva tienen una mayor capacidad para ajustar su oferta a la demanda.

La tercera ventaja competitiva es el tener unos menores costes relativos. Estos han facilitado que para estas empresas españolas en el exterior la competencia haya sido baja. En los países en los que estas empresas están

trabajando, las empresas locales tienen pocas o ninguna planta en funcionamiento, es decir las empresas locales están comenzando a trabajar en el sector. La escasa experiencia de estas empresas entrantes hace que sus costes sean mayores a los de las empresas ya establecidas, como es el caso de las españolas, por tanto esto representa una gran ventaja competitiva. No obstante, la tenencia de unos menores costes no representa una ventaja tan grande como podría serlo en otro tipo de sectores, ya que siendo el sector público el que adjudica los contratos, se atribuye una gran importancia al hecho de que la empresa sea local. Es por ello, que a menudo las empresas españolas concursan en los procesos de licitación junto con empresas locales, bien sea por iniciativa propia o porque se exige en el propio proceso.

En conclusión, sí es cierto que las empresas españolas de desalinización muestran economías de escala aunque estas no son tan elevadas como en aquellos sectores en los que la producción puede centralizarse en una única planta. Por otro lado, es importante matizar que en este proceso de internacionalización la ventaja en costes no es tan definitiva como en otros, ya que el agua es un bien de interés estratégico para cualquier país, y el que una empresa extranjera tenga el control de la producción de agua es poco deseable. En cuanto a la diferenciación del producto, la tecnología no ha generado ventajas competitivas ya que una vez se produce un avance tecnológico, el resto de empresas de desalinización lo adopta. Esto es debido a que las innovaciones tecnológicas por lo general se producen como consecuencia a mejoras en la eficiencia de alguno de los componentes pero cuando estas surgen son aprovechadas por igual por todas las empresas ya que surgen de sus proveedores. Las innovaciones que pueden hacer estas empresas son de diseño e ingeniería y presentan pocas dificultades para ser copiadas.

4.3.1.3.- Teorías de Johnson y Caves

En su teoría, Johnson coincide con Hymer en cuanto a las ventajas poseídas por las empresas como determinantes de su internacionalización. Pero es interesante el concepto introducido por Johnson sobre la naturaleza de bien público de la tecnología, ya que el hecho de que sea difícil apropiarse de ventajas competitivas provenientes de la innovación tecnológica (debido a la independencia de los fabricantes de maquinaria respecto de las empresas constructoras y a la complejidad de patentar el diseño e ingeniería de planta) va a reforzar la internacionalización como argumento competitivo (ya que permite ampliar el *know how*). Es decir, una empresa que se encargue de la construcción y explotación de plantas desaladoras, puede obtener una innovación tecnológica, pero esto difícilmente va a reflejarse en una ventaja competitiva[108]. Si analizamos la estructura de este sector entenderemos el motivo. Las innovaciones que pueden aparecer son de dos tipos, en alguno de los componentes o en la ingeniería y diseño de la planta. Las innovaciones en los componentes surgen en las empresas fabricantes de membranas, de bombas u otros componentes; éstas son proveedoras de las empresas que construyen y explotan las desalinizadoras, de modo que una innovación en un componente sería aprovechada por igual por todas las empresas que forman este oligopolio. Por otro lado las innovaciones en la ingeniería no son fáciles de patentar, ya que se trata del modo en que las piezas se montan[109]. Generalmente, los avances tecnológicos en la desalinización vienen del lado de los productores de membranas y maquinaria para las desalinizadoras, pero una vez que se genera una mejora tecnológica, todas las empresas que construyen y explotan las plantas se benefician por igual. Esta situación constituye una oportunidad para cada una de las empresas que estamos analizando, puesto

[108] Esto se debe a que una vez que la innovación tecnológica se ha creado, su uso por una empresa no excluye el uso por otras.

[109] Ha habido alguna innovación en ingeniería como la que en su día hizo Aqualyng, y no fue posible explotarla económicamente.

que si dispusieran de los medios para generar algún componente capaz de incrementar la eficiencia, podrían explotar las innovaciones mediante patentes.

La teoría de Johnson se puede aplicar cuando las empresas de un sector ofrecen una tecnología muy similar. En el sector que estamos analizando las innovaciones tecnológicas no vienen tanto del lado de las empresas que construyen y explotan desalinizadoras sino de sus proveedores. La teoría de Johnson muestra un modo mediante el cual estas empresas podrían aumentar su posición estratégica: si se integrasen verticalmente hacia atrás, participando a alguno de sus proveedores, podrían apropiarse de las ventajas ofrecidas por la innovación tecnológica (Johnson, 1970). En la actualidad esta opción no se contempla por parte de ninguna de las empresas que hemos analizado, esto se debe en parte a que la facturación va en aumento y no es necesario recurrir a una diversificación para crecer económicamente. Por otro lado, de darse esta integración, quizás la demanda de componentes provenientes de la empresa en cuestión disminuiría.

Según la teoría de Caves las empresas tienen incentivos a llevar a cabo IDE[110] horizontal cuando poseen un activo especial con carácter de bien público. Caves apunta que, la IDE vertical, sirve para evitar incertidumbre oligopólica y crear barreras de entrada a nuevos rivales que requieran del mismo input. Como ya hemos analizado las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras no están llevando a cabo IDEs verticales, pero de hacerlo, podrían reducir la incertidumbre tal y como señala Caves. En este sentido, coincidiendo con el análisis que hacíamos en la teoría de Johnson, les sería interesante participar a alguno de sus proveedores (Caves, 1971, pp.1-27).

[110] IDE: Inversión Directa en el Exterior.

4.3.1.4.- La teoría del comportamiento oligopólico

La teoría del comportamiento oligopólico es tal vez la que mejor explica la IDE que están llevando a cabo las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras. Estas empresas son un pequeño grupo, dentro del cual cada una tiene una posición relativa en el mercado (Rodríguez y Watt 2003, pp. 213-124)[111]. El hecho de que estas empresas formen un oligopolio, viene justificado por la experiencia y la responsabilidad que hay que asumir para construir una planta, ya que esto constituye una importante barrera a la entrada de nuevas empresas. Una de las variables más valoradas en los procesos de licitación es la experiencia de la que disponga la empresa, de modo que esto supone una importante barrera de entrada a las empresas nuevas. En la teoría del comportamiento oligopólico se distinguen dos casos, el primero es cuando el producto que ofrecen está diferenciado y el segundo caso es cuando no existe una diferenciación del producto (Knickerbocker 1973).

Tal y como hemos analizado, no existe un alto grado de diferenciación en la oferta de estas empresas. El producto final que todas ofrecen es el mismo, agua desalinizada; los procesos para obtenerla y las tecnologías son prácticamente idénticas, siendo el método más frecuente la ósmosis inversa. Cada empresa elabora un proyecto con ligeras diferencias en torno a cómo se va a hacer el vertido o los componentes básicos que se van a emplear, pero no puede llegar a considerarse un producto diferenciado. Cuando el oligopolio está formado por empresas que ofrecen un producto con un alto grado de homogeneidad, si una de las empresas crece, puede presentar una amenaza para el resto de las empresas rivales en dicho sector (Erro 2004, pp.223-226). Esto obliga a los competidores a crecer si lo hacen los demás, ya que de no ser así perderían cuota de mercado. Si suponemos por un momento que una de

[111] En este sentido, cuando surgen las oportunidades de negocio en Australia, Túnez o Argelia, entre otras, todas las empresas que forman este oligopolio compiten por ser las adjudicatarias de los contratos.

las empresas de este oligopolio decidiese entrar por ejemplo en Argelia y las demás no lo hacen, esto haría crecer la cuota de mercado de la empresa que si entró en Argelia y también su experiencia. Si suponemos todo lo demás constante (*ceteris paribus*) cuando surgiese una nueva en otro mercado, como por ejemplo en Australia, y todas las empresas de este oligopolio decidieran presentarse, sería más probable que escogiesen a la que decidió entrar en Argelia ya que ha adquirido mayor experiencia (Knickerbocker, 1973).

Para ilustrar mejor la aplicación de la teoría del comportamiento oligopólico a estas empresas, vamos a modelizar esta situación mediante teoría de juegos (Bilbao et al 1999). Vamos a suponer un modelo en el que hay n jugadores que forman el oligopolio que estamos analizando. El primer jugador lo denotaremos como A_i y el segundo jugador como A_{n-i}. El jugador A_i representa una de las empresas de este mercado (en el punto 4.1 se puede consultar a que empresas estamos haciendo referencia), por otro lado el segundo jugador A_{n-i} representa el resto de empresas (Fernández y Puerto 1999, pp. 73-83)[112]. Vamos a construir un juego simultáneo en el que ambos jugadores deben elegir si entran o no en un determinado mercado que denotaremos como Mercado1[113]. Por juego simultáneo entendemos que ambos jugadores están en el mismo conjunto de información, lo que significa que hay que tomar la decisión de entrar o no en el Mercado1 sin saber lo que harán las demás. Sin embargo, cada empresa posee cierta información acerca de lo que harán las demás, el jugador A_i asignará una probabilidad de "p" al hecho de que A_{n-i} decida entrar en el Mercado1 y una probabilidad de "1-p" al hecho de que decida no hacerlo.

Esta simultaneidad es la que por lo general existe cuando surge un proceso de licitación. Cuando una empresa sea Sadyt, Acciona, Befesa o cualquiera de las analizadas, decide si va a concursar en una licitación lo hace sin saber exactamente que otras empresas lo van a hacer. A este respecto hay

[112] Esta modelización da lugar a ser interpretada para cada una de las empresas analizadas haciendo el papel de A_i, siendo el resto $A_{n-i.}$

[113] Cabe tener en cuenta que aunque son dos jugadores representan todas las empresas que estamos analizando, siendo el primero de los jugadores una empresa y el otro el resto.

que matizar que a veces si tienen información porque hablan con otras empresas o simplemente porque el proceso es muy transparente, pero lo importante es que cuando toman la decisión de concursar o no, deben hacerlo al margen de lo que haga el resto de empresas, ya que la decisión se toma mucho antes de estar definitivamente participando. Una vez los jugadores toman la primera elección, deben de tomar una segunda que consiste en entrar o no en el Mercado2. Para ilustrar la realidad de este modelo de competencia, vamos a suponer que las condiciones para entrar en el Mercado1 y la probabilidad de ganar son iguales para A_i y A_{n-i}. Sin embargo, la situación cambia a la hora de entrar o no en el Mercado2, entre otros motivos porque una de las principales variables que puede hacer que una empresa sea la adjudicataria en el proceso de licitación del Mercado2 es la experiencia que tenga esta empresa. Ya que hay muchas empresas como para hacer un análisis específico del juego en función de que empresa sea A_i vamos a suponer que las características de partida las empresas son homogéneas[114]. La consecuencia de contar con unas características homogéneas entre las empresas es que en el Mercado2 será un hecho relevante el haber participado o no en el Mercado1, de modo que las empresas que tienen más experiencia tienen más posibilidades de ser las adjudicatarias de un nuevo proyecto. Esto implica que la decisión de entrar en el Mercado1 tiene efectos sobre la experiencia de la empresa de modo que la probabilidad de obtener futuros contratos disminuye si no son participes en cada oportunidad de mercado que surge.

Vamos a suponer que la situación inicial es de oligopolio, esta se mantendrá si todas las empresas deciden entrar en el Mercado1, partiendo de que la empresa en cuestión ha participado en el primer mercado y que por tanto se mantiene la situación de oligopolio, el pago que se obtendrá si se participa en el Mercado2 será de α (Monroy y Puerto 1999).

[114] Cabe señalar que la situación de partida de estas empresas no es homogénea ya que existen diferencias sustanciales en cuanto a la experiencia o el volumen de negocio.

Por otro lado, la situación es sustancialmente diferente si en el Mercado1 uno de los dos jugadores decide no entrar, ya que en este caso cambian los pagos. La idea es que si un jugador decide entrar en el primer mercado y el otro decide no hacerlo, esto altera la situación inicial de oligopolio, de tal modo que quien entró ahora en el Mercado1 tiene más posibilidades de ser el adjudicatario en el Mercado2. Participar en la licitación tiene un coste, este no ha variado para el jugador que entró en solitario en el Mercado1, no obstante ahora el ingreso esperado es mayor para la empresa que entró en primer mercado (Root 1994). Nótese que el ingreso esperado es:

E(ingreso Mercado2) = (ingreso del proyecto) x (probabilidad de ganarlo)

La cuantía de "(ingreso del proyecto)" no ha variado, pero ahora se ha producido un aumento en "(probabilidad de ganarlo)", de tal forma que ahora tenemos que:

E(ingreso Mercado2) = α si los dos jugadores entraron en el Mercado1

E(ingreso Mercado2) = $\beta > \alpha$ para quien entró en solitario en el Mercado1

E(ingreso Mercado2) = $\delta < \alpha$ para quien no entró en el Mercado1

En cuanto a las cuantías, vamos a hacer los siguientes supuestos:

- α es el ingreso que corresponde a entrar en el Mercado2 partiendo de que en el Mercado1 entraron las dos empresas.
- β es el ingreso que obtendría una empresa al entrar en el Mercado2 si hubiese entrado en el Mercado1 en solitario. Como podemos ver β es mayor que α, esto se debe a que la posición ahora para la empresa que entró en solitario en el primer mercado es más ventajosa, ya que tiene una mayor experiencia y en consecuencia más posibilidades de ser quien se adjudique el proyecto en el Mercado2.
- δ corresponde a los ingresos que se obtendrían en el Mercado2 si no se entró en el Mercado1 y el otro jugador sí que lo hizo. δ es menor que α y también que β ya que es la peor situación para la empresa pues tiene una menor experiencia y en consecuencia una menor probabilidad de ser la empresa que se adjudique el proyecto.

Por otro lado, si uno de los dos jugadores decide no entrar para cualquiera de los dos mercados el pago esperado será de cero ya que no tendrá ni costes ni ingresos a causa de su decisión.

Con los supuestos que hemos realizado, ya podemos representar el juego, nótese que el conjunto de estrategias para los jugadores es:

$S(A_i)$= [(entrar, entrar), (entrar, no entrar), (no entrar, entrar), (no entrar, no entrar)]

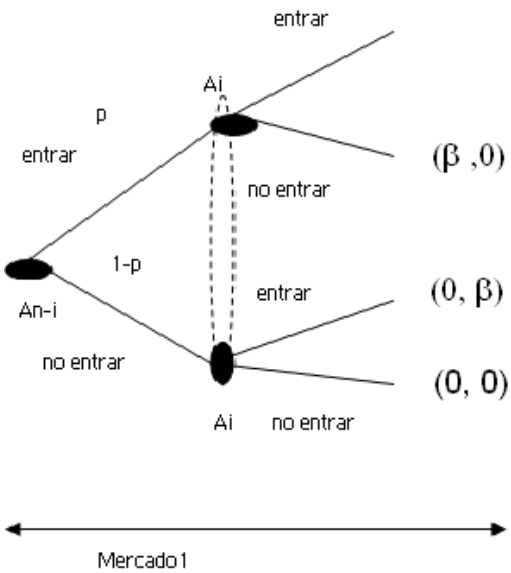
$S(A_{n-i})$= [(entrar, entrar), (entrar, no entrar), (no entrar, entrar), (no entrar, no entrar)]

Los jugadores son:

$N = [A_i, A_{n-i}]$

En el gráfico 4.1 podemos ver la representación extensiva y estratégica del juego:

Gráfico 4.1.- Representación del juego



An-i / Ai	Entrar	No entrar
Entrar	(α, α)	(β ,0)
No entrar	(0, β)	(0, 0)

Mercado2

Fuente: elaboración propia

Analicemos cual sería el equilibrio de Nash perfecto en subjuegos, para ello vamos a obtener en primer lugar el equilibrio en el caso de que las dos empresas entren en el Mercado1. Ahora en el Mercado2 ambas deben decidir si entran o no. El juego del Mercado2 se puede resolver de distintos modos, el más sencillo de ellos es tener en cuenta las estrategias dominantes, es decir, para el jugador A_i y para A_{n-i} es siempre preferido entrar a no entrar ya que $\alpha > 0$ y $\beta > 0$. Por tanto el equilibrio para el subjuego del Mercado2 es (entrar, entrar) siendo los pagos correspondientes a este equilibrio (α, α).

Si analizamos ahora la decisión que tomaría para el Mercado1 el jugador A_i podemos ver que "entrar" proporciona un mayor pago esperado que "no entrar", además de ser una estrategia dominante ya que $\alpha > 0$ y $\beta > 0$. Así pues, llegamos a la conclusión de que el jugador A_i escogerá siempre entrar tanto para el Mercado1 como para el Mercado2.

Analicemos ahora que hará el jugador A_{n-i}, este sabe que el jugador A_i escogerá entrar tanto para el Mercado1 como para el Mercado2, de modo que en realidad, A_{n-i} puede descartar aquellos resultados en los que el jugador A_i a escogido no entrar para cualquiera de los dos mercados. De modo que la estrategia que constituye un equilibrio de Nash perfecto en subjuegos para el jugador A_{n-i} es (entrar, entrar).

La conclusión a la que llegamos es que el equilibrio en este juego consiste en que ambos jugadores escogerán entrar en los dos mercados. ¿Por qué escogen esta elección? El factor que resulta determinante para que el equilibrio sea entrar en los dos mercados, es que el decidir no entrar a un mercado hace que disminuya la cuota de mercado y experiencia relativa de la empresa, de modo que se hace menos probable ganar en procesos de licitación futuros cuando se rechaza el entrar a un mercado. Dicho de otro modo, rechazar entrar a un mercado genera una disminución de los ingresos esperados en otros mercados.

4.4.- Conclusiones del capítulo

En este capítulo, hemos reflexionado sobre cuáles pueden ser los motivos que han llevado a estas empresas a internacionalizarse y hemos visto que existen diversas variables que han motivado este proceso. Para iniciar nuestro análisis lo primero que necesitábamos conocer era la estructura competitiva de este mercado. Si bien hemos visto que en España existen bastantes empresas, casi la mitad de las veinte principales empresas de construcción y explotación de desalinizadoras en el mundo son españolas. Las principales empresas españolas son Acciona Agua, Aqualia, Befesa, Cadagua, Cobra, Infilco, Inima, OHL y Sadyt. Todas ellas han surgido de grupos dedicados a la construcción.

Si analizamos el pasado y el presente del mercado de la desalinización en España, el primer hecho que llama la atención es la madurez de este proceso en nuestro país. En tanto que la demanda que provenía de la escasez hídrica que podía ser paliada mediante agua desalinizada ya ha sido satisfecha, el futuro a corto y medio plazo para las empresas españolas de desalinización en el mercado nacional es complicado. Este es sin duda el motivo principal por el cual se inicia el proceso de internacionalización. Sin embargo, el simple hecho de que estas empresas vean como nueva estrategia el ofertar su producto en el exterior no es suficiente para cosechar el éxito que se ha dado. Es decir, es necesario entender por qué estas empresas se han internacionalizado a un ritmo tan acelerado y cómo han conseguido tantos éxitos en los procesos de licitación en los que han concursado. Para poder describir de un modo formal este proceso de internacionalización, hemos complementado la intuición y las ideas de los directivos de estas empresas con algunas de las teorías económicas que explican la internacionalización de las empresas.

Las empresas españolas de desalinización se han y se están internacionalizando principalmente hacia países que presentan escasez hídrica, que tienen acceso al mar y un nivel de riqueza suficiente para poder

financiar la construcción y explotación de sistemas de desalinización. Hasta el momento, los principales destinos de estas empresas en el extranjero son Arabia Saudí, Argelia, Australia, China, Emiratos Árabes Unidos, India, Israel, Libia, Marruecos y Túnez. En India, China y EEUU existe una demanda potencial muy elevada. Por otro lado, existen diversos países en Sudamérica, Asia y África en los que a medida que el nivel de riqueza aumente la escasez hídrica aumentará y por tanto se convertirán en nuevos demandantes.

Partiendo de la visión de diversos directivos de estas empresas, hemos analizado cuáles de las teorías económicas de la internacionalización de las empresas, explican en parte el proceso que estas han llevado a cabo. En este sentido, hay dos causas principales a las que apuntan estas teorías. La primera causa está basada en la demanda, en este sentido la demanda nacional de agua desalinizada estaba agotada puesto que ya se habían construido las plantas necesarias para paliar la escasez, de modo que si estas empresas debían diversificar su mercado o sus productos para poder seguir creciendo. En parte, la diversificación no ha sido solo de mercados, puesto que estas mismas empresas han y están construyendo y explotando plantas de depuración en España. Pero el principal crecimiento de la facturación de estas empresas se ha dado gracias a su internacionalización en el sector de la desalinización. La segunda de las causas de la internacionalización de estas empresas tiene que ver con las estrategias de competencia, siendo un pequeño grupo de empresas las que forman este sector de carácter oligopólico. La experiencia e importancia relativa de cada una de estas empresas es un factor clave a la hora de competir en un proceso de licitación. De tal manera que si una de estas empresas descarta el entrar en un país al que el resto de empresas decide entrar, su competitividad disminuye y si esto se repite en más mercados puede hacer perder a esta empresa su posición relativa en el mercado y en consecuencia sus oportunidades a la hora de ser la adjudicataria en un proceso de licitación.

Hemos visto en este capítulo que una de las teorías de internacionalización que explica en parte el proceso llevado a cabo por estas

empresas es el modelo de Vernon. Esta teoría nos indica que el producto pasa por una serie de etapas que van desde la introducción hasta la madurez del mismo. La desalinización en España ya es un producto maduro con pocas perspectivas de crecimiento, debido a que la escasez hídrica que podía ser paliada mediante desalinización ya ha sido satisfecha. Sin embargo, en el mercado internacional, existen diversos países en los que la desalinización está todavía en la fase de introducción del producto o en la fase de crecimiento, por lo que se justifica el que estas empresas desplacen su actividad hacia estos mercados. Esta teoría explica el proceso de internacionalización desde la perspectiva de la demanda.

Por otro lado, hemos analizado en qué medida la teoría de Hymer explica la internacionalización de estas empresas, este enfoque se centra más en la competencia con otras empresas. Hymer indica que uno de los motivos que lleva a las empresas a internacionalizarse es la tenencia de economías de escala, en este sentido hemos visto que estas empresas debido a su gran experiencia y a la estructura de personal que tienen poseen unas economías de escala que hacen que puedan ofertar un proyecto de desalinización a un menor coste. Además el personal cualificado y la experiencia con la que cuentan estas empresas hacen que puedan ofrecer un producto más diferenciado, es decir plantas con un mayor grado de adaptación técnica a las necesidades de la demanda. Por tanto, el personal y la experiencia de las empresas españolas de desalinización las hace más competitivas y les da incentivos para concursar en los procesos internacionales de licitación.

La aportación teórica de Johnson coincide con Hymer en apuntar la causa de la internacionalización de las empresas en la posesión de ventajas competitivas. Johnson añade que cuando la tecnología tiene carácter de bien público es difícil apropiarse de las ventajas competitivas de la innovación tecnológica. Esto es interesante puesto que la tecnología para estas empresas proviene de sus proveedores, de modo que cuando surge una innovación tecnológica en un componente como pudiese ser las membranas, todas empresas se benefician por igual. Con la misma base que la teoría de Johnson, la teoría de Caves nos invita a reflexionar en torno a la posible conveniencia de

que estas empresas generasen sus propias innovaciones tecnológicas, esto lo podrían conseguir fabricando sus componentes. Para fabricar sus componentes tendrían que dedicar una parte de su actividad a la innovación en esta línea o participar a alguno de sus proveedores. Esta opción por el momento no se ha contemplado por estas empresas, si bien una vez generada la innovación le daría una ventaja competitiva a la empresa que la hubiese generado, es posible que el resto de empresas no demandaran dicho componente a sabiendas que procede de un competidor de modo que no podría amortizarse la inversión realizada para generar dicha innovación tecnológica.

Quizás una de las explicaciones teóricas que aporta una visión más interesante es la Teoría del Comportamiento Oligopólico. La aplicación de esta teoría nos indica que habiendo pocas empresas y teniendo cada una su cuota de mercado, si una decide expandirse entrando en un mercado, las demás deben hacer lo mismo si no quieren perder su posición relativa en el mercado. Este enfoque nos dice que quizás la decisión de estas empresas de internacionalizarse tiene en parte su origen en una reacción a la estrategia del resto de empresas.

Por tanto el objetivo de este capítulo queda cubierto en tanto que hemos explicado por qué estas empresas se han internacionalizado. Como hemos visto existen distintos factores que han motivado este proceso, de lo que cabe deducir que la causa no ha sido solo una de las que proponen las teorías que hemos analizado sino el conjunto de ellas, tomando más o menos importancia unas u otras para cada empresa. Por otro lado, las motivaciones que hemos analizado coinciden con las causas que señalan los profesionales del sector. Partiendo del conocimiento de por qué se han internacionalizado estas empresas, nos preguntamos ¿cómo se lleva a cabo esta internacionalización? ¿Cuál es el proceso y los trámites económicos que deben llevarse a cabo para conseguir que un proyecto de desalinización sea viable económicamente? Con el objetivo de dar respuesta a estas preguntas vamos a desarrollar el siguiente capítulo.

Borja Montaño Sanz

5.- Análisis de la financiación de un proyecto de desalinización.

Los recursos hídricos conforman un activo económico que debe ser gestionado de un modo económico y político eficiente y sostenible (Serageldin 1995; Winpenny 1994; Young y Haveman 1993, pp. 465-529; Rogers et al 2002, pp. 1-17). En este capítulo vamos a analizar cómo se lleva a cabo la financiación de un proyecto de desalinización haciendo especial énfasis en el proceso que transcurre desde que la empresa concursa en el proceso de licitación hasta que se efectúa el cierre financiero de la operación. Describiremos los distintos modos de organización que pueden darse para el funcionamiento económico del proyecto, desde la creación de Sociedades del Proyecto en las que el Estado participa directamente con parte de las acciones hasta sistemas privados en los que el sector público no está presente. El proceso de internacionalización de estas empresas y la estructura de funcionamiento de un proyecto de desalinización es muy similar a la de otros procesos industriales (Santiso 2007, pp. 89-102) Hay tres tipos de modelos de organización que son los privados, los públicos y los mixtos, pero puede extraerse una estructura genérica a partir de ellos. Las distintas estructuras de financiación que vamos a analizar se construyen con la finalidad de hacer el proyecto viable en términos económicos, con lo que estos formatos de organización dan respuesta en buena medida a la pregunta que pretendemos responder en este capítulo ¿Qué condiciones son necesarias para que un proyecto de desalinización sea viable[115]?

Como veremos a continuación en los distintos modelos, la clave está en las garantías que avalan el crédito necesario para construir y mantener la planta. La financiación de los proyectos de desalinización tiene muchos

[115] Entenderemos que un proyecto es viable en términos económicos cuando los bancos u otras entidades públicas o privadas estén dispuestas a financiarlo. Esta es una condición necesaria para que el proyecto pueda ser llevado a cabo.

aspectos en común con otro tipo sectores (Chislett 2007). En la medida en que el banco o la entidad financiadora tenga garantizado que podrá recuperar su dinero el proyecto será susceptible de ser financiado. Un modo mediante el cual puede ofrecerse dicha garantía es mediante el aval del Estado, pero a este respecto existen ciertos matices. Un matiz es que a menudo los gobiernos no avalan directamente el proyecto, sino que lo hace una entidad pública en quien delegan y esta no siempre tiene suficiente capacidad financiera para avalar la financiación del proyecto[116]. En el caso de que la entidad que responde como aval del proyecto no tenga suficiente capacidad para hacerlo, los bancos o los financiadores exigirán otro aval de mayor garantía. En esta situación el Estado puede nombrar a otro organismo de mayor capacidad financiera como avalista[117]. Generalmente la actividad se lleva a cabo mediante un proyecto sin recursos, es decir el promotor no debe dar garantía propia. Dado que el responsable de la construcción y explotación [118] no da garantías, el banco exigirá que el Estado las proporcione. Por otro lado, la empresa promotora también precisa la garantía de que la venta del agua va a ser debidamente remunerada, esto se hará mediante el contrato *take or pay* que es un contrato de compra en firme por el cual el comprador ha de pagar el producto, en este caso el agua que produce la planta aunque al final no vaya a consumirla. Sobre esta base debe pagarse una cantidad mínima de agua incluso si no la necesitan. Vamos a analizar la financiación a partir de tres proyectos llevados a cabo en Argelia, Túnez y Egipto[119].

[116] A este respecto veremos el caso en que la empresa tunecina SONEDE se presentó en un principio como aval, siendo su capacidad financiera insuficiente para dar el nivel necesario de garantía.

[117] Esta situación se ha dado en el caso argelino en el que la empresa SONATRACH actúa como aval sin que tenga un papel en el proyecto más allá de dar garantías.

[118] Entendiendo por el promotor la empresa tecnológica que lidera el proyecto y a su vez forma la sociedad del proyecto.

[119] En Egipto el proyecto que vamos a analizar no es de desalinización sino de depuración, no obstante en cuanto a la estructura financiera que permite el funcionamiento del proyecto no hay grandes diferencias.

5.1.- Tres modelos de financiación diferenciados: Argelia, Egipto y Túnez.

En los distintos países que se emplea la desalinización, existen distintos modos de entender la gestión óptima de los recursos hídricos, este hecho junto a las diferencias políticas y económicas hace que el grado de implicación de los gobiernos en un proyecto de desalinización sea un tanto heterogéneo. Por otro lado, también existen diferencias evidentes en el modo de distribuir los recursos hídricos producidos, dando un mayor o menor peso a los mecanismos de asignación del mercado (Brown 2000, pp. 875-914). El motivo por el cual vamos a analizar estos tres casos, reside en que representan tres modelos diferenciados en cuanto a la estructura que permite el funcionamiento económico de la planta[120]. A partir de estos modelos claramente diferenciados pretendemos describir la estructura general mediante la cual se articula el funcionamiento económico de un proyecto de desalinización. El caso de Argelia y el de Túnez representan dos extremos en tanto en cuanto que en el caso argelino el sector público está presente en el accionariado y en la toma de decisiones de la Sociedad del Proyecto mientras que en el caso de Túnez el sector público no forma parte de la sociedad del proyecto[121]. El caso egipcio es una opción intermedia entre las dos anteriores, ya que el sector público tiene presencia en la Sociedad del Proyecto, pero no está presente en el accionariado de dicha Sociedad.

[120] También pueden existir diferencias en la estructura de financiación de los proyectos en función de otras variables como pueda ser la cultura del país o la organización política entre otros factores.

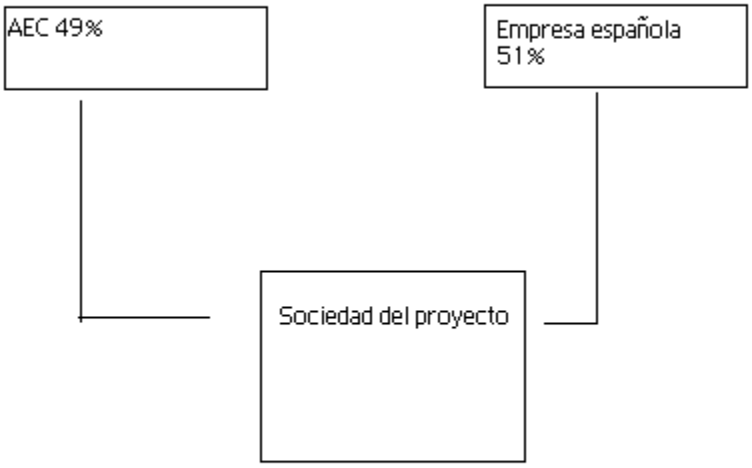
[121] A priori la intención del poder público siempre es la de estar presente o controlar lo máximo posible un proyecto que se va a encargar de producir agua potable, no obstante pueden existir limitaciones financieras a esta voluntad.

5.1.1.- El caso de Argelia

Argelia es uno de los países con una mayor demanda de desalinización, como no poseen técnicos ni empresas con experiencia en este sector han encargado a empresas extranjeras, la mayoría de ellas españolas, la construcción y explotación de varias plantas.

La principal peculiaridad del caso argelino, reside en la implicación del sector público de modo que la sociedad de gestión tiene carácter mixto (Bravo 2005, pp. 86-90). En Argelia el Estado está presente en el proyecto de desalinización con un 49%. Esta cifra le permite participar en las decisiones importantes en torno a la desalinizadora pero el tecnólogo tiene una mayoría suficiente para las decisiones rutinarias. El Estado argelino participa en el proyecto mediante la empresa pública AEC (Compañía de Energía de Argelia). Por tanto la sociedad del proyecto la constituyen la empresa española AWI S.L. y AEC.

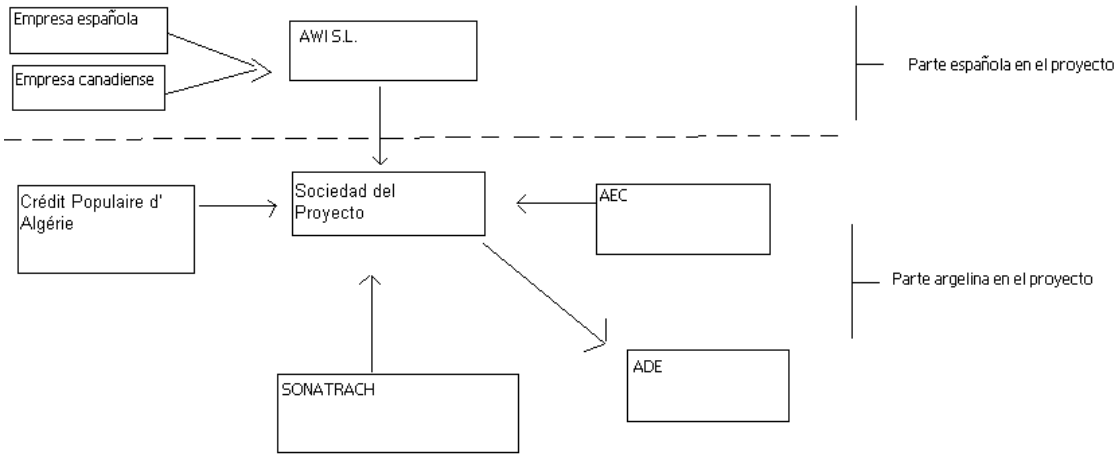
Gráfico 5.1: reparto de las acciones de la Sociedad del Proyecto



En uno de los últimos contratos realizados en Argelia, se realizó una asociación entre una empresa española (Acciona Agua) y una empresa canadiense (Lavalin) fruto de esta asociación surgió la corporación AWI S.L.. Esta corporación conforma la parte privada e internacional en el proyecto, por otro lado la parte pública la constituye la empresa AEC. La sociedad AWI S.L. está constituida en España, es por ello que aunque dicha compañía es fruto de la asociación de una empresa española y una canadiense en el esquema anterior la hemos descrito como la empresa española. Por tanto, a partir de la asociación entre AEC y AWI S.L. surge la sociedad del proyecto. El siguiente elemento clave es el contrato que regula la venta del agua. La empresa que compra y distribuye toda el agua que se produce en esta planta es la empresa pública argelina de gestión de agua ADE. Pero resulta que a la hora de hacer viable el proyecto, existe el problema de que ADE no tiene suficiente capital financiero para dar garantía de su cumplimiento en el contrato de compra venta del agua. Para solucionar este problema de garantías, entra como garante del

contrato de compraventa de agua la empresa pública argelina SONATRACH[122]. Esta empresa se dedica a la comercialización de hidrocarburos y tiene un capital financiero suficiente para avalar el contrato de compraventa entre ADE y la Sociedad del Proyecto[123]. Paralelamente tenemos al banco y/o inversores, en este caso es el banco público argelino Crédit Populaire d'Algérie que es el que financia el proyecto en un ochenta por ciento del capital[124] (Sanz et al 2007, pp. 3-100). En el gráfico 5.2 podemos ver esquematizada esta información.

Gráfico 5.2: empresas y entidades que forman parte de la estructura de financiación del proyecto.



En el esquema anterior podemos ver cuáles son los agentes implicados en el caso de Argelia, pero en este caso, tanto o más importante que saber quiénes son, es saber cómo se relacionan. El acuerdo marco que regula las condiciones básicas de explotación y construcción de la planta, y los derechos y obligaciones en el proyecto de la Sociedad del Proyecto, AEC, ADE y

[122] Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures

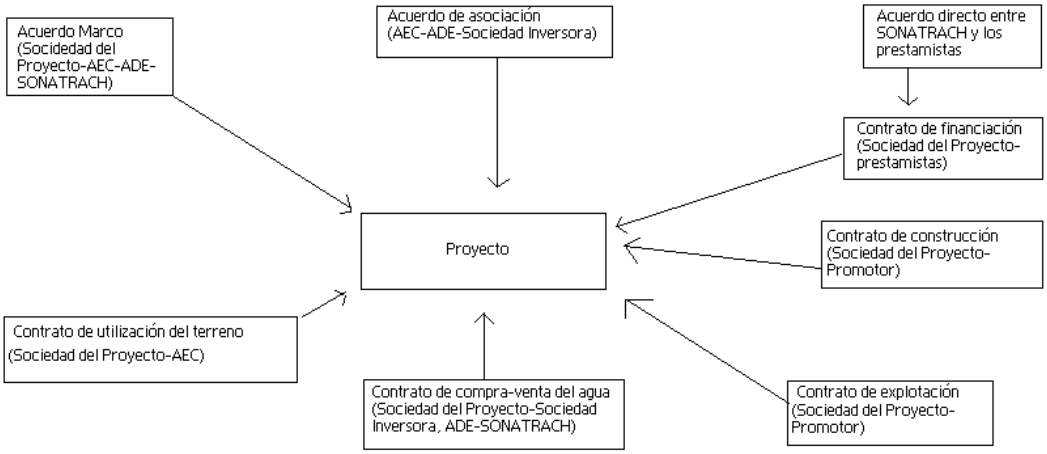
[123] En cierto sentido puede entenderse que el Estado está reinvirtiendo o haciendo uso con el fin de dar garantías de parte de los beneficios obtenidos de la venta del petróleo.

[124] Este banco es público y ha sido dotado de capital por el Estado con las ganancias obtenidas de las exportaciones de petróleo. De nuevo podemos observar la gran importancia que tienen los beneficios obtenidos de la venta de petróleo en la financiación del proyecto.

SONATRACH. Por otro lado, el acuerdo de asociación regula las relaciones entre el promotor-inversor español, AEC, ADE y la Sociedad del Proyecto. Uno de los acuerdos más importantes desde el punto de vista de los objetivos de este trabajo es el de financiación, mediante el cual se regulará la devolución de la deuda, vinculado a este existe también un acuerdo directo entre los prestamistas y SONATRACH por el que este garantiza el pago del agua. No obstante, aunque se garantiza el pago de la deuda y la retribución del accionista, no se cubre la parte de explotación[125]. Dos acuerdos contractuales que aparecen en Argelia y deben estar presentes en todos los proyectos son el de construcción y el de explotación. La compra del agua se formaliza mediante un contrato que regula la relación de compra-venta entre el productor (Sociedad del Proyecto) y el distribuidor (ADE), estando el pago de dicha transacción avalado por SONATRACH. La utilización del terreno en el que se va a ubicar la planta se regula mediante un contrato entre AEC y la Sociedad del Proyecto. Es importante destacar el hecho de que AEC debe de ser propietaria del terreno o al menos tener la capacidad de ceder el terreno con los derechos reales y de hipoteca, ya que el banco necesita tener libertad para hipotecar el terreno. En el gráfico 5.3 podemos ver esquematizada esta relación.

Gráfico 5.3: acuerdos contractuales en el caso argelino.

[125] La parte que siempre debe estar garantizada es la devolución de la deuda al banco.



Los contratos de construcción y explotación se llevan a cabo con el promotor en la medida que se da por supuesto que el promotor es un especialista, tiene la capacidad de construir y explotar y puede dar la garantía para ambos contratos. Sin embargo puede darse el caso de que por diversos motivos el promotor tenga que asociarse o subcontratar empresas especializadas y dotadas de la tecnología necesaria para cada uno de los contratos[126]. Es decir, no necesariamente será la empresa tecnológica la que se encargue de la construcción y explotación de la planta.

El contrato de construcción y explotación se firma entre la Sociedad del Proyecto, una empresa de explotación y una empresa de construcción, generalmente la que construye es la misma que explota siendo esta el promotor, aunque estas labores pueden ser subcontratadas. El objeto social de la Sociedad del Proyecto es crear y explotar la planta con el fin de vender el agua. Para ello gestionará la construcción y la explotación. Toda la responsabilidad en la construcción y en la explotación se va a trasladar a la empresa que construye y explota, que en nuestro caso es la empresa española. El traslado de toda la responsabilidad sobre la construcción y

[126] Es decir, aunque se presupone y es lo habitual que el promotor lleve a cabo la construcción de la planta, éste puede subcontratar en parte o en la totalidad la construcción de la planta. No obstante, la responsabilidad de que el funcionamiento de la planta sea adecuado recae sobre el promotor.

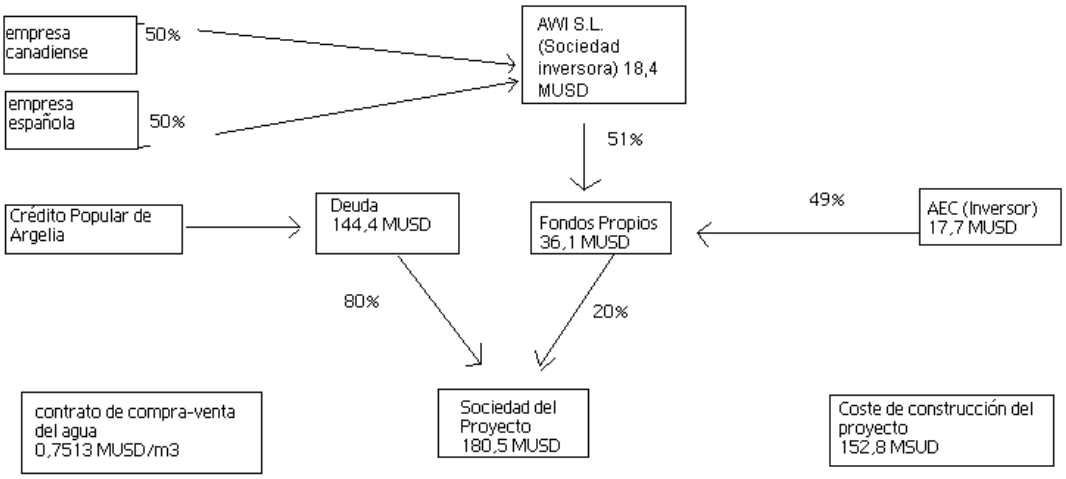
explotación de la planta al promotor constituye un aval encubierto, el “aval” de construcción termina a los dos años de haberse construido la planta, si en esta fecha todo funciona correctamente se da por hecho que cualquier fallo a posteriori de la planta no es responsabilidad del promotor.

Si bien con los dos esquemas anteriores conocemos los actores principales y los contratos que los relacionan, es de gran importancia conocer la implicación de cada uno de estos agentes en los distintos acuerdos así como su participación financiera. AWI S.L. es la empresa inversora que representa la parte española de la sociedad que lleva a cabo el proyecto en Argelia, se constituye en España con el capital de las empresas española y canadiense con un 50% de la inversión cada una, respecto a un total de 18,4 millones de dólares americanos. El capital de la sociedad del proyecto se compone de un 20% de fondos propios (36,1 millones de dólares americanos) y el 80% restante corresponde a la deuda incurrida con Crédit Populaire d’Algérie (144,4 millones de dólares americanos). Ese 20% de fondos propios se forma a partir de un 51% que aporta AWI S.L. y un 49% que aporta AEC, la aportación de AEC en términos monetarios es de 17,7 millones de dólares americanos. De lo anterior deriva que el capital total de la sociedad del proyecto es 180,5 millones de dólares.

La construcción de la planta tiene un coste total de 153,8 millones de dólares, una vez construida empezará a aplicarse el contrato de compra-venta del agua, en el que el precio de venta del agua será de 0,7513 $/m^3 [127]. En el siguiente gráfico podemos ver esta información sintetizada.

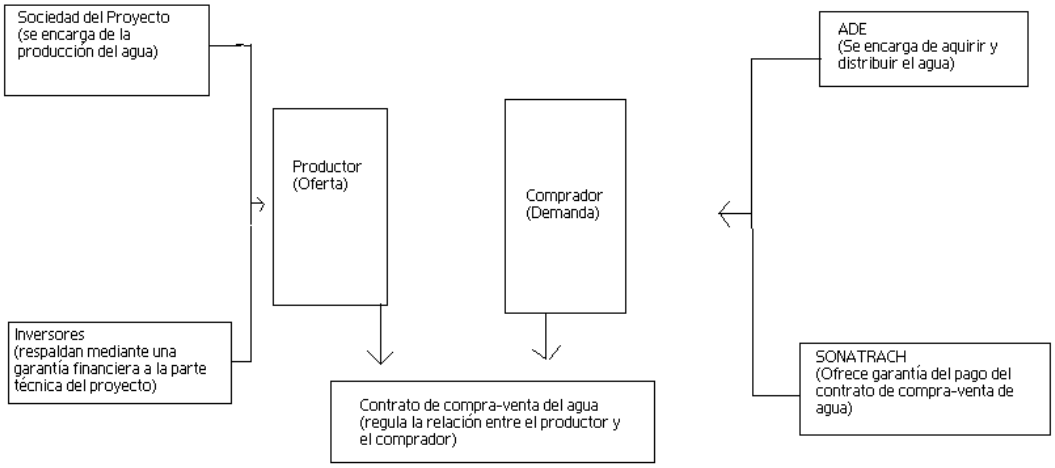
Gráfico 5.4: financiación del proyecto

[127] En el precio del agua puede parecer carente de sentido el emplear cuatro decimales en lugar de dos, ya que dos es el máximo de decimales que se contabilizan al trabajar con dólares. No obstante hemos reflejado la cantidad con cuatro decimales porque con este precio se remunerará el agua, realizando a posteriori los redondeos necesarios.



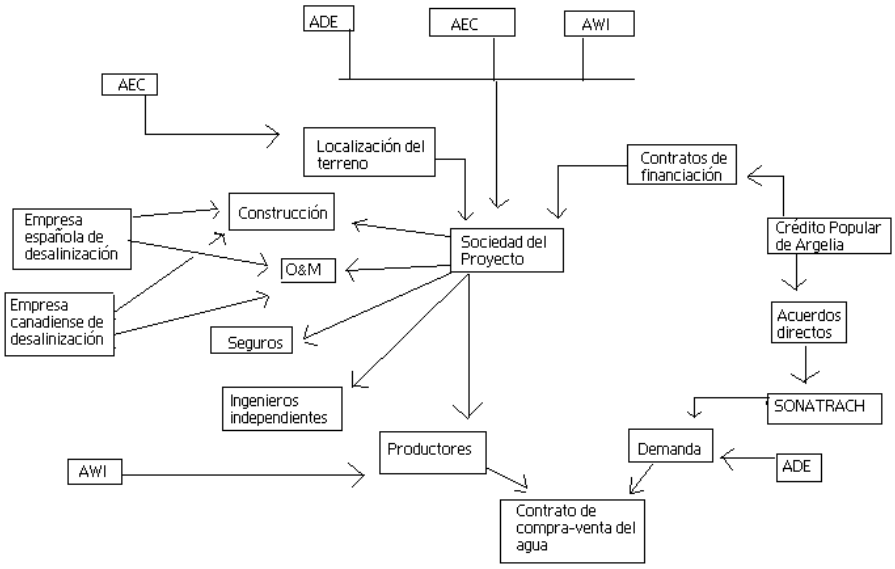
Si realizamos un análisis en el que prima menos el orden de las relaciones contractuales frente la organización del mercado, podemos distinguir de un lado la demanda y por otro la oferta. Los productores del agua son la oferta en este mercado, estos son la Sociedad del Proyecto y los inversores. La Sociedad del Proyecto se encarga de producir el agua, mientras que los inversores dan la garantía a la parte técnica del proyecto. Por el lado de la demanda están ADE y SONATRACH. La empresa pública ADE se encarga de comprar el agua a los productores y de distribuirla entre la población de Argelia. El papel de SONATRACH es dar la garantía financiera de que ADE va a pagar el agua, ya que la capacidad económica de ADE no es suficiente para proveer dicha garantía. El contrato de compra-venta del agua es la relación entre la oferta y la demanda que articula todo este entramado económico. El siguiente gráfico esquematiza estas relaciones.

Gráfico 5.5: relación entre la oferta y la demanda



El modelo general tiene dos niveles clave en su funcionamiento, el primer nivel sería el formado por el conjunto de agentes socioeconómicos que conforman el proyecto y determinan su funcionamiento. El segundo nivel se determina a partir de la estructura contractual que vincula e interrelaciona a los agentes integrantes del proyecto. Este modelo general tiene la misma estructura de base en todos los países. Los matices en cada proyecto los podemos encontrar en la implicación de sector público en el proyecto, en la existencia de avalistas en los diferentes contratos o en la estructura de la sociedad del proyecto. En el siguiente gráfico podemos ver la estructura completa de uno de los proyectos de desalinización que ha tenido lugar en Argelia.

Gráfico 5.6: estructura completa del proyecto argelino



La peculiaridad de este proyecto es que el sector público de Argelia participa activamente en él, obteniendo parte de los beneficios económicos que se generen. Respecto a la facilidad con la que el proyecto será financiado, esto siempre es un factor beneficioso ya que la participación del Estado argelino da una mayor garantía al proyecto. En el proyecto que aquí estamos analizando, los bancos con los que se negoció en primer lugar no eran de Argelia (algunos de ellos eran españoles), estos bancos alegaron que los contratos y las garantías debían incorporar algunas modificaciones para que la financiación fuese viable. Sin embargo, el Gobierno argelino no quiso llevar a cabo las modificaciones que los bancos exigían, de modo que el proyecto fue finalmente financiado por la banca pública argelina.

5.1.2.- El caso de Egipto

Al igual que sucedía en el caso de Argelia, Egipto es un país que ha decidido incrementar la capacidad de recursos hídricos no convencionales para hacer frente a la escasez (Khalil 2004, pp. 22-30). El proyecto de reutilización llevado a cabo en Egipto, es un caso intermedio entre el tunecino y el argelino en lo que a la intervención del sector público se refiere. Dos ministerios egipcios están involucrados en el desarrollo del proyecto, el Ministerio de

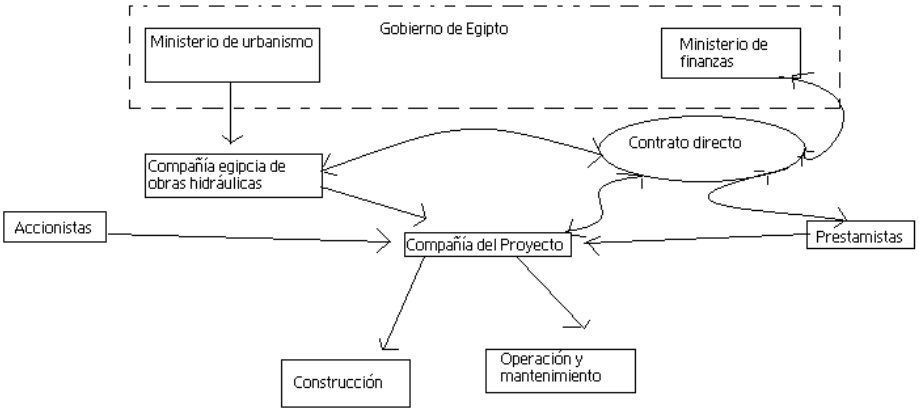
Urbanismo y Desarrollo Urbano y el Ministerio de Finanzas. El Ministerio de Finanzas se encarga de avalar el proyecto frente a los financiadores. Por otro lado, el sector público está presente en este proyecto pero no participa en la financiación del mismo más allá del aval de este[128]. Si bien es el Ministerio de Urbanismo el que participa en el proyecto, no lo hace directamente, sino que lo hace mediante un representante, la Compañía Pública Obras Hidráulicas[129]. La Compañía pública de agua potable y depuración de aguas es partícipe en el contrato de explotación y construcción, pero no aporta capital al proyecto. En este proyecto, el terreno donde se construye la planta es público, pero la ley egipcia contempla que el Estado pueda pasarle derechos reales y capacidad de hipoteca sobre el terreno y lo que haya sobre él a la Sociedad del Proyecto[130]. La Sociedad del Proyecto en el caso de Egipto se sustenta económicamente con el capital de los accionistas y de los prestamistas. La Sociedad del Proyecto se encargará de la construcción, operación y mantenimiento de la planta. Como hemos dicho, la principal diferencia con el proyecto llevado a cabo en Argelia es la no aportación de capital al proyecto. No obstante el Estado participa económicamente en el proyecto desde el momento que una empresa pública forma parte del proyecto y que el proyecto se lleva a cabo a partir de una concesión estatal. Respecto a la financiación forman parte del contrato el Ministerio de Finanzas, la Compañía Egipcia de Construcción de Obras Hidráulicas, la Sociedad del Proyecto y los inversores. En el gráfico 5.7 podemos ver la estructura del proyecto.

Gráfico 5.7: estructura financiera del proyecto egipcio

[128] Fundamentalmente la diferencia con el caso argelino reside en que el Gobierno egipcio no forma parte del accionariado de la Sociedad del Proyecto por lo que tampoco será partícipe de los potenciales beneficios.

[129] Como podemos apreciar, no es frecuente que sea el Gobierno como tal el que sea partícipe de la Sociedad del Proyecto sino que lo hace una empresa pública. Esto sucede así en todos los países, no solo en los que aquí estamos analizando.

[130] Esta posibilidad no está presente en todos los países, de hecho en el caso tunecino se hicieron a propósito modificaciones legales a este respecto con el fin de que la financiación del proyecto de desalinización fuese posible.



Es interesante destacar una importante diferencia del proyecto de Egipto con los de Argelia y Túnez en cuanto al modo de participar en la licitación. En los proyectos de Argelia y Túnez, es al promotor a quien se le adjudica. Una vez se sabe quién va a construir y explotar la desalinizadora se crea la Sociedad del Proyecto bien solo el promotor o con una o varias empresas públicas. Esto supone que en el pliego de licitación debe existir la garantía de que con la adjudicación todos los derechos y responsabilidades del Estado pasan a la Sociedad del Proyecto.

En el caso de Egipto es la Sociedad del Proyecto la que concursa en la licitación, lo que obliga a los promotores a constituir las Sociedades de Proyecto. Todos los promotores tenían que constituir la Sociedad con la misma empresa pública y por otra parte cada promotor contaba con sus socios locales[131].

[131] Esto supone un esfuerzo mucho mayor para los promotores a la hora de concursar o no en la licitación, ya que independientemente de si al final se adjudican o no el proyecto tendrán que constituir la Sociedad del Proyecto con una empresa pública y además asociarse con empresas locales, teniendo en cuenta que es de igual o mayor importancia los socios locales con los que se cuente que el propio proyecto de desalinización.

5.1.3.- El caso de Túnez

En Túnez también se ha recurrido al incremento de los recursos hídricos disponibles mediante los no convencionales. Actualmente están funcionando plantas de ósmosis inversa, de nanofiltración y de electrodiálisis (Walha et al 2007, pp. 95-106). Quizás este sea uno de los casos en los que más trabas y complicaciones han surgido a la hora de construir la estructura de financiación del proyecto, debido a la capacidad económica del Gobierno (Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Túnez 2004, pp. 5-45). No obstante, es uno de los países en los que más necesaria era una alternativa para incrementar la oferta de recursos hídricos (Zekri and Dinar 2002, pp. 1-12). En el caso de Túnez la Sociedad del Proyecto está formada al cien por cien por una empresa privada. En los casos anteriores habíamos visto que empresas públicas eran partícipes de la Sociedad del Proyecto. Esto hacía que independientemente de si las empresas públicas habían invertido capital en la Sociedad, esta pudiera ofrecer un mayor nivel de garantía. La consecuencia de la no implicación de ninguna empresa pública ni el Estado en el proyecto es que las garantías no están claras y por tanto hay una menor disponibilidad a financiar el proyecto por parte de la banca, hasta el punto de que en este proyecto se exige que los fondos propios de la Sociedad del Proyecto sean de alrededor del 50%[132]. En el caso de Túnez el Estado no participa en la construcción ni explotación de la desalinizadora. El problema en estos casos es que como el Estado no es parte activa del proyecto tiende a pretender exigir una mayor implicación de la empresa en la inversión. En Túnez, se exige a la empresa española que se va a hacer cargo del proyecto que invierta en fondos propios el 50%. Esto es muy superior a lo habitual que oscila entre el 20-30%. El promotor técnico no es un inversor, su capital circulante se emplea para comprar materiales como bombas o tuberías. El problema que argumentaba el Gobierno tunecino a la hora de que el Estado de garantías es que es un país

[132] Este porcentaje de inversión hace que para el promotor el proyecto sea poco atractivo ya que el nivel de riesgo que debe asumir es demasiado elevado. Por lo general el promotor solo estará dispuesto a participar en un proyecto que exige este nivel de inversión si cuenta con un socio que aporte capital o si se tratase de un proyecto muy reducido en el cual ese 50% representase un nivel reducido de inversión.

muy pequeño donde cualquier endeudamiento puede incrementar en gran medida la deuda país. No obstante, cabe señalar aquí que si la deuda recae exclusivamente en una empresa pública, esta deuda podría no contabilizarse como deuda del país sino como deuda de esa empresa. Fue esta preocupación la que llevó al Estado a exigir que el promotor aporte el 50% del capital con fondos propios. El promotor español ha aceptado poner esta cantidad de dinero tras muchas negociaciones. Lo hará "seguramente" con un socio inversor de Kuwait, y va a llevar a cabo el proyecto entre otros motivos porque no se trata de una planta muy grande, de lo contrario el compromiso financiero que se exige al promotor en este proyecto no hubiese sido abordable. Las empresas de tecnología no están dispuestas por lo general a invertir en más de un treinta por ciento en el desarrollo del proyecto. Este hecho hace que la financiación del proyecto sea difícil de abordar. En este caso si no cede ni el tecnólogo ni el sector público, la única solución es que el tecnólogo se asocie con uno o varios socios inversores. El agua desalinizada se vende en su totalidad a la empresa pública tunecina SONEDE[133]. No obstante, es la propia SONEDE la que firma el contrato sin que con ello quede vinculado el Gobierno de Túnez, con lo cual el contrato de compra venta del agua presenta un nivel de garantía muy bajo. La SONEDE es una empresa privada que fue constituida por el Gobierno cuyo objetivo social es repartir el agua en monopolio. El problema para la viabilidad económica del proyecto es que en los estatutos no se establece que el Gobierno se tenga que hacer cargo de las pérdidas de la empresa, aunque en la práctica el Gobierno había puesto el dinero necesario cuando se habían producido pérdidas. Sin la garantía formal de que el Gobierno de Túnez se hará cargo de responder por la SONEDE, la única garantía que existe respecto al cumplimiento del contrato de compra-venta del agua son los bienes de la SONEDE, pero estos son insuficientes para tal fin. En este tipo de casos la solución más habitual es que el proyecto se financie multilateralmente, con entidades como el Banco Africano de Desarrollo o el Banco Mundial. Toda esta complicación en la financiación surge a raíz de que Túnez no quiere comprometerse a avalar el proyecto para no empeorar su riesgo país. Los actores principales en este proyecto son el Gobierno de Túnez

[133] La Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux

que es el que saca a concurso la licitación, la empresa española que resulta adjudicataria en la licitación, la SONEDE que es la empresa pública que compra y distribuye toda el agua que se produce en la planta, los posibles socios que se incorporen al proyecto cómo socios capitalistas de la empresa tecnóloga y por último los bancos. En realidad el Gobierno de Túnez es la autoridad que concede porque es realmente el propietario de SONEDE. El problema que surge en la viabilidad económica de este proyecto es que al querer hacer el gobierno la concesión a través de SONEDE esta no es sólida.

El hecho de que la "empresa tecnóloga" española se plantee buscar un socio inversor, en lugar de un socio que aporte también tecnología tiene mucho que ver con que es bastante complicado coordinar el proyecto con otro tecnólogo, ya que cada uno trabaja con sus proveedores, su gestión y su metodología.

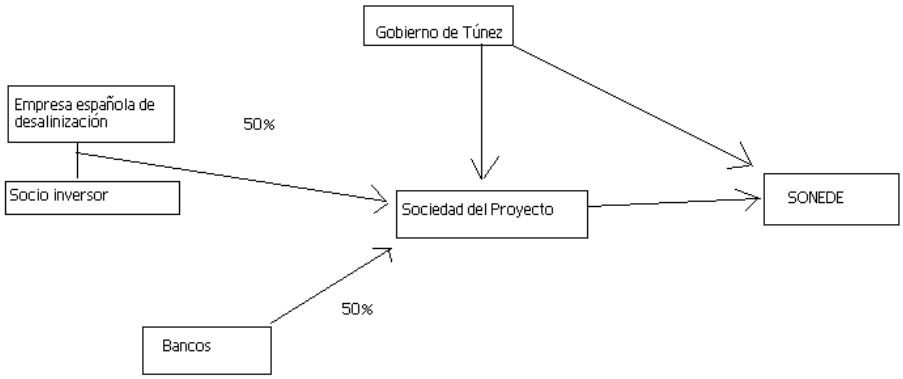
En este tipo de proyectos en los que el sector público no forma parte de la Sociedad del Proyecto la participación de un "tecnólogo" es especialmente complicada porque le obliga a él a poner todos los fondos propios. Con lo cual podría darse el caso de que si no se encontrara un socio capitalista para compartir los riesgos, la "empresa tecnóloga" decida no llevar a cabo el mismo.

Otro agravante en cuanto a la facilidad de financiar el proyecto lo encontramos cuando el Gobierno de Túnez no quiere avalar el proyecto dando garantías sobre la empresa compradora del agua, de modo que tanto la inversión del "tecnólogo" como la financiación del banco se hacen más difíciles[134]. El hecho de que el Gobierno de Túnez no quiera avalar el proyecto

[134] En otros países ha sucedido que la empresa encargada de comprar y distribuir el agua no tenía una capacidad financiera suficiente para garantizar el cumplimiento del contrato *take or pay* pero en este tipo de casos se puede solucionar esta falta de garantía avalando el cumplimiento del take or pay bien por el sector público o lo que es más frecuente por otra empresa pública de mayor solidez económica, tal y como se hizo en Argelia entrando como avalista la empresa SONATRACH.

se debe al pequeño tamaño de este país y en consecuencia a su reducido presupuesto[135]. En gráfico 5.8 podemos ver la estructura de uno de los proyectos que se ha llevado a cabo en Túnez.

Gráfico 5.8: estructura del proyecto en Túnez



5.2.- El modelo general

Como hemos visto, existen unas pautas generales en todos los proyectos de desalinización. En la estructura de un proyecto de desalinización siempre aparecen los mismos agentes y los mismos contratos. Los agentes comunes a todo proyecto son los siguientes:

- La o las "empresas tecnólogas", son las que van a llevar a cabo el proyecto, generalmente entran en el país mediante un concurso en una licitación, en casos muy excepcionales pueden entrar en un país

[135] Este es el argumento aportado por el Gobierno de Túnez, no obstante cabe destacar que el incremento de la deuda no computaría necesariamente como una deuda del Estado sino que se podría contabilizar como deuda de la empresa pública.

mediante un contrato directo. El objetivo de este agente es obtener un beneficio bien sea mediante la partida presupuestaria del beneficio industrial o de otro modo. Este agente es el centro de todo el proyecto, el resto de agentes están relacionados de un modo directo con la "empresa tecnóloga".

- El gobierno del país donde se va a llevar a cabo el proyecto y las empresas u organismos en quien delega. El objetivo del gobierno es obtener una cantidad adicional de recursos hídricos. Por lo general el gobierno actúa mediante un representante que suele ser una empresa pública. Para que el proyecto sea apto para ser financiado, la empresa pública que representa al Estado tiene que tener un nivel económico y financiero suficiente, de no ser así, se presentaría un problema para financiar el proyecto, ya que si esta empresa pública incumple su parte del contrato el banco no podría recuperar la deuda. Es por ello, que cuando el capital financiero de las empresas públicas que representan al Estado no da la garantía suficiente para la satisfacción del pago de la deuda, es frecuente la existencia de otra empresa pública con más solvencia que avala a la anterior. Dependiendo del nivel de implicación del sector público en el proyecto, la compañía pública puede participar técnica y/o económicamente o no. Las funciones de este agente son dar garantías, participar en su caso en el proyecto, controlar internamente la ejecución del proyecto y cuando aporta capital obtener beneficios[136].

- La empresa que compra y distribuye el agua. Al igual que ocurre con las compañías públicas que participan en el proyecto, esta empresa tiene que tener suficiente solvencia para garantizar el pago del agua, de no ser así, se requerirá que otra empresa la avale como hemos dicho anteriormente. El objetivo de este agente es distribuir el agua al usuario final, debido a que esa empresa es nombrada por el Estado como

[136] El gobierno siempre va a tener un grado de control sobre la actividad a desempeñar la diferencia es que en función del grado de participación en la Sociedad del Proyecto su control será mayor o menor.

distribuidora oficial y única y por ello el Estado la avala y la apoya para que pueda garantizar un contrato de *take or pay* y garantizar el pago.

- Los bancos u otras entidades financiadoras**.** Este agente es una pieza vital para el funcionamiento del proyecto así como para responder a las preguntas que nos hacemos en este trabajo. Los bancos marcan totalmente la necesidad de que el proyecto disponga de ciertos avales, seguros y otras garantías.

- Otros agentes implicados en la estructura del proyecto. Pueden ser partícipes del proyecto otros agentes como avalistas de ciertos acuerdos contractuales o como socios de la parte "tecnóloga" que son meramente inversores.

La otra parte del modelo general son los acuerdos contractuales que regulan las relaciones existentes entre los agentes implicados en el proyecto. Los principales acuerdos contractuales son:

- El acuerdo de asociación. En este contrato se regula la relación existente entre las empresas y organismos que integrarán la sociedad del proyecto. El carácter público, privado o mixto del proyecto depende en buena medida de la presencia del Estado a través de las compañías públicas en el acuerdo de asociación. En el proyecto de Argelia, la empresa pública argelina AEC es partícipe en el acuerdo de asociación. En el caso de Egipto, el sector público está presente en el contrato de asociación a través de la Compañía Egipcia de Obras Hidráulicas, mientras que en el caso tunecino el Estado no participa en el contrato de asociación. Otra diferencia importante al respecto del contrato de asociación es si existe una única "empresa tecnóloga" o si hay más de una así como la posible participación de socios inversores.

- Acuerdo marco. Este acuerdo establece la relación contractual entre todos los agentes implicados en el proyecto, incluidos los que intervienen meramente como avalistas. En el caso de Argelia forman parte de este acuerdo la Sociedad del Proyecto, AEC, ADE, y SONATRACH. En el caso egipcio, serían parte activa en el acuerdo marco la Sociedad del Proyecto y la compañía egipcia de obras hidráulicas. En Túnez, los integrantes del acuerdo marco son la Sociedad del Proyecto, el Estado tunecino y la SONEDE.

- Acuerdos directos entre los prestamistas y los avalistas. Si bien en cuanto el funcionamiento diario de la planta, estos acuerdos no son muy importantes, para el propósito de esta investigación, los acuerdos directos entre los bancos y/o las entidades que vayan a financiar el proyecto y los avalistas son de gran importancia. El cómo y el cuándo el avalista tendrá que hacer frente a las responsabilidades del "avalado" se establecerá en este contrato. En el caso egipcio, el Ministerio de Finanzas avala el proyecto. En el proyecto Argelino el nivel de garantías es menor porque no hay un aval directo pero al introducir una empresa muy solvente como SONATRACH que garantiza los pagos de ADE se sigue garantizando el *take or pay*. El problema en los proyectos en los que la implicación del sector público es menor, como es el caso de Túnez, es que hace que el banco exija una mayor responsabilidad económica a la Sociedad del Proyecto en el mismo (este es el caso en el que las garantías son más débiles). En el proyecto de Egipto, aunque el sector público no compromete capital para el funcionamiento del mismo, si que existe un contrato de aval que firman el Ministerio de Finanzas con los prestamistas.

- Contrato de financiación. Este contrato es uno de los más importantes para nuestro propósito de estudio. El que se lleve a cabo dicho contrato depende en buena parte de la existencia de garantía suficiente en la devolución de la deuda contraída con el prestamista. Este contrato

siempre se lleva a cabo entre la Sociedad del Proyecto y los prestamistas, ningún agente más participa en este contrato. La implicación o no del sector público en dicho contrato dependerá de si éste forma parte de la Sociedad del Proyecto y de si este compromete además fondos propios. En el proyecto de Argelia, el Estado forma parte del contrato de financiación ya que forma parte de la Sociedad del Proyecto y además aporta el 49% de los fondos propios de esta. El proyecto egipcio es un caso intermedio, si bien el sector público forma parte de la Sociedad del Proyecto, este no compromete sus fondos, aunque por otro lado, si el proyecto fallase y la "empresa tecnóloga" estuviera exenta de responsabilidad tendría que hacerse cargo del pago de la deuda ya que es el avalista. En el proyecto tunecino, el Estado no es partícipe en ningún modo de este contrato. En el caso de Egipto, el Estado si es partícipe en la Sociedad del Proyecto mediante la Compañía Egipcia de Obras Hidráulicas. Es por ello que el sector público está implicado en el contrato de financiación, no obstante, dado que no se comprometen fondos públicos el grado de implicación del Estado es muy bajo. La disposición a financiar el proyecto depende en buena parte del respaldo del Estado. En este sentido podemos clasificar los tres proyectos analizados de mayor a menor respaldo de la siguiente manera: Argelia, Egipto y Túnez.

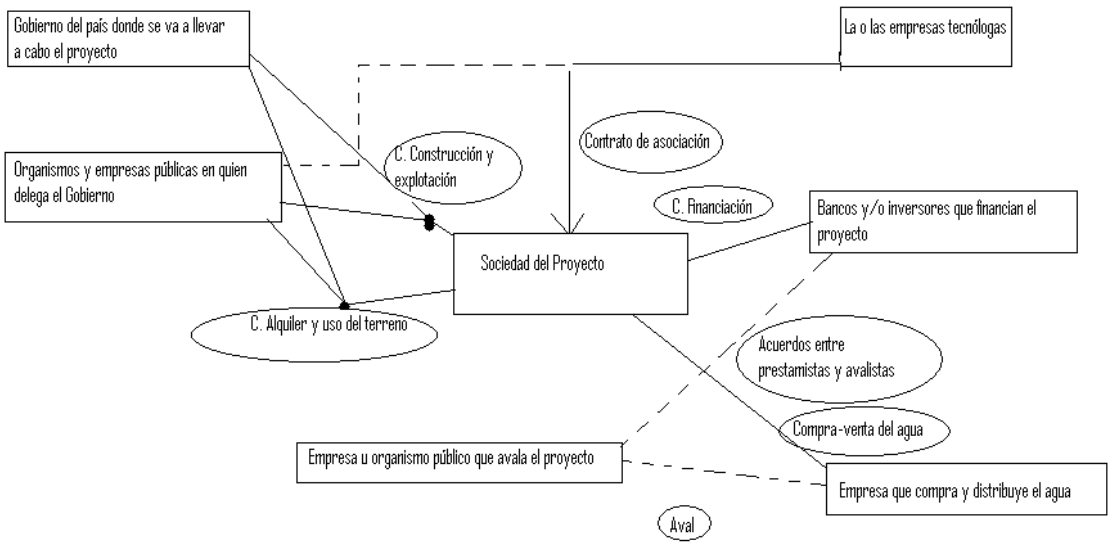
- Contrato de construcción y/o de operación. Este contrato se realiza entre la Sociedad del Proyecto y la empresa encargada de construir y explotar (el promotor o una subcontrata del mismo). En la estructura de este contrato y en cuanto a las partes firmantes, no hay prácticamente diferencia en los tres casos estudiados. En el proyecto tunecino, el contrato de construcción y explotación lo firman la Sociedad del Proyecto (en la que no participa el sector público) y el promotor. En Egipto dicho contrato se realiza entre la Compañía Egipcia de Obras Hidráulicas (que actúa en representación del Ministerio de Urbanismo) y la Sociedad del Proyecto. En el caso Argelino son firmantes de este proyecto la Sociedad del Proyecto y el promotor.

- Contrato de compra-venta del agua. Este contrato es de vital importancia para que el proyecto sea viable. El banco o quien financie el proyecto exigirá que el pago del agua esté garantizado, bien por quien realiza la compra de la misma o por un avalista. Para garantizar la compra-venta del agua se lleva a cabo un contrato *take or pay* por el que el pago del agua queda asegurado al menos en la parte que corresponde a la devolución de la deuda con el banco y el pago a los accionistas, el único caso en el que no se realizará el pago es cuando no se produzca el agua, siendo responsabilidad del promotor. En el contrato de compra-venta en Argelia tenemos de un lado la oferta, representada por la Sociedad del Proyecto y de otro lado la demanda que es ADE y el avalista del contrato que es SONATRACH. En Egipto las partes de dicho contrato son la Sociedad del Proyecto, la Compañía Egipcia de Obras Hidráulicas y el avalista del contrato es el Ministerio de Finanzas. Por último en Túnez la oferta es la Sociedad del Proyecto y la demanda la SONEDE, aunque existe aval por parte de la SONEDE este es difuso y poco fundado.

- Contrato de alquiler y uso del terreno. Esta parte cobra una especial importancia siempre que la Sociedad del Proyecto tenga capacidad de hipoteca sobre el terreno y la planta, esto sucederá cuando el propietario del terreno sea partícipe de la Sociedad del Proyecto o cuando ceda los derechos reales y de hipoteca sobre el terreno y lo que se construya sobre él (esto no siempre será posible, depende del marco jurídico del país). Si volvemos a nuestro objetivo y partimos de que uno de los factores que hacen viable el proyecto es que el terreno sea hipotecable, vemos que existían dificultades adicionales en el proyecto tunecino ya que la Sociedad del Proyecto no tiene la propiedad del terreno y por tanto este no puede constituir una garantía adicional mediante hipoteca. En los otros dos proyectos que hemos analizado el terreno está hipotecado.

En el siguiente esquema podemos ver la estructura general de un proyecto de desalinización. Los agentes que intervienen el proyecto están rodeados con un rectángulo y los acuerdos contractuales con un círculo. Por otro lado, los agentes guardan relaciones contractuales entre ellos que están señaladas mediante líneas rectas continuas y discontinuas. Las líneas continuas denotan relaciones contractuales que se dan prácticamente siempre, mientras que las líneas discontinuas denotan relaciones que se dan algunas veces.

Gráfico 5.9: agentes y acuerdos contractuales que conforman la estructura genérica de un proyecto de desalinización.



Cuanto más indemne sea la Sociedad del Proyecto, más fácil será que el banco acceda a proveer la financiación. Una vez están presentes y articuladas todas las fuerzas del proyecto, es decir el Estado, el comprador, el avalista y la Sociedad del Proyecto, el banco hará que se analice la garantía del proyecto técnico mediante una *Due Diligence*. La *Due Diligence* consiste en que el banco solicita a una empresa de ingeniería independiente que analice la viabilidad técnica del proyecto, esta empresa analizará los posibles problemas que puede presentar la planta en su funcionamiento. Hay que tener en cuenta que, por lo general, se pretende que la planta funcione en continuo, por tanto

debe de existir garantía técnica de que el diseño de la planta es capaz de asegurar dicho funcionamiento en continuo salvo causas de fuerza mayor.

La *Due Diligence* ratifica la bondad del proyecto, ya que un experto independiente da fe de que la planificación técnica de la planta es adecuada. Además, se incluirá un estudio de explotación de la planta en el que se analizará si el modo en que se va a explotar la planta, dadas las características de la misma, permite su explotación en continuo. Por otro lado, siempre cabe la posibilidad de que la planta se incendie, que haya un terremoto, una huelga o similares. Es por esto que el banco pedirá a la Sociedad del Proyecto que cubra ciertos riesgos con una o varias compañías de seguros, el banco analizará si la cobertura del seguro es suficiente, este seguro supondrá más costes para el proyecto. No obstante, pese a contar con un seguro, el banco pedirá garantías adicionales, habitualmente se exige que las acciones de la Sociedad del Proyecto sean pignoradas, es decir que el banco pueda quedárselas en prenda.

También suele exigirse la delegación de los derechos de cobro de la Sociedad del Proyecto, es decir en caso de que se produzca un impago de la deuda contraída con el banco este pueda ejercer el derecho de cobro de la Sociedad del Proyecto. Generalmente se hace un contrato que regula las cuentas bancarias que se emplearán en el proyecto, en este sentido cabe distinguir cuatro cuentas bancarias:

- Cuenta A: es la cuenta en la que se recibe el pago correspondiente a la venta del agua. Una vez se recibe el pago, éste se desviará automáticamente a tres cuentas que denominaremos B, C y D.

- Cuenta B: en esta cuenta se ingresará la parte proporcional a la deuda contraída con el banco, habitualmente esta cantidad está en torno a un tercio del dinero ingresado. El dinero que existe en esta cuenta no está disponible para la Sociedad del Proyecto. El único dinero que sale de la cuenta B es el destinado a pagar la deuda contraída con el banco, este saldrá semestralmente. Cabe destacar que en caso de que hubiese un

accidente que supusiese el cobro de la póliza de seguros este cobro se haría en esta cuenta.

- Cuenta C: esta cuenta está destinada a la remuneración del accionista, por lo general representa otro tercio del pago percibido por la venta del agua. El dinero de esta cuenta tampoco es de disposición libre para la Sociedad del Proyecto. Si se produjera un impago de la deuda contraída con el banco, este tiene por lo general derecho a emplear los fondos de esta cuenta para cobrar su dinero. Por tanto hay dos modos mediante los que el dinero saldrá de esta cuenta, el primer modo es para pagar la deuda y el segundo la pignoración.

- Cuenta D: esta cuenta se emplea para pagar los gastos de explotación de la Sociedad del Proyecto, y suele recoger un tercio del dinero que entra en la cuenta A. Esta cuenta es la única de disposición libre, es decir la Sociedad del Proyecto puede sacar dinero cuando quiera.

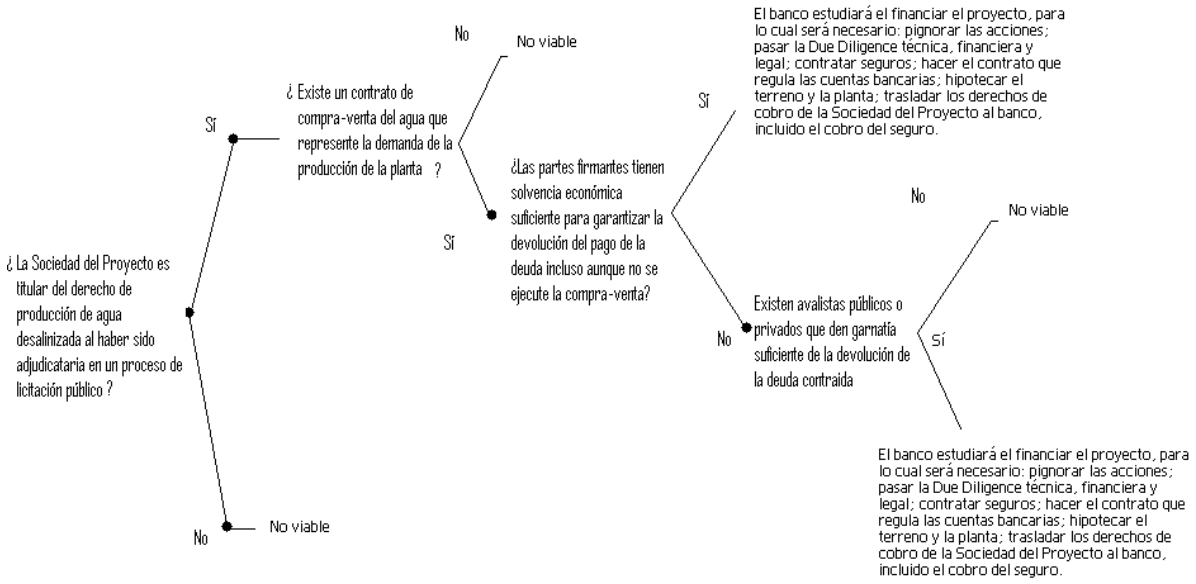
- Cuenta X: esta cuenta solo estará activa el tiempo que dure la construcción de la planta. En esta cuenta el banco ingresa el dinero necesario para la construcción de la planta según un calendario de pagos que se incluye en el proyecto técnico y que coincide con los diversos hitos en la fase de construcción. Además la definición de los hitos mensuales y la ratificación de su cumplimiento por parte del ingeniero independiente son condiciones indispensables para que el banco realice los desembolsos.

Cuando el proyecto técnico ya está aprobado hace falta la *Due Diligence* financiera y legal. Una vez aprobado el proyecto desde un punto de vista financiero y legal se produce el cierre financiero, es decir se da respuesta a nuestra pregunta, ahora el proyecto es viable.

Solamente en este momento el banco procede al primer desembolso en la cuenta x y en ese momento empiezan a correr los plazos fijados en el modelo financiero de forma que con el calendario de pagos previsto en el tiempo de construcción fijado en el proyecto se generan unos intereses que unidos a la deuda deberán ser reembolsados en el plazo de explotación. El modelo financiero que es la culminación de la *Due diligence* del proyecto es la verdadera respuesta a nuestra pregunta. Uno de los factores elementales es el hecho de que la Sociedad del Proyecto sea titular del derecho de producir agua desalinizada al haber sido adjudicataria en un proyecto de licitación público, de no ser así no será viable.

Otro contrato que debe existir es el de compra-venta del agua. Éste si lo hemos analizado con cautela y es indispensable, pues de no existir la propia Sociedad del Proyecto no querría arriesgarse a llevar a cabo el mismo. Si no existe un contrato por el cual la producción de la planta sea adquirida por una empresa u organismo público o privado, los bancos no financiarán el proyecto. La pregunta es ¿Será viable el proyecto de desalinización cuando exista dicho contrato de compra-venta? No necesariamente, para ello hace falta que las partes firmantes del contrato de compra-venta tengan una solvencia económica suficiente para garantizar el cumplimiento del contrato, ya que de este depende en gran parte la devolución de la deuda contraída con los prestamistas. Si la situación económica de las partes firmantes es la suficiente para garantizar la devolución de la deuda, el banco exigirá una serie de garantías adicionales como seguros, pignoración de acciones, derecho de cobro preferente, secuestro de cuentas bancarias, etcétera. Una vez satisfechas estas garantías adicionales el banco pasara a hacer una *Due Diligence* técnica, económica y financiera. En el gráfico 5.10 podemos ver las variables que van a determinar la financiabilidad de un proyecto de desalinización.

Gráfico 5.10: preguntas fundamentales que determinan la viabilidad económica del proyecto.


¿ La Sociedad del Proyecto es titular del derecho de producción de agua desalinizada al haber sido adjudicataria en un proceso de licitación público ?
Sí
No
No viable
¿ Existe un contrato de compra-venta del agua que represente la demanda de la producción de la planta ?
No
No viable
Sí
¿Las partes firmantes tienen solvencia económica suficiente para garantizar la devolución del pago de la deuda incluso aunque no se ejecute la compra-venta?
Sí
El banco estudiará el financiar el proyecto, para lo cual será necesario: pignorar las acciones; pasar la Due Diligence técnica, financiera y legal; contratar seguros; hacer el contrato que regula las cuentas bancarias; hipotecar el terreno y la planta; trasladar los derechos de cobro de la Sociedad del Proyecto al banco, incluido el cobro del seguro.
No
Existen avalistas públicos o privados que den garnatía suficiente de la devolución de la deuda contraida
No
No viable
Sí
El banco estudiará el financiar el proyecto, para lo cual será necesario: pignorar las acciones; pasar la Due Diligence técnica, financiera y legal; contratar seguros; hacer el contrato que regula las cuentas bancarias; hipotecar el terreno y la planta; trasladar los derechos de cobro de la Sociedad del Proyecto al banco, incluido el cobro del seguro.

5.3.- Conclusiones del capítulo

En este capítulo hemos analizado el proceso, los trámites y la estructura organizativa que debe adquirir un proyecto de desalinización para ser viable en términos económicos. Nuestro objetivo era describir cómo se lleva a cabo el proceso de internacionalización hacia un país. Hemos observado notables diferencias en la estructura de funcionamiento económico de los proyectos entre los distintos países. En gran medida lo que va a condicionar la estructura de funcionamiento del proyecto de desalinización es el grado de implicación del sector público.

Partiendo del hecho de que existen grandes diferencias en la estructura económica del proyecto dependiendo del grado de implicación del sector público, hemos analizado tres países que representan tres casos claramente diferenciados, que son Argelia, Egipto y Túnez.

El modelo de Argelia representa el caso en el que el grado de participación del sector público en el proyecto es muy elevado, hasta el punto que la sociedad que ejecuta el proyecto tiene una participación pública de un 49%. En este proyecto, la empresa española participa a partes iguales junto con una empresa canadiense en la sociedad inversora. La sociedad inversora representa la parte extranjera en el proyecto y aporta el 51% de los fondos propios, mientras que el sector público mediante la empresa AEC aporta el restante 49%. Los fondos propios constituyen el 20% del total del capital de la Sociedad del Proyecto, mientras que el 80% restante se obtiene mediante la deuda contraída con los financiadores, en este caso Crédit Populaire d'Algérie. Por tanto este es un modelo en el que el sector público actúa de aval dando garantía soberana al financiador, es participe de los beneficios y de la Sociedad del Proyecto.

El caso egipcio es un modelo de funcionamiento intermedio entre el argelino y el tunecino en cuanto al grado de participación del sector público. En este caso, el sector público se implica en el proyecto en tanto que es el propio

Ministerio de Finanzas el que se encarga de avalar el proyecto frente a los financiadores. Sin embargo, a diferencia del caso argelino, el sector público no aporta capital a la Sociedad del Proyecto. Por otro lado, el Ministerio de Urbanismo participa en el proyecto mediante un representante que es la Compañía Pública de Obras Hidráulicas. Aunque el Gobierno no participa económicamente en la Sociedad del Proyecto, en el contrato de financiación son partícipes además de la Sociedad del Proyecto y los inversores, el Ministerio de Finanzas y la Compañía Egipcia de Construcción de Obras Hidráulicas.

En Túnez el sector público no se implica de ningún modo en la ejecución del proyecto. Es decir, no participa económicamente la Sociedad del Proyecto como ocurría en Argelia, y tampoco ofrece ninguna garantía de la devolución de la deuda a los financiadores. Obviamente, cuando la participación del Gobierno es tan baja, la dificultad para llegar al cierre financiero del proyecto es mucho mayor. Dado que no existe ninguna implicación del sector público que aporte garantía soberana al proyecto, los financiadores exigieron una participación del 50% de la empresa española de construcción y explotación de desalinizadoras. Este tipo de empresas tienden a no invertir más del 20% del capital necesario, de modo que la solución fue en este caso encontrar a un socio inversor. Cabe matizar que se pudo articular este proyecto gracias a que no era una desalinizadora muy costosa, pues de haberlo sido, ni la empresa tecnóloga ni el socio inversor habrían querido participar en el proyecto. Por tanto este proyecto se lleva a cabo con un 50% de fondos propios de la Sociedad del Proyecto. En este caso la empresa que se encarga de la compra del agua es la empresa pública tunecina SONEDE, pero lo hace sin que quede vinculado el Estado, con lo cual el contrato de compra venta del agua presenta un nivel de garantía muy bajo. Por tanto aquí surge un segundo problema, que es que el comprador del agua ofrece una garantía de pago muy baja, pues solo respondería del contrato con sus bienes que son escasos. Esto deriva en que además de exigir que la Sociedad del Proyecto aporte el 50% en fondos propios, los bancos apliquen unos requisitos y condiciones mucho más estrictos a la hora de financiar el proyecto.

En este capítulo hemos explicado las diferencias que existen en la estructura de funcionamiento del proyecto, dependiendo del grado de implicación del gobierno. Partiendo de nuestro objetivo de conocer mejor los factores que motivan las diferencias entre cada caso, hemos descrito el modelo general en el que tienden a estar presentes los mismos agentes y contratos, con pequeños matices en cada caso. Como hemos visto, el núcleo de la estructura de funcionamiento económico de una desalinizadora es la Sociedad del Proyecto, la cual está siempre formada por la o las "empresas tecnólogas" que vayan a llevar a construir y/o explotar la planta y opcionalmente puede estar formada también por el Estado y/o por organismos y empresas públicas en las que este delega, en el contrato de asociación se regula el modo en que se regulará la Sociedad del Proyecto y las entidades de que se compone.

El siguiente contrato que se da en todo proyecto es el de construcción y explotación que firmará la Sociedad del Proyecto con las empresas u organismos públicos en los que delegue el Estado o con este directamente.

Otro de los contratos necesarios siempre es el de compra venta del agua, este a menudo requiere un refuerzo en cuanto a la garantía del pago del agua por parte de la empresa que se compromete a adquirir el agua que se produce en la planta. La estructura tiende a ser de contrato de compra en firme conocido también por *take or pay*, es decir, existe el compromiso de pagar por el agua indistintamente de que finalmente no se consuma. La empresa que compra el agua debe de aportar garantía suficiente de que el pago se va a efectuar, de no ser así se requerirá un aval a dicho pago.

Por último, siempre se realiza el contrato de financiación que firmará la Sociedad del Proyecto con los bancos o inversores encargados de la financiación del proyecto. Además de los contratos mencionados, que van a aparecer siempre, en cada caso pueden darse contratos específicos con el fin de regular cuestiones tales como el uso del terreno de la planta, avales u otras cuestiones necesarias para hacer que sea un proyecto viable.

Una vez están presentes y articuladas todas las fuerzas del proyecto, el banco o quien vaya a financiar el proyecto, tiende a exigir una serie de requisitos adicionales para poder realizar el cierre financiero de la operación. En primer lugar el proyecto deberá pasar una *Due Diligence* técnica y financiera que será llevada a cabo por expertos externos, que se encargarán de acreditar dos cuestiones fundamentales que son: que la planta es capaz de funcionar de un modo continuo y que el proyecto está articulado de tal forma que se podrá devolver la deuda. Adicionalmente se suele requerir hacer un contrato que regule la disposición y uso de las cuentas bancarias, de modo que se establecen las siguientes: una cuenta bancaria "A" en la que se recibe el pago del banco; una cuenta "B" para devolver la deuda al banco; una cuenta "C" para remunerar a los accionistas; una cuenta "D" para hacer frente a los gastos corrientes de la planta y una cuenta "X" en la que se ingresará el dinero para la construcción de la planta y que solo permanecerá abierta mientras dure dicho proceso.

La pregunta principal a la que queríamos dar respuesta con este capítulo es ¿Cuál es el proceso desde que la empresa va al país en cuestión hasta que se produce el cierre financiero? El primer paso es que la Sociedad del Proyecto sea titular del derecho de producción de agua desalinizada al haber sido adjudicataria en un proceso de licitación público. Aunque también cabe la posibilidad de que el cliente sea del sector privado y por tanto no haya licitación, no obstante en estos casos las plantas son más reducidas y tienen menos sentido en nuestro análisis. El siguiente paso es que exista un contrato de compra-venta del agua que represente la demanda de producción de la planta, sin este, el proyecto no es viable económicamente. Pero no es suficiente con que dicho contrato de compra venta exista, además es necesario que las partes firmantes tengan solvencia económica suficiente para garantizar la devolución del pago de la deuda incluso aunque finalmente no se ejecute la compra venta. En caso de que las partes firmantes del contrato de compra venta no pudiese ofrecer garantías suficientes del pago de la transacción, existe la posibilidad de que aparezca un avalista público o privado. Una vez pasados estos requerimientos, el banco pasará a estudiar la financiación del

proyecto para lo cual podrán ser necesarios requisitos adicionales tales como la pignoración de las acciones, pasar una Due Diligence técnica, financiera y legal, contratar seguros para cubrir diversos riesgos, hacer un contrato que regule las cuentas bancarias, hipotecar el terreno de la planta, trasladar los derechos de cobro de la Sociedad del Proyecto al banco incluido el cobro del seguro y otras cuestiones específicas que puedan cubrir alguna debilidad en cuanto a la recuperación de la deuda por parte del banco e inversores.

6.- Conclusiones

Este trabajo ha tenido como objetivo principal el análisis del papel del agua desalinizada en el modelo de gestión de los recursos hídricos y del proceso de internacionalización de las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras. Para poder entender la función que desempeña en agua desalinizada en la gestión conjunta de los recursos hídricos hemos analizado en primer lugar los aspectos básicos acerca de este recurso. Conociendo las principales características del agua desalinizada en relación a cuestiones tecnológicas y económicas, podemos ubicar este recurso hídrico en un modelo de gestión integrado. Partiendo del conocimiento del papel del agua desalinizada en el modelo de gestión de los recursos hídricos, hemos realizado un análisis de cómo este producto es comercializado. En la actualidad son unas pocas empresas las que están llevando a cabo en el mundo la construcción y explotación de las desalinizadoras. La estructura oligopólica de esta oferta aconseja el análisis de las estrategias de competencia y de las motivaciones que incentivan la internacionalización de estas empresas. Una vez hemos contrastado nuestras hipótesis acerca de las razones que han llevado a estas empresas a internacionalizarse, hemos analizado las dificultades que surgen en el proceso de negociación para hacer que un proyecto de desalinización sea viable en términos económicos.

Hemos comenzado por las cuestiones más básicas como el análisis de los distintos sistemas de desalinización así como sus costes, y hemos observado que los sistemas de membrana, entre los que destaca la ósmosis inversa son los más habituales en España y en la mayoría de los países occidentales. En el análisis histórico realizado, se aprecia que antes de la década de los ochenta los sistemas térmicos eran los más frecuentes tanto en España como en el mundo. Esto se debe a que esta tecnología se desarrolló antes que la de membrana, siendo hasta esta década los costes de la ósmosis

inversa muy elevados debido a la frecuente reposición de las membranas y el entonces elevado consumo energético de estos sistemas. Por otro lado, en la historia más reciente de nuestro país hemos visto la gran influencia que ha tenido el Programa A.G.U.A. sobre la desalinización. De un modo simultáneo y posterior a este programa, las empresas españolas dedicadas a la construcción y explotación de desalinizadoras se han internacionalizado hacia diversos países del mundo, siendo una de las causas de su éxito en este proceso su alta competitividad, debida en gran parte a la experiencia adquirida en España.

El motivo por el cual hay países en los que se desaliniza más agua por sistemas térmicos que de membrana es debido a que son países con grandes dotaciones de recursos energéticos y a que, en algunos casos, emplean la energía residual de plantas térmicas cuyo coste energético es prácticamente nulo si lo medimos en términos monetarios. Nuestra hipótesis ha quedado contrastada y hemos llegado a la conclusión de que en términos monetarios la ósmosis inversa no es siempre el sistema más barato, aunque sí es el más eficiente en cuanto al consumo energético necesario para desalinizar agua de mar. Por otro lado, hemos visto que si el agua a desalinizar es salobre y se encuentra en unos parámetros químicos determinados la electrodiálisis sería el sistema más eficiente en costes. Si valoramos el consumo energético que emplean las plantas térmicas vemos que es muy elevado, la eficiencia reside en que es una energía que no tiene coste de oportunidad ni precio. Los sistemas térmicos son relativamente más baratos en ciertas áreas geográficas donde el precio de la energía es relativamente bajo, lo cual sucede en los países exportadores de petróleo. La bibliografía existente justifica el mayor empleo de los sistemas térmicos en países exportadores de petróleo por el menor precio de la energía, pero esta no es la única causa sino el empleo de la energía residual mediante sistemas de cogeneración. Si se emplearan los sistemas térmicos por el hecho de que el precio de la energía es más bajo, incurrirían en el coste de oportunidad de no poder vender el petróleo empleado en dicho proceso, es por ello que cuando no se puede optar por la desalinización con cogeneración, los países exportadores de petróleo también han optado por los sistemas de membrana.

Al estudiar los costes de la desalinización, hemos realizado un análisis de las externalidades de dicho proceso, ya que si bien no se contabilizan como un coste monetario, deben ser tenidas en cuenta a la hora de llevar a cabo la planificación hidrológica. La gran complejidad de las externalidades ambientales la encontramos a la hora de valorarlas económicamente. En este trabajo hemos propuesto una metodología para valorar en términos monetarios el impacto ambiental total de una desalinizadora. Las externalidades negativas son las ambientales, pero cabe señalar que no todos los efectos externos son negativos, ya que la gran inversión en desalinización realizada en España ha consolidado un grupo de empresas nacionales que están entre las principales del mundo. La inversión que se ha llevado a cabo en el Programa A.G.U.A. ha tenido una gran importancia para la economía española, en este trabajo hemos estimado que entre 2005 y 2011 el Programa ha generado 45.418 puestos de trabajo directos y 25.183 puestos de trabajo indirectos durante el periodo de construcción de la planta, con una inversión total de 3.274,14 millones de euros, y una aportación de agua prevista de 1.063 hm^3/año, siendo actualmente la aportación efectivamente satisfecha muy inferior a la prevista. El Programa A.G.U.A. ha venido marcado por grandes retrasos en la ejecución de las obras, por otro lado el incremento del precio de la energía ha subido en gran medida los costes de operación de dichas plantas.

Otro coste que hemos analizado y que es tan importante como el propio de la fabricación es el coste de envío del agua hasta su punto de consumo. Éste se incrementa a medida que la distancia horizontal que tiene que recorrer el agua aumenta y sobre todo a medida que aumenta la vertical. Otra variable de gran influencia sobre este coste es el material de las conducciones mediante las cuales va a transportarse el agua, siendo las de superficie sólida los que menos costes de envío implican.

En cuanto a la política de gestión de los recursos hídricos, hemos analizado cuales son los criterios que hacen que un recursos hídrico pueda ser entendido como complementario o sustitutivo de otro, y hemos concluido que aunque de cara a la optimización de la gestión hídrica a corto plazo un recurso hídrico pueda ser prescindible, a largo plazo y por norma general todos los recursos hídricos son complementarios, salvo casos muy concretos. En esta investigación hemos planteado que a largo plazo se puede considerar que un recurso es sustitutivo de otro si es mejor en lo que denominamos "las tres características básicas de los recursos hídricos", para lo cual debe de ofrecer una mayor seguridad respecto al acceso al recurso, ha de presentar un menor coste económico y ambiental y tiene que ser un agua de mayor o igual calidad. A corto plazo el grado de sustitución es mayor, puesto que el objetivo será abastecer la demanda con un agua de una calidad dada al mínimo coste económico y ambiental posible. Dos recursos pueden ser sustitutivos a corto plazo mientras que son complementarios a largo plazo. La desalinización de agua de mar presenta una alta seguridad de acceso al agua dulce, ya que no depende de la pluviometría, pero por otro lado a corto plazo hemos de tener en cuenta el elevado coste económico del proceso, con lo cual si se dispone de otros recursos hídricos que sean capaces de permitir el prescindir del agua desalinizada puede ser óptimo el dejar de producir agua en la planta de desalinización en términos de eficiencia económica. En este sentido puede entenderse la desalinización como un seguro, es decir es un recurso hídrico que presentando un mayor coste, nos ofrece un complemento a la oferta y una mayor seguridad en caso de una sequía extrema. Tras realizar el modelo del caso global, aplicamos la metodología de análisis propuesta a un caso concreto, comparando el trasvase Tajo-Segura con la desalinización. De esta comparación se llega a la conclusión de que a largo plazo son recursos complementarios ya que el Trasvase presenta un menor coste de explotación pero una menor garantía de acceso al recurso. Sin embargo, a corto plazo sí que son sustitutivos, ya que si entre los recursos hídricos convencionales y el trasvase Tajo-Segura fuese suficiente para abastecer a la demanda, sería eficiente dejar de fabricar o reducir la cantidad producida de agua desalinizada puesto que esta última es más costosa. Es importante tener en cuenta no solo el coste económico, sino también el ambiental, en este trabajo hemos realizado

un modelo comparativo con las emisiones de CO_2 en el caso del trasvase Tajo-Segura y la desalinizadoras geográficamente próximas. Como hemos explicado en este trabajo, ni la desalinización ni el trasvase Tajo-Segura emiten CO_2, sino que lo hacen los productores eléctricos y en consecuencia cualquier proceso que consuma electricidad emite indirectamente CO_2.

Una vez explicado el papel que juega la desalinización en el modelo conjunto de gestión de los recursos hídricos, hemos pasado a analizar cómo se comercializa el agua desalinizada como producto así como cuales son las principales empresas que compiten en la construcción y explotación de desalinizadoras. Hemos visto que las empresas españolas tienen una gran importancia en el mercado mundial, y que la clave para el éxito de estas empresas en el extranjero está en su solidez técnica y financiera. Aunque la presencia de estas empresas en conjunto abarca todo el mundo destacan como destinos Australia, Norteamérica, Túnez, Argelia, Egipto, India y los países de Oriente Medio. Por lo general la demanda de agua desalinizada está positivamente correlacionada con la escasez hídrica. Las principales empresas españolas del sector son Acciona Agua, Aqualia, Befesa, Cadagua, Cobra, Infilco, Inima, OHL y Sadyt.

Una de las preguntas que nos planteábamos en la introducción era ¿Por qué estas empresas se habían internacionalizado de este modo tan contundente? En el cuarto capítulo, hemos analizado las posibles respuestas a esta pregunta, para ello hemos empleado las teorías económicas que explican la internacionalización y que más se ajustan al caso que estamos analizando y hemos contrastado el grado de aplicación de cada una al proceso llevado a cabo por las empresas españolas de desalinización. De entre las teorías que explican la internacionalización hemos visto que algunas se basan en estrategias de competencia y otras en estrategias de mercado. Las teorías que explican con mayor precisión los motivos que han llevado a estas empresas a

internacionalizarse y desde distintos enfoques son la teoría de Hymer, Vernon y el Modelo de Comportamiento Oligopólico.

El modelo de Vernon nos indica que las empresas españolas de desalinización han seguido una estrategia basada en tres etapas. La primera etapa es la de introducción del producto, en ésta el nuevo producto se vende en el mercado local. La segunda de las etapas es la de crecimiento del producto en la que se inicia la internacionalización, podríamos considerar que la desalinización está en esta etapa en el ámbito mundial. La tercera es la etapa final del producto esta se da cuando en algún mercado la demanda a corto plazo está muy agotada; en España estaríamos actualmente en esta etapa ya que a corto plazo la demanda ya está satisfecha. Según la aplicación del modelo de Vernon, las empresas españolas de desalinización habrían llevado a cabo su internacionalización debido a que el producto que ofertaban estaba viendo agotada su demanda en el mercado local mientras que tenía grandes posibilidades comerciales en otros países, esta idea es en parte nuestra hipótesis de partida.

Otra de las teorías económicas que explican la internacionalización es el modelo de Hymer, según el cual las empresas se internacionalizan para aprovechar sus ventajas comparativas. La primera ventaja comparativa de las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras es que presentan economías de escala y ventaja absoluta en costes, es decir gracias a la experiencia adquirida y la tenencia de una plantilla altamente formada y eficiente, estas empresas tienen ventaja a la hora de competir con otras, ya que el coste marginal de ofertar un proyecto competitivo les resulta menor. Por tanto, gracias a este personal y a esta experiencia, en un proceso de licitación las empresas españolas tienen ventaja. A partir de la misma causa, es decir la mayor experiencia y el personal con más formación, surge otra ventaja y es que estas empresas pueden ofrecer una mayor diferenciación del producto, es decir, plantas más estéticas, menos contaminantes, más eficientes y en definitiva con un mayor grado de adaptación a la petición del cliente.

Por otro lado, hemos analizado como se adapta la teoría del Comportamiento Oligopólico a estas empresas. En esta teoría se analiza el proceso de internacionalización no desde el punto de vista de la demanda sino desde la perspectiva de la competencia entre las empresas del sector. Esta teoría confirma otra de las hipótesis que nos planteábamos antes de realizar este trabajo. Las empresas de desalinización forman un pequeño grupo, dentro del cual cada una tiene su cuota de mercado relativa. En este sentido, cuando una empresa decide entrar en un país, si las demás no lo hacen pierden cuota relativa de mercado, de modo que una vez se inicia la internacionalización por parte de unas empresas, todas hacen lo mismo. El objetivo es adjudicarse la mayor facturación posible con el fin de avanzar posiciones relativas en cuanto al liderazgo del sector. Esta idea ya nos la planteábamos en la introducción, pero su importancia en este sector es mucho mayor que en otros. El motivo por el cual en este mercado la aplicación de esta teoría es más fuerte que en otros es porque en los procesos de licitación, uno de los principales factores a tener en cuenta es la experiencia de la empresa, con lo cual un cliente representa además una mayor probabilidad de hacer nuevos contratos. En este sector se tiende a la acumulación de cuota relativa de mercado, es decir se converge al oligopolio y las empresas compiten por afianzar sus posiciones en el mismo.

Podemos concluir por tanto que estas empresas se han internacionalizado porque este procedimiento constituía el mejor modo de competir e incrementar su cuota de mercado ya que la demanda local se estaba agotando mientras que crecía en el exterior.

Una de las dos preguntas centrales que nos hemos planteado en este trabajo es ¿cómo tiene que ser un proyecto de desalinización para que sea potencialmente financiable? A este respecto hemos visto que son de gran importancia las tres “p”, es decir, el proyecto, el país y el proceso de ejecución. Lo primero que va a exigir el banco es que exista un cliente con el que la

relación esté regulada contractualmente bien por una licitación o por un contrato privado. Obviamente, la potencial financiación va a depender de que la devolución de la deuda esté garantizada.

Asimismo, nos hemos centrado en cómo se hace financiable un proyecto de desalinización, pero esto no puede explicarse sin antes conocer las características de las empresas que los llevan a cabo. El origen de la mayoría de las empresas españolas de desalinización está en el sector de la construcción, el hecho de que hayan iniciado un fuerte proceso de internacionalización se debe a que el producto en España ya había alcanzado su etapa de madurez y quedaban por tanto, pocas oportunidades de negocio. La estrategia de competencia que se ha adoptado parece ajustarse a la explicación de la teoría del comportamiento oligopólicos, siendo el número de empresas reducido, la concentración del mercado va en aumento.

Para entender cómo puede hacerse financiable un proyecto de desalinización, hay que analizar en qué medida va a influir la realidad socioeconómica del lugar en el que vaya a implantarse. El país y su contexto económico, legal, social y cultural va a determinar y condicionar las etapas que hay que seguir y el proceso de negociación que hay que llevar a cabo para que el proyecto pueda ser financiado. Por otro lado, en función del país, la empresa va a estar sometida a unas u otras exigencias ambientales y socioeconómicas. En cuanto a los posibles efectos sobre el medio ambiente las exigencias son mucho mayores en los países más desarrollados, pero siempre se da prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas. Hemos analizado cual es el papel de los principales agentes implicados en el proceso de financiación de un proyecto de desalinización. El primero de ellos es la propia empresa encargada de la construcción y/o explotación, cabe destacar que el hecho de que la empresa sea más o menos importante no influye en gran medida sobre la viabilidad del proyecto ya que ésta no va a avalar dicho proyecto con su patrimonio, este es un papel que a menudo asume el sector público. Son los bancos y los posibles inversores quienes decidirán si se financia el proyecto o

no, lo que depende de la medida en que la devolución de la deuda esté garantizada incluso si finalmente no se emplea el agua de la planta construida. En cuanto al contrato que se formalizará con la empresa que se va a encargar del suministro del agua, es habitual que tome el formato *take or pay* por el cual se debe pagar por el agua una cantidad fija independientemente de si finalmente se necesita el recurso o no.

El marco legal del país es un factor clave, tanto que puede hacer que un proyecto no sea financiable, como pasó inicialmente en Túnez, donde el suelo sobre el cual se iba a construir la planta era de dominio público, lo cual impedía que la empresa de desalinización ofreciese la propia planta como aval, ya que ésta se ubicaba sobre un terreno que no era suyo. El marco legal genérico en el país, así como el específico a la construcción y explotación de una desalinizadora es un elemento esencial a la hora de determinar si es un proyecto financiable.

Los inversores públicos, privados y los bancos, financiarán el proyecto de desalinización en la medida que este garantice la devolución de la deuda. Para poder ofrecer esta garantía es de vital importancia los matices y cláusulas existentes en los distintos contratos y acuerdos legales vinculados a la construcción y explotación de una desalinizadora. En este sentido, hemos analizado la importancia del acuerdo de asociación y del acuerdo marco. Uno de los contratos más importantes es el contrato de compra-venta del agua, ya que debe de existir una demanda para la oferta de la planta que garantice los ingresos de la misma y sobre todo que asegure unos ingresos mínimos con los que satisfacer al menos la deuda contraída. Destacan por su importancia el contrato de construcción y de explotación de la planta, de los cuales dependerá en gran medida la existencia de unos u otros riesgos a la hora de recuperar la inversión. Los bancos o inversores asumirán una cantidad limitada de riesgo y transferirán a terceros el resto de potenciales problemas; el riesgo del proyecto en su conjunto está estrechamente vinculado con los intereses de devolución

de la inversión, de modo que cuanto más arriesgado sea el proyecto más cara será la devolución de la deuda. Generalmente una desalinizadora que va a ser construida y explotada por una empresa extranjera tiene un nivel de riesgo superior al que los bancos están dispuestos a asumir, por lo que los financiadores exigirán a ser posible que exista garantía soberana, con lo que el Estado suele avalar la construcción y explotación de la planta, pero los matices de dicho aval son muy específicos a cada contrato en cada país. Por otra parte, la planta tiene que tener garantizado el acceso a la energía necesaria para el funcionamiento de la misma, y la plasmación legal de esta garantía se materializa en el contrato de suministro eléctrico de la planta. Finalmente, es habitual que los bancos pongan como condición a su financiación la existencia de seguros que cubran ciertos riesgos. En las plantas instaladas en países como España, la partida económica destinada a seguros representa un porcentaje reducido. Sin embargo, en determinados países los gastos derivados de seguros pueden suponer un porcentaje mucho mayor, ya que a menudo es necesario asegurar la planta contra ataques terroristas, expropiaciones y otros riesgos vinculados al país. La financiación del proyecto suele requerir que se efectúe un contrato hipotecario sobre la planta.

En el desarrollo de este trabajo hemos intentado dar respuesta a las preguntas que nos planteábamos al inicio y hemos contrastado las hipótesis que nos planteábamos de partida. No obstante, a lo largo del mismo han ido surgiendo otros interrogantes que procuraremos abordar en próximas investigaciones. Si analizamos la evolución de los costes de la desalinización por ósmosis inversa vemos que han disminuido durante las últimas décadas debido a las mejoras en la eficiencia energética. Sin embargo, la ósmosis inversa es ya una tecnología madura, y no parece probable el que se produzcan nuevas reducciones del consumo energético de la desalinización. Si tenemos en cuenta que el coste energético depende del consumo de energía y del precio de la misma, y que este último es creciente, ¿se generará un cambio de tendencia en cuanto al coste de la desalinización haciéndose más costoso? Este y otros interrogantes constituyen líneas de investigación futuras a partir de este trabajo.

Bibliografía.

- AECI (1992). “Estudio sobre la exportación de construcción”. Servicio de Publicaciones de ANCOP.

- Agrait, V. (1984): “Nuevas membranas de alta resistencia para ósmosis inversa” Primeras Jornadas sobre tratamiento de aguas. Expoquímica-84

- Ahmad, M. (2000). “Water Pricing and Markets in the Near East: Policy Issues and Options”. Water Policy, 2, pp. 229-242.
- Ahmed, S.; King, A.; y Parija, G. (2003): *“*A Multi-stage Stochastic Integer Programming Approach for Capacity Expansion under Uncertainty*”*. Journal of Global Optimization. 26., pp. 3-24*.*
- Albiac, J.; Tapia, J.; Meyer, A. Hanemann, M.; Mema, M.; Calatrava, J.; Uche, J. y Calvo, E. (2008). “Los problemas económicos de la planificación hidrológica.” Revista de Economía Aplicada 2-19
- Andrews, W et al (1997): “Design of a 10.000 m^3/d Seawater Reverse Osmosis Plant on News Providence Island, The Bahamas” Proccedings of IDA Congress, Madrid, España.
- Angelakis, A. y Durham, B. (2007): “Water Reclycling and Reuse in EUREAU Countries: Trens and challenges.” Desalination 218, págs 3-12
- Arbues, F. y Barberán R. (2005). “Análisis y diseño de la tasa que grava el consumo doméstico de agua*”*. El caso de la ciudad de Zaragoza. XII encuentro de economía pública.

- Arias, M. (2006). “Generalización de los costes de la desalación de agua salobre.” en Prats D. y Melgarejo J. (2006): Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de Alicante, Fundación COEPA, Alicante, (CD adjunto).

- Arrojo, P. (2006): “El reto ético de la nueva cultura del agua. Funciones, valores y derechos en juego”. Paidos. Barcelona.
- Arrojo, P. y Martínez, J. (coords.) (1999). “El agua a debate desde la Universidad. Hacia una Nueva Cultura del Agua”. I Congreso Ibérico sobre

Gestión y Planificación de Aguas. Institución Fernando el Católico, Excma. Diputación de Zaragoza, Zaragoza, pp.1-6.

- Balairón, L. (2000). "Gestión de recursos hídricos". Ediciones UPC.
- Barberán, R.; Arbues, F. y Domínguez, F. (2006): "Consumo y gravamen del agua para usos residuales en la ciudad de Zaragoza. Evaluación y propuesta de reforma". Ayuntamiento de Zaragoza, pp.175-178.
- Barclay, P. (1995): "Cheap power and desalination" IDA Abu Dhabi Procceedings
- Barker, M. (2001): "World desalination market set to erupt". W&WI, Desalination, pp. 22-24
- Barquero, J. (1996): "Desalinización de agua para riego por ósmosis inversa" Agricultura: Revista agropecuaria. Año nº 65, nº 764, pp. 247-250.
- Bermudez-Contreras A.; Thomson M. y Infield D. (2008). Renewable energy powered desalination in Baja California Sur, Mexico. Desalination. Vol 220, Issues 1-3, 1 March 2008, pp. 431-440.
- Bichara, K. (2009). "Evolución socioeconómica del Magreb". Afkar/Ideas. Primavera de 2009, pp. 66-69.
- Bilbao, J; Jiménez, N. y Lebrón, E. (1999): "Un nuevo modelo de cooperación" en BILBAO, Jesús Mario y FERNÁNDEZ Francisco (Eds): Avances en teoría de juegos con aplicaciones económicas y sociales. Universidad de Sevilla.
- Boland, J. y Whittington, D. (2001). "The Political Economy of Water Tariff Design in Developing Countries: Increasing Block Tariffs versus Uniform Price with Rebate", en Dinar, A., ed. (2001), pp. 215-236.
- Borsani, R. y Rebagliati, S. (2005). "Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies." Desalination volume 182, Issues 1-3, pp. 29-37.
- Bosque, J. (2008). "El agua como recurso escaso y sus problemas en la España actual". Estudios Geográficos, LXIX, nº 265, pp. 453-493

- Bover, O. y Velilla, P. (2001). “Precios hedónicos de la vivienda sin características: el caso de las promociones de viviendas nuevas”. Banco de España
- Bravo, G. (2005). “Implicación de la iniciativa privada en el sector de la desalación. Tendencias en la financiación de los proyectos de desalación: el caso de Argelia y el reto de España”. Revista Ingeniería y Territorio, nº 72, pp. 86-90.
- Brock, T. (1983). “Membrane filtration. A user´s guide and Reference Manual”. Sciencie Tech, Inc. Madison, Wilsconsin.
- Brown, G. (2000). “Renewable natural Resource Management and Use without Markets.” Journal of Economic Literature, volume 38, nº 4, pp. 875-914.
- Cabezas, F. (2000). “Tres casos de Planificación Hidrológica”. Minesterio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- California Coastal Commision (2004). “Seawater desalination in California” State Report, pp.15-79.
- Canagua (1999). “European Conference on: Desalination and the Environment” VII Salón Internacional del Agua, Energía y Medio Ambiente. Gran Canaria.
- Cánovas, J. (1997). “Water Desalting for agricultural purposes in Spain”. Proceeding IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. Vol 5.
- Cánovas, J. y Melgarejo, J. (2002). “La Confederación Hidrográfica del Segura 1926-2001, 75º Aniversario”. Confederación Hidrográfica del Segura, pp. 239-246.
- Carpintero, O. (2001). “Los costes económicos ocultos del trasvase Ebro-Litoral”, en Arrojo P. (coord.). El Plan Hidrológico Nacional a debate, Bakeaz, Bilbao, pp. 89-100.
- Caves, R. (1971). “International corporations: The industrial economics of foreign investment”, Economica 38 (149), febrero , pp. 1-27.
- CE Del Parlamento Europeo y Del Consejo (2000). “Directiva Marco del Agua” Parlamento Europeo PE-CONS 3639/00, pp. 1-13

- Chislett, W. (2007). “Principales multinacionales de España: una fuerza cada vez mayor en la economía”, Documento de trabajo del Real Instituto Elcano, nº 32/2007.

- Claver, J. (2002). “Situación actual del trasvase Tajo-Segura” en La Confederación Hidrográfica del Segura 1926-2001, 75º Aniversario. MMA, Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia, pp. 217-261.

- Cohon, J. (1978). “Multiobjective programming and planning”. Academic Press. New York

- Collado, M. (1997): “Estimating dynamic models from time series of independent cross-sections” Journal of Econometrics, volume 82, issue 1, pp. 37-62.

- Confederación Hidrográfica del Tajo (2004). “Propuesta de tarifas, Noviembre de 2004”. MMA.

- Consejo Económico-Social Sindical Intercomarcal de la Costa alicantina (1972). “Ponencias y Conclusiones” Organización Sindical Provincial de Alicante, página 95.

- Cook, M.B. (1989). “La inyección en Sondeos Profundos. Una alternativa en la lucha contra la contaminación” (IGME).

- Cueva, A. y Lauria, D. (2001). “Assessing Consequences of Political Constraints on Rate Making in Dakar; Senegal: A Monte Carlo Approach”, en Dinar, A., ed. (2001), pp. 167-188.

- Custodio, E. y Cabrera, M. (2002). “¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias” Boletín Geológico y Minero nº 113.

- Darwish, M. (1988). “Thermal analysis for vapor compression desalination system.” Desalination, volume 69, Issue 3, pp. 275-295.

- De la Cruz, C. (2006). “La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables.” (Documento de trabajo 88/ 2006)

- Deshmukh, S. and Childress, E. (2001). “Zeta potencial of commercial RO membranes: influence of source water type and chemistry." Desalination volume 140, Issue 1, pp. 87-95.

- Domingo, T.; Fernández, I.; García, L.; Pedreño, A.; Sanchís, M. y Suárez, C. (1990). “Métodos de Economía Aplicada”. Ediciones Pirámide,
- Draper, Jenkins, Kirby, Lund y Howitt (2003). “Economics. Engineering Optimization for Califormia Management.” Journal of Water Resources Planning and Management. 129 (3) .155-164.
- Duncan, K. (2006). “Pressure exchanger” World Intellectual Property Organization International Publication Number WO 2006/020679 A2.

- Ecoagua Ingenieros (2009). “Desalación mediante Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)”. Artículos técnicos Ecoagua, páginas 1-2.

- Erro, C. (2004). “Historia empresarial: juegos, contratos y grupos”, Información Comercial Española, número monográfico nº 812, pp 223-226.

- Escurra, J. (2004). “El trasvase Tajo-Segura” en La Confederación Hidrográfica del Segura 1926-2001, 75º Aniversario. MMA, Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia.

- Estevan, A. y García, M. (2007). “El consumo de energía en la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa: situación actual y perspectivas” Ingeniería Civil nº 148 octubre-diciembre, pp.120-121.

- Esteve, M.; Martínez, J. y Alarcón, M. (2006). “Situación actual del agua, en el medio ambiente y la energía en la Región de Murcia” O5, páginas 86-88.

- Fariñas, M (1984). “Desalinización: una alternativa a los problemas de escasez de agua” Revista Tecnología del Agua, nº 17.
- Fariñas, M. (1999). “Ósmosis inversa: fundamentos, tecnologías y aplicaciones” McGraw-Hill Interamericana de España.
- Fariñas, M. (2004). “La desalación en el mundo: perspectivas de futuro”. Tecnología del Agua.
- Fernández, Y.; González, J.; Carratalá, A. y Sánchez, J.L. (2004). “Medidas de atenuación del posible impacto ambiental del vertido de las

desaladoras de ósmosis inversa: el ejemplo de Jávea (Alicante).” IV Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Agua, páginas 3-9.

- Fernández, F. y Puerto, J. (1999). “Juegos matriciales escalares” en Bilbao, J. y Fernández, F. (Eds). Avances en teoría de juegos con aplicaciones económicas y sociales. Universidad de Sevilla, pp. 73-83
- Fernández, Y. y Sánchez, L. (2003). “Efecto de una posible interacción entre el pH y la salinidad sobre el crecimiento de Posidonia oceánica.” Boletín del Instituto Español de Oceanografí*a.* nº 19, pp. 247-252.
- Ferrer, Mª C. (2009). “Valoración de la repercusión económica del Fondo Estatal de Inversión Local a través de las tablas input – output”. Universidad de Alicante, Estudio no publicado.

- Flores, R.; Perusquia Del Ceto, R. y Ortiz H. (2004). “Desalinización de agua de mar mediante reactores nucleares de potencia, con cogeneración.” Contacto Nuclear, nº 34 pp. 34-41.

- Friedman, R.; Ansell, C.; Diamond, S. y Haimes, Y. (1984): “The use of models for Water Resources Management Planning and Policy”. Water Resources Research. 20 (7), pp. 793-802

- Fritzmann, C.; Löwengerg, L.; Wintgens, T. y Melis, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. Desalination, vol. 216, Issues 1-3, pp. 1-76.

- Fuentes, M. y Ramírez, A. (2003). “Desalinización de agua: una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la república mexicana” Agua Latinoamérica, septiembre / octubre 2003, pp. 4.
- Fundación Ecología y Desarrollo (2003). “El agua, recurso limitado. Sequía, desertificación y otros problemas”. Biblioteca Nueva. Madrid
- Galán, J.; Gallende Del Canto, J. y González Benito, J. (2000). “Factores determinantes del proceso de internacionalización. El caso de Castilla y León comparado con la evidencia española”, Revista de Economía Industrial nº 333.
- García, J. (2000). “Internacionalización bancaria: paradigmas teóricos y teoría”, Boletín Económico de ICE nº 2656.

- García, R. (2008). “La sequía: de riesgo natural a inducido. El ejemplo de la cuenca del río segura (sureste de España)”. Nimbus nº 21-22, 110-120
- Global Water Intelligence (2006). “The 19th IDA Worldwide Desalting Plant Inventory” Global Water Intellingence.

- Gil, A. (coord.) (2004). “La cultura del agua en la cuenca del Segura”. Caja Murcia.

- Gil A. y Morales A. (2002). “Insuficiencias Hídricas y Plan Hidrológico Nacional”, Obra Social de la Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto de Geografía. Universidad de Alicante.
- Gil A. y Rico A. (2007). “El problema del agua en la Comunidad Valenciana”. Fundación Agua y Progreso de la Comunidad Valenciana, pp. 62-74.
- Gil, Túa, Rueda, Montaño, Rodríguez y Prats (2009). “Monitoring and analysis of the energy cost of an MBR”. Desalination nº 3, pp 997-1001
- González, J. (2002). “Análisis hidrogeológico de la sobreexplotación y protección de humedales en la ley de Aguas de 1985”. Servicio de publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid.

- Gruen, G. (2000). “Turkish waters: source of regional conflict or catalyst for peace?” Water, Air and Soil Pollution, 123, pp. 565-579.
- Grupo de Análisis Económico Del Ministerio De Medio Ambiente (2007 a). “Análisis de escenarios de los planes de cuenca.” Ministerio de Medio Ambiente.

- Grupo de Análisis Económico Del Ministerio De Medio Ambiente (2007 b). “Análisis económico del uso del agua en la agricultura y la ganadería.” Ministerio de Medio Ambiente.

- Grupo de Análisis Económico Del Ministerio De Medio Ambiente (2007 c). “Precios y costes de los servicios de agua en España. Informe integrado de recuperación de costes de los servicios de agua en España artículo 5 y anejo III de la directiva marco de agua.” Ministerio de Medio Ambiente.

- Haijun, J. and Yajun, Z. (2008). "Nuclear seawater desalination plant coupled with 200 MW heating reactor". International Journal of Nuclear Desalination. Vol 3, nº 2, pp. 230-239

- Han, K.; Kim S. y Bae, D. (2001). "Stochastic water quality analysis using reliability method". Journal American Water Resources Association. 37 (3), pp. 695-708.

- Helweg, O. (1985). "Water Resources Planning and Management". John Wiley & Sons. NewYork. USA.

- Hernández-Sáncho, F.; Mocholi, M. y Sala, R. (2007). "Modelo para la gestión óptima de la oferta de agua en un área territorial". XV Jornadas de ASEPUMA.

- Hewitt, J. (2001). "An Investigation into the Reasons Why Water Utilities Choose Particular Residential Rate Structures", en Dinar, A., ed. (2001), pp. 259-278.

- Hong-Joo L., Sarfert F., Strathmann H., and Seung-Hyeon M. (2002). "Designing of an electrodialysis desalination plant". Desalination volume 142, issue 3, pp. 267-286.

- Hoyos-Limón, A. (2000). "Los costes del agua." Obra Pública nº 50.

- Hymer, S. (1960). "International Operations of National Firms: A Study of Direct Foreign Investment". Ph D. Dissertation. M.I.T. (Published by M.I.T. press).

- Jenkins; Lund; Howitt; Draper; Msangi; Tanaka; Ritzema y Marques (2004). "Optimization of California's Water Supply System: Results and Insights." Journal of Water Resources Planning and Management. 130 (4) .271-280.

- Johnson, H. (1970). "The efficiency and welfare implications of the international corporation". The International Corporation. A Symposium ed. By Charles P. Kindleberger.

- Jones, T. (1998). "Recent Developments in the Pricing of Water Services in OECD Countries". Water Policy, 1, pp. 637-651.

- Kally, E. (1993). "Water and Peace – Water Resources and the Arab-Israeli Peace Process", Praeger, Westport

- Kamali, R; Abbassi, A; y Vanini, S. (2009). “A simulation model and parametric study of MED-TVC process”. Desalination. Vol 235, Issues 1-3, nº 15 January, pp. 340-351.

- Khalil, E. (2004). “Water strategies and technological development in Egyptian coastal areas”. Desalination, volume 165, pp. 22-30.

- Knickerbocker, F. (1973). “Oligopolistic Reaction and Multinational Enterprise”, Boston: Harvard University Graduate School of Business Administration.

- Kronenberg, G. (1997). “Cogeneration with the LT-MED desalination process.” Desalination 108, Issues 1-3, pp. 287-294.

- Lamei, A.; Van der Zaag, P. y Von Münch, E. (2008). “Basic costs equations to estímate unit production costs for RO desalination and long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt”. Desalination volume 225, Issues 1-3 pp. 1-12.

- Leontief, W. (1941). “La estructura de la economía norteamericana 1919-1939” Cambridge University Press.

- L’Hotelleire-Fallois, P. y Serena J. (2008). “Petroleo y flujos financieros internacionales: el caso de las economías del Golfo”. Economía de la energía, ICE, nº 842.

- Liu, C. and Zheng, H. (2002). “South-to-north Water Transfer Schemes for China”, Water Resources Development, Vol. 18 (3), 453-471.

- López, I. y Melgarejo, J. (2010). “El trasvase Júcar- Vinalopó. Una respuesta a la sobreexplotación de acuíferos”. Investigaciones geográficas, nº 51, pp. 203-233.

- López, J. y Mejías, M. (2000). “Las aguas salobres. Una alternativa al abastecimiento en regiones semiáridas.” Club del Agua, julio 2000, pp. 16-17

- López, J. (2006). “Los costes energéticos de la desalación.” En Prats D. y Melgarejo J. (2006): Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de Alicante, Fundación COEPA, Alicante, (CD adjunto).

- Maestu, J. y del Villar, A. (2007). “El análisis económico en la Directiva Marco del Agua y su papel en el proceso de planificación hidrológica”. Revista Ingeniería y Territorio nº 80.

- Marín, J. y Rubio, G. (2001). “Economía financiera”. Antoni Bosch, editor
- Martínez, C. (1997).” Causas de internacionalización de las empresas: un estudio aplicado a pequeñas y medianas empresas de la provincia de Alicante”, Ed. Instituto de Cultura Juan Gil Albert. Diputación Provincial de Alicante.
- Martínez, D. (2003). “Estudio de la viabilidad tecnicoeconómica de la Desalinización de Agua de Mar por Ósmosis Inversa en España” Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia, pp. 21-28
- Martínez, D. (2004). “Desalinización de agua de mar. Tecnología y costes” Revista ASAJA Región de Murcia, número 28.
- Medall, F. (2006). “Estrategias de internacionalización de las constructoras españolas”. Treballs academics UPC, Col.lecció de Enginyeria de Camins, Canals i Ports, pp. 66-76.
- Medina, J.A. (2000). “Desalinización de aguas salobres y de mar. Ósmosis Inversa” Ed Mundi-prensa.
- Melgarejo, J. (Ed.) (2004): “Repercusiones socioeconómicas del Plan Hidrológico Nacional en la Provincia de Alicante”. Fundación Coepa, Alicante, pp. 25-323.
- Melgarejo, J. (2009). “Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España”. Revista Económica de Castilla-La Mancha, CLM, nº 15, pp. 264-268.
- Melgarejo, J. (coord) (2009). “El trasvase Tajo-Segura. Repercusiones, económicas, sociales y ambientales en la cuenca del Segura”. CAM, pp. 587-632.
- Melgarejo, J. y Montaño, B. (2009). “La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura”. CUIDES, Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible nº 3, pp. 173-195
- Melgarejo, J. y Montaño, B. (2010). “Los costes energéticos del trasvase Tajo-Segura”. En Melgarejo, J. y Molina, A. “Incidencia del trasvase Tajo Segura en la provincia de Alicante”. Fundación Coepa, CD complentario.

- Melgarejo, J. y Montaño, B. (2011).“The power efficiency of the Tajo-Segura transfer and desalination”. Water Science and Technology nº 63, Issue 3, pp. 536-541.

- Mencuccini, M. (2003). “The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms.” Plant, Cell and Environment nº 26, pp. 163-182.

- Millán, R. (1999). “Los mercados de futuros de electricidad” Civitas, Madrid, pp. 131-142

- Ministerio de Medio Ambiente (2000). “Libro blanco del agua” Secretaría de Estado de Aguas y Costas (Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas).

- Ministerio de Medio Ambiente (2004). “Programa A.G.U.A.” Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, pp. 3-4.

- Ministerio de Medio Ambiente (2006). “ACUAMED y el Ayuntamiento de Mutxamel suscriben el convenio para la financiación y explotación de las obras de la planta desaladora de Alicante-Marina Baja.” Retema: Revista técnica de medio ambiente. Año nº 19, nº 114, pp. 2-7.

- Minnich, K. et al (1995). “A comparison of heat transfer requirements and evaporator cost for MED-TC and MSF” IDA Abu Dhabi Procceedings, pp. 233-257.

- Misra, B. (2007). “Seawater desalination using nuclear heat/electricity-Prospects and challenges”. Desalination. Vol 205, Issues 1-3, nº 5 February pp. 269-278.

- Monroy, L. y Puerto, J. (1999). “Juegos matriciales vectoriales” en Bilbao, J. y Fernández, (Eds). Avances en teoría de juegos con aplicaciones económicas y sociales. Universidad de Sevilla.

- Montaño, B. (2008 a). “Análisis del proceso de internacionalización de Sadyt”. Boletín económico del ICE nº 2947 del 1 al 15 de septiembre, pp. 27-31.

- Montaño, B. (2008 b). "Desalinización y Emisiones de CO_2: Vínculos y Soluciones". Revista de la Agrupación Joven Iberoamericana de Contabilidad y Administración de Empresas nº 2. Octubre, pp. 2-5.

- Montaño, B. (2008 c). "Una visión cooperativa de las medidas ante el posible daño ambiental de la desalación". Fundación de las cajas de ahorro, documento de trabajo nº 393/2008, pp. 2-4.

- Montaño, B (2009). "Análisis histórico de la importancia de la industria de la desalinización en España". Fundación de Cajas de ahorros nº 466/2009

- Montaño, B; Melgarejo, J. y Prats, D. (2010). "La eficiencia económica de la reutilización del agua depurada en Alicante". Anales de Economía Aplicada nº 24, pp. 1346-1358.

- Moosa, I. (2002). "Foreign Direct Investment. Theory, Evidence and Practice", Mcmilan press. New York.

- Morales, A.; Olcina J. y Rico A.M. (1999). "Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección". Investigaciones Geográficas nº 22, pp. 9-15.

- Morales, A.; Rico, A. y Hernández, M. (2005). "El trasvase Tajo-Segura". Observatorio Medioambiental, número 8, páginas 73-75.

- Munashingue (1992). "Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications". Westview Press, Boulder

- Mujeriego, R. (2005): "La reutilización, la regulación y la desalinización de agua" Ingeniería y Territorio nº 72, pp. 21-22.

- Nisan S. and Dardour S. (2007). "Economic evaluation of nuclear desalination systems". Desalination. Vol 205, Issues 1-3, nº 5 February, pp. 231-242.

- OCDE (1987). "Pricing Water Services". OCDE, París

- OCDE (1999). "Household Water Pricing in OECD Countries". OCDE, París, pp.17-37

- Oficina Económica del Presidente (2005). "Diagnósticos y retos de la economía española" en Programa Nacional de Reformas de España.

- Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Túnez (2004). “El mercado de equipos para tratamiento de agua en Túnez”, Instituto Español de Comercio Exterior, pp. 5-45.
- Olcina, J. y Rico, A. (1999). “Recursos de agua no convencionales en España: depuración y desalación”. Los usos del agua en España, pp. 203-252.
- Ordoñez, A. (2008). “Eficiencia energética desaladora de Alicante II: primera desaladora en funcionamiento del Plan Agua” 9º Congreso Nacional de Medio Ambiente CONAMA, pp. 12-13.
- Pashardes, P. y Hajispyrou, S. (2002). “Consumer Demand and Welfare under Increasing Block Pricing”. Discussion Paper 2002-07, Departamento de Economía, Universidad de Chipre, Nicosia
- Pérez, J.; Piedra, F. Mesa, M. y Bona, C. (2005). “Localización y afectación de costes medioambientales y no medioambientales en las empresas de aguas. El coste del agua desalada.” Innovar, contabilidad y finanzas. Agosto del 2005, pp. 106-121.
- Prats, D.; Cases, V.; Montaño, B; Soler, M., Sevilla, M. y Melgarejo, J. (2008). “Estudio de las estaciones depuradoras de aguas residuales de la Comunidad Valenciana” 3ª reunión Consolider TRAGUA.
- Prats, D. (2004). “Problemas asociados al vertido de salmueras y cómo minimizar su impacto” I Jornadas técnicas sobre plantas de desalinización y reutilización del agua. Institute for International Research. Madrid.
- Prats D. y Melgarejo J. (2006). “Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de Alicante”, Fundación COEPA, Alicante, pp. 57-59.
- Quinto, J y Gaspar, O. (1997). “Análisis de la tarifa del agua del trasvase Tajo-Segura”. Fundación de Estudios de Regulación, Working paper nº 28, pp. 3-19.
- Rajah, N. y Smith, S. (1993). “Distributional Aspects of Household Water Charges”. Fiscal Studies, 14 (3), pp.86-108.
- Ramos, F.J. (2002). “Las energies renovables y las políticas de ahorro energético en las Islas Canarias”. Boletín Económico del ICE nº 2750, páginas 10-16.
- Rautenbach, R.; Kopp, W.; Van Opbergen, G. and Hellekes R. (2001). “Nitrate reduction of well water by reverse osmosis and electrodialysis –studies on plant performance and costs”. Desalination, Vol. 65, pp. 241-258.

- Renzetti, S. (1992). “Evaluating the Welfare Effects of Reforming Municipal Water Prices”. Journal of Environmental Economics and Management, 22, pp.147-163.
- Renzetti, S. (1999). “Municipal Water Supply and Sewage Treatment Costs, Prices and Distortions”, Canadian Journal of Economics, 32 (3), pp. 688-704.
- Renzetti, S. (2001). “An Empirical Perspective on Water Pricing Reforms”, en Dinar, A., ed. (2001), pp.123-140.
- Rhodes, G. y Sampath, R. (1988). “Efficiency, Equity and Cost Recovery Implications of Water Pricing and Allocation Schemes in Developing Countries”. Canadian Journal of Agricultural Economics, 36, pp. 103-117.
- Rico, A (2010). “Plan Hidrológico Nacional y Programa A.G.U.A.: Repercursión en las regiones de Murcia y Valencia”. Investigaciones Geográficas, nº 51, pp. 235-246.
- Rico, A. et al (1998). “Depuración, desalinización y reutilización de aguas en España” Editorial Oikos-tau.
- Rodríguez, C. y Watt, R. (2003). “El mercado español de carburantes: un análisis de oligopolio”, Economía Industrial nº 353, 123-124.
- Rogers, P.; De Silva, R. y Bhatia, R. (2002). “Water is an Economic Good: How to Use Prices to Promote Equity, Efficiency, and Sustainability”. Water Policy; nº 4, pp. 1-17
- Ron S. y Faibishm E. (2003). “MSF Nuclear Desalination”, Desalination 157, pp 277-287.
- Root, F. (1994). “Entry Strategies for International Markets,” Ed. Lexington Books.
- Ruiz, A. (2000). “El vertido al mar de las aguas de rechazo de las plantas desalinizadoras” I Congreso Nacional AEDyR. Murcia.
- Sadhwani, J. (2004). “Impacto ambiental en la desalación de aguas” VII Congreso Nacional del Medio Ambiente, pp. 7.
- Salkever, D. (1976). “The use of dummy variables to compute predictions errors, and confidence intervals.” Journal of Econometrics. Volume 4, Issue 4, pp. 393-397.

- Sánchez, J. (2004). “Las desalinizadoras y las emisiones de CO2” Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente nº 39, pp. 20-23.
- San Martín, E. y Pérez A. (2002). “Una evaluación económica del trasvase del Ebro según la Directiva Marco de Agua”. Universidad Nacional de Educación a Distancia, pp. 2-10
- Santiso, J. (2007). “La internacionalización de las empresas españolas: hitos y retos”, Instituto Español de Comercio Exterior nº 839, pp. 89-102.
- Sanz, J.; Castelos, I. y Sánchez, J. (2007). “El sector del agua en Argelia”, Instituto Español de Comercio Exterior, pp. 3-100.
- Saurí, D. y Domene, E. (2003). “Urban models and wáter consumption: irrigation of prívate gardens in the metropolitan región of Barcelona”. Investigaciones Geográficas, nº 32, pp. 5-17.
- Scoott, K. (1995). “Handbook of Industrial Membranes”. Elsevier Advanced Technology, Oxford. X.1.4 A
- Semiat, R. (2000) “Desalinization: Present and Future”, Water International, vol. 2, núm. 1, pp. 54-65.
- Senent, M. y García, U. (1993): “La desalinización de aguas salobres: un paliativo a la sequía.” Jornadas Técnicas de Desalinización de Aguas para la Agricultura. Murcia.
- Serageldini, I. (1995). “Toward Sustainable Management of Water Resources”. The World Bank, Washington, DC.
- Solanes, M. y Dourojeanni, A. (1994). “Mercados de derechos de aguas” Debate Agrario nº 18, pp. 15-16.
- Sotelo, J. (2006). (2006). “Instrumentos para el estudio del medio ambiente: métodos para la valoración del coste ambiental” Estudios Geográficos, LXVII, 260; ENERO-JUNIO, 231-258.
- Srinivasan, K.; Neelakantan, T.; Narayan, P. y Nagarajukumar, C. (1999). “Mixed-Integer Programming Model for Reservoir Performance Optimization”. Journal of Water Resources Planning and Management. 115 (5), pp. 325-332.
- Stover, R. (2004). “Development of a Fourth Generation Energy Recovery Device. A CTO’s Notebook”, Desalination, vol 165, pp. 313-321.
- Strand, J. (2001). “A Political Economy Analysis of Water Pricing in Hondura’s Capital, Tegucigalpa”, en Dinar, A., ed. (2001), pp.237-258.

- Tate, D. y Lacelle, D. (1992). “Municipal Water Rates in Canada, 1989. Current Practices and Prices”. Social Sciences Series nº 27, Ecosystem Sciences and Evaluation Directorate, Economics and Conservation Branch, Ottawa.
- Teodoro, M. (2002). “Taylored Rates”. Journal of American Water Works Association, 94 (10), pp. 54-64.
- Teske, S. (2007). “Informe Solar Generation 2007”. Greenpeace Internacional, pp. 28-29.
- Tirado, I; Gómez, C.; Tirado, L. y Lozano, J. (2006). “Efficiency Improvements and Water Policy in the Balearic Islands: a general equilibrium approach”. Investigaciones Económicas Vol XXX (3), pp. 441-464.
- Torres, M. (2004 a). “La desalinización de agua de mar y el vertido de la salmuera.” Revista Ambienta: la revista del Ministerio de Medio Ambiente.
- Torres, M. (2004 b). “Avances técnicos en la desalinización de aguas” Revista Ambienta, nº 37, octubre, pp. 17-26.
- Torres, M. (2005). “Desalación y planificación hidrológica hoy” Ingeniería y Territorio, página 11.
- Torres, E. (2009). “Las grandes empresas constructoras españolas. Crecimiento e internacionalización en la segunda mitad del siglo XX.” La internacionalización de la empresa en perspectiva histórica, ICE nº 849.
- Torregrosa, T. y Sevilla, M. (2008). La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en la comarca de la Marina Baja, Alicante”. XI Encuentro de Economía Aplicada, Salamanca, páginas 1-4.
- Torregrosa, T. (2009). “La gestión del agua en la Marina Baja”. Temas de las Cortes Valencianas, nº 19.
- Trujillo, L. (1994). “Fijación de precios óptimos en el suministro urbano de agua”. Revista de Economía Aplicada, Vol II, nº 5, 111-135
- Tsiourtis N. (2001). “Desalination and the environment.” Desalination. Vol. 141, Issue 3, pp. 223-236.
- Tsur, Y. (2001). “Water Regulation via Pricing: The Role of Implementation Costs and Asymetric Information”, en Dinar, A., ed. (2001), pp.105-120.

- Uche, J. et al. (2001). “Hybrid desalting systems for avoiding water shortage in Spain”, Desalination, 138, 329-334
- Urrutia, F. (2001). “Evolución global de la capacidad instaladora de plantas desalinizadoras”, Noticias AEDyR, nº 1, marzo, pp. 2-5.
- U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation (2003). “Desalting Handbook for Planners” U.S. Department of the Interior 3rd Edition, 2003.
- Van Humbeeck, P. (2001). “The Distributive Effects of Water Price Reform on Households in the Flanders Region of Belgium”, en Dinar, A., ed. (2001), pp. 279-295.
- Vernon, R. (1966). “International Trade and International Investment in the Product Cycle”, Quarterly Journal of Economics, vol. 83 nº 1, pp- 190-207.
- Veza, J. (2002). “Introducción a la desalinización de aguas” Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Vilarroya, C. (1997). “Tramitación administrativa de concesiones de agua y de autorizaciones en el Dominio Público Hidráulico”. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Madrid.
- Villar, A. (2011). “El coste de la desalación en las actuaciones del Programa A.G.U.A. y el efecto del incremento en el coste energético”. Trabajo aún sin publicar facilitado por cortesía del autor, pp. 1-14.
- Wade, M. (2001). “Distillation plant development and cost update”. Desalination volume 136, Issues 1-3, pp. 3-12.
- Walha, K.; Ben Amar, R; Firdaous, L.; Quéméneur, F. y Jaouen, P. (2007). “Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis and electrodialysis in Tunisia: performance and cost comparison”. Desalination, volume 207, Issues 1-3, nº 10, pp. 95-106.
- Wangnick, K. (1995). “The Historical Development of the Desalination Market.” IDA Abu Dhabi Procceedings, pp. 17-26.
- Whittington, D. (1992). “Possible Adverse Effects of Increasing Block Tariffs in Developing Countries”. Economic Development and Cultural Change, 41 (1), pp. 75-87.

- Wilf, M. y Klinko, K. (2001): “Optimization of seawater RO systems design” Desalination, vol. 138, pp. 299-306.
- Winpenny, J (1994). “Managing Water as an Economic Resource”. Routledge, Londres.

- World Nuclear Association (2008): “Nuclear desalination” World Nuclear Association.
- Yeh, W. (1985). “Reservoir management and operations models: A state-of-the-art Review”. Water Resources Research. 21(12). 1797-1818.
- Young, R. y Haveman, R. (1993). “Economics of Water Resources: A Survey”, en Allen V. y James L. Handbook of Natural Resource and Energy Economics. Capítulo 11. Elsevier, pp. 465-529.
- Zapata, A.; Martínez, J., Reca, J. y Callejón, J.L. (2000). “Uso de agua desalada en el riego de cultivos intensivos” Vida rural nº XIV, pp 39-40.

- Zarza, E. (1997). “Desalinización del agua del mar mediante energías renovables” Instituto de Estudios Almerienses pp. 199-226.
- Zarzo, D.; Otero, C. y Molina, F. (2004). “Planta desalinizadora de Cuevas de Almanzora” V Congreso AEDyR. Almería.
- Zarzo, D. (2006): “Diseño de instalaciones de ósmosis inversa” Módulo T3: procesos de membranas para el tratamiento de aguas residuales. Desalinización de aguas salobres y agua del mar.

- Zarzo, D; García, C. y Buendía, R. (2007): “Nuevas tecnologías para el tratamiento y reutilización de agua residual industrial: reactores biológicos de membrana” Tecnología del agua, nº 27, pp. 96-101.

- Zarzo, D. et al (2006). “Tecnología para la regeneración de aguas residuales: experiencia con la planta piloto mediante un proceso MBR y membranas de micro-ultrafiltración y ósmosis inversa en la EDAR de Canals L’Alcudia de Crespins (Valencia)” Tecnología del Agua, Marzo, pp. 46-60.

- Zhang L.; Xie L.; Chen H. y Gao C. (2005). “Progress and prospects of seawater desalination in China”. Desalination. Vol. 182, Issues 1-3, pp.13-18.

- Zekri, S. y Dinar, A. (2003). “Welfare consequences of water supply alternatives in rural Tunisia”. Agricultural Economics, volume 28, Issue 1, pp. 1-12.
- Zhou Y. y Tol R. (2005). “Evaluating the costs of desalination and water transport”. Water Resources Research, pp. 2-10.
- Zúñiga, J. (2004). “La desalinización: una opción a tener en cuenta.” Revista iberoamericana de automática e informática industrial, num 26 artículo 04, pp. 16-20.

Principales páginas Web consultadas

www.acciona-agua.es
http://www.aedyr.es/
www.aqualia.es
www.befesa.es
www.cadagua.es
http://www.globalwaterintel.com/
www.grupocobra.com
http://www.idadesal.org/
www.inima.es
www.sadyt.com

7.- ANEXO

Cuadro 7.1: la desalinización en el mundo

Country	World total	Algeria	Australia	Bahrain	Caribbean	Chile	China	Cyprus	Egypt	Former Soviet Union	India	Iran	Iraq	Israel	Italy	Japan	Kuwait	Libya	Mexico	Morocco	Oman	Pakistan	Qatar	Saudi Arabia	Singapore	South Korea	Spain	Tunisia	UAE	USA	Yemen
Basic information																															
Population (m)	3539,4	31,8	19,7	0,7		15,8	1304,2	0,8	71,9		1065,5	68,9	25,2	6,4	57,4	127,7	2,5	5,6	103,5	30,6	2,9	153,6	0,6	24,2	4,3	47,7	41,1	9,8	3,0	294,0	20,0
Pop Growth (%)	50	1,51	1,11	1,51		1,12	0,65	0,54	1,91		1,55	0,93	2,7	2	0,13	0,17	3,44	2,33	1,34	1,48	3,32	2,04	2,61	2,69	1,48	0,4	1,12	0,99	6,51	0,97	3,45
GDP/Head ($)	363380	2090	26520	16820		4590	1090	20290	1150		560	1990	1780	17220	25580	33680	24240	5950	6050	1430	8680	540	34960	8870	21490	12690	20400	3150	23650	37240	680
GDP Growth Rate (%)	130	3,2	3,7	5,9		4,6	8,9	15,4	4,5		6,2	4,1	2,4	3,5	1,7	1,3	4,5	8,5	2,7	3,6	1,9	3,6	8,8	1,8	5,2	5,4	3,1	4,9	4,8	3,3	2,5
Total Renewable Resources (km3)	10730	14	492			922	2830		58		1897	138	75	2	191	430	0	1	457	29	1			2	1		112	5	0	3069	4
Current Renewable Resource /Head (m3/person)	119114	443	24708			57639	2206		794		1754	1970	2917	255	3336	3365	8	106	4357	934	337			96	139		2711	459	49	10333	198
Current total abstraction (million m3)	2279251	6074	23932			12538	630289		68653		645837	72887	42702	2041	44372	88432	445	4811	78219	12758	1350			17320			35635	2726	2306	479293	6631
% Agricultural	1631	65	75			64	68		78		86	91	92	63	45	62	52	89	77	90	91			89			68	82	68	41	95
% Municipal	314	22	15			11	7		8		8	7	3	31	18	20	45	8	17	8	7			10			13	16	23	13	4
% Industrial	255	13	10			25	26		14		5	2	5	7	37	18	3	3	5	2	2			1			19	2	9	46	1
coste operación (2005)	$6.485.863.259	$105.797.485	$70.926.427	$61.724.280	$425.768.192	$26.659.753	$80.759.553	$37.965.772	$86.733.527	$83.035.943	$49.828.933	$81.683.258	$70.211.051	$101.566.240	$178.836.622	$427.868.019	$197.989.957	$118.690.050	$39.778.237	$10.628.017	$41.898.216	$13.479.425	$94.213.773	$898.268.069	$44.192.596	$98.298.410	$456.199.220	$14.073.812	$539.522.505	$1.292.024.516	$9.465.089
coste medio (2005)	0,379	0,168	0,379	0,326	1,296	0,365	0,249	0,894	0,536	0,329	0,228	0,422	0,431	0,467	0,652	0,845	0,214	0,341	0,343	0,494	0,212	0,528	0,194	0,291	0,234	0,305	0,417	0,434	0,226	0,507	0,442
Capacity added by 5 year period																															
1981-1985	5.408.628 m3/d	25.175 m3/d	93.594 m3/d	90.819 m3/d	63.623 m3/d	5.850 m3/d	10.925 m3/d	2.271 m3/d	24.619 m3/d	58.891 m3/d	8.370 m3/d	11.365 m3/d	201.206 m3/d	22.232 m3/d	10.746 m3/d	147.227 m3/d	603.366 m3/d	156.677 m3/d	9.758 m3/d	625 m3/d	38.030 m3/d	0 m3/d	93.151 m3/d	2.437.601 m3/d	6.993 m3/d	7.924 m3/d	19.513 m3/d	11.690 m3/d	441.641 m3/d	578.259 m3/d	5.092 m3/d
1986-1990	4.436.957 m3/d	18.585 m3/d	61.623 m3/d	150.578 m3/d	112.481 m3/d	5.399 m3/d	13.542 m3/d	150 m3/d	27.553 m3/d	134.862 m3/d	23.858 m3/d	16.255 m3/d	113.984 m3/d	17.440 m3/d	52.626 m3/d	216.081 m3/d	280.222 m3/d	98.170 m3/d	32.657 m3/d	8.350 m3/d	68.676 m3/d	2.053 m3/d	389 m3/d	1.019.255 m3/d	10.318 m3/d	89.523 m3/d	152.089 m3/d	4.084 m3/d	708.059 m3/d	660.017 m3/d	31.144 m3/d
1991-1995	4.646.293 m3/d	85.525 m3/d	19.102 m3/d	18.924 m3/d	97.167 m3/d	18.090 m3/d	37.238 m3/d	1.200 m3/d	62.046 m3/d	29.250 m3/d	71.565 m3/d	80.364 m3/d	11.520 m3/d	20.730 m3/d	229.821 m3/d	201.815 m3/d	24.572 m3/d	94.796 m3/d	32.280 m3/d	18.780 m3/d	29.175 m3/d	8.062 m3/d	247.899 m3/d	378.948 m3/d	19.686 m3/d	91.021 m3/d	286.775 m3/d	32.658 m3/d	427.102 m3/d	1.430.102 m3/d	3.905 m3/d
1996-2000	7.381.995 m3/d	3.744 m3/d	74.676 m3/d	182.368 m3/d	161.937 m3/d	37.271 m3/d	122.789 m3/d	42.425 m3/d	127.851 m3/d	163.243 m3/d	168.269 m3/d	57.054 m3/d	5.050 m3/d	25.556 m3/d	135.052 m3/d	289.199 m3/d	137.520 m3/d	64.600 m3/d	105.102 m3/d	0 m3/d	36.095 m3/d	14.402 m3/d	166.884 m3/d	973.041 m3/d	41.301 m3/d	274.067 m3/d	159.031 m3/d	26.617 m3/d	792.215 m3/d	1.421.565 m3/d	3.152 m3/d
2001-2005	12.999.130 m3/d	450.848 m3/d	105.390 m3/d	5.487 m3/d	197.008 m3/d	83.079 m3/d	252.849 m3/d	64.700 m3/d	135.363 m3/d	93.568 m3/d	82.026 m3/d	198.760 m3/d	42.760 m3/d	404.424 m3/d	79.372 m3/d	364.937 m3/d	506.498 m3/d	133.800 m3/d	80.333 m3/d	16.280 m3/d	166.374 m3/d	40.584 m3/d	194.063 m3/d	1.418.788 m3/d	312.690 m3/d	406.475 m3/d	162.947 m3/d	7.770 m3/d	2.780.409 m3/d	1.920.240 m3/d	10.492 m3/d
antigüedad media (años)	13,40113555	8,836633401	15,48297755	17,54932437	13,49906677	9,776095772	9,21933814	8,454219565	11,7371659	14,98153243	11,88064267	10,28819015	21,68495674	8,123487404	13,83618358	13,91455992	17,08376101	16,72370234	11,89445662	13,39298285	12,68823703	8,817545045	13,37808698	17,67305941	7,785208242	10,35192921	14,11745936	15,1129451	11,37648326	13,13360641	17,59821512

Borja Montaño Sanz

Total contracted 1.1.2006	46.870.772 m3/d	1.726.202 m3/d	512.586 m3/d	518.556 m3/d	900.048 m3/d	200.340 m3/d	887.920 m3/d	116.325 m3/d	443.142 m3/d	691.613 m3/d	598.787 m3/d	530.648 m3/d	446.001 m3/d	595.538 m3/d	751.827 m3/d	1.388.008 m3/d	2.535.557 m3/d	954.035 m3/d	318.170 m3/d	58.889 m3/d	540.213 m3/d	69.971 m3/d	1.331.092 m3/d	8.462.711 m3/d	516.603 m3/d	881.740 m3/d	2.996.525 m3/d	88.869 m3/d	6.536.757 m3/d	6.985.870 m3/d	58.732 m3/d
Total comissioned 1.1.2006	39.928.466 m3/d	721.195 m3/d	361.886 m3/d	496.563 m3/d	868.731 m3/d	155.340 m3/d	622.060 m3/d	116.325 m3/d	395.142 m3/d	686.933 m3/d	357.507 m3/d	482.648 m3/d	427.076 m3/d	512.268 m3/d	725.907 m3/d	1.368.354 m3/d	2.080.957 m3/d	887.835 m3/d	314.040 m3/d	54.089 m3/d	366.513 m3/d	65.403 m3/d	920.035 m3/d	7.245.901 m3/d	400.603 m3/d	870.240 m3/d	2.379.299 m3/d	87.869 m3/d	5.456.027 m3/d	6.616.289 m3/d	58.432 m3/d
Total under construction as at 1.11.2006	9.965.099 m3/d	1.005.000 m3/d	7.000 m3/d	21.993 m3/d		45.000 m3/d	264.860 m3/d		8.350 m3/d	3.356.917 m3/d	232.640 m3/d	48.000 m3/d	18.925 m3/d	83.270 m3/d	25.920 m3/d	19.284 m3/d	454.600 m3/d	11.200 m3/d	4.130 m3/d	4.000 m3/d	172.860 m3/d	4.568 m3/d	411.057 m3/d	1.210.697 m3/d	116.000 m3/d		586.916 m3/d	1.000 m3/d	1.080.730 m3/d	369.384 m3/d	300 m3/d
In Desalination Tracker as at 1.11.2006	16.170.000 m3/d	1.386.000 m3/d	993.000 m3/d	430.000 m3/d	23.000 m3/d	50.000 m3/d	1.250.000 m3/d				355.000 m3/d			480.000 m3/d			1.278.000 m3/d	810.000 m3/d	100.000 m3/d	126.000 m3/d	384.000 m3/d	318.000 m3/d	141.000 m3/d	2.072.000 m3/d			1.785.000 m3/d	85.000 m3/d	1.704.000 m3/d	2.153.000 m3/d	
Expected new build 2006 - 2010	24.386.000 m3/d	1.840.000 m3/d	860.000 m3/d	580.000 m3/d	245.000 m3/d	110.000 m3/d	1.350.000 m3/d	35.000 m3/d	103.000 m3/d	150.000 m3/d	580.000 m3/d	490.000 m3/d	80.000 m3/d	595.000 m3/d	130.000 m3/d	400.000 m3/d	1.110.000 m3/d	715.000 m3/d	120.000 m3/d	165.000 m3/d	620.000 m3/d	280.000 m3/d	635.000 m3/d	4.250.000 m3/d	164.000 m3/d	495.000 m3/d	1.445.000 m3/d	83.000 m3/d	2.900.000 m3/d	1.250.000 m3/d	6.000 m3/d
Expected new build 2011 - 2015	33.220.000 m3/d	1.900.000 m3/d	2.250.000 m3/d	710.000 m3/d	280.000 m3/d	120.000 m3/d	3.350.000 m3/d	81.000 m3/d	308.000 m3/d	185.000 m3/d	1.275.000 m3/d	510.000 m3/d	210.000 m3/d	405.000 m3/d	235.000 m3/d	415.000 m3/d	1.150.000 m3/d	1.670.000 m3/d	280.000 m3/d	210.000 m3/d	835.000 m3/d	515.000 m3/d	740.000 m3/d	4.940.000 m3/d	46.000 m3/d	520.000 m3/d	1.130.000 m3/d	100.000 m3/d	3.200.000 m3/d	2.700.000 m3/d	50.000 m3/d
Current desalination profile from Inventory																														
More than 50,000m3/d	42,9%	77,7%	44,1%	44,3%	13,2%	26,0%	44,2%	46,4%	0,0%	7,5%	32,7%	16,6%	0,0%	69,4%	0,0%	4,3%	88,1%	5,5%	0,0%	0,0%	56,4%	0,0%	82,9%	68,4%	48,8%	12,5%	32,8%	0,0%	80,5%	17,2%	0,0%
10,000m3/d - 49,000m3/d	27,2%	10,6%	24,7%	37,4%	20,3%	46,4%	28,5%	34,4%	17,1%	67,8%	27,0%	38,6%	55,5%	10,8%	45,9%	8,7%	8,3%	61,6%	32,1%	0,0%	27,5%	0,0%	10,2%	13,9%	30,3%	39,8%	32,8%	52,3%	13,7%	46,7%	49,0%
1,000m3/d - 9,999m3/d	23,6%	10,2%	25,6%	11,9%	59,8%	20,9%	25,0%	14,5%	58,9%	21,7%	34,5%	38,3%	37,1%	18,8%	44,8%	60,8%	3,1%	26,2%	52,1%	88,7%	11,9%	32,8%	5,9%	12,1%	17,5%	44,9%	29,7%	24,9%	5,1%	29,3%	21,2%
100m3/d - 999m3/d	6,4%	1,5%	5,7%	6,4%	6,7%	6,8%	2,3%	4,7%	24,0%	3,0%	5,7%	6,5%	7,4%	1,0%	9,3%	26,2%	0,4%	6,6%	15,8%	11,3%	4,2%	67,2%	0,9%	5,6%	3,4%	2,8%	4,8%	22,7%	0,8%	6,8%	29,7%
MSF	33,8%	9,7%	0,7%	56,6%	30,9%	8,5%	22,3%	5,4%	8,8%	4,5%	0,9%	22,3%	2,4%	1,2%	32,1%	2,1%	82,2%	61,2%	15,0%	12,6%	82,3%	0,4%	82,1%	57,3%	0,0%	0,0%	2,2%	0,5%	78,1%	1,0%	5,5%
MED	6,3%	2,6%	6,8%	9,8%	24,1%	4,2%	5,5%	2,1%	6,3%	12,1%	35,1%	22,8%	0,3%	3,7%	13,3%	1,4%	0,5%	19,0%	9,3%	13,8%	5,5%	8,4%	2,7%	2,2%	2,2%	0,1%	4,4%	6,1%	9,7%	3,6%	62,0%
RO	50,8%	86,4%	74,2%	29,5%	40,9%	79,3%	67,9%	92,5%	70,8%	78,0%	62,4%	50,8%	75,3%	85,5%	38,6%	89,4%	17,1%	12,4%	41,8%	71,3%	11,2%	91,1%	1,6%	37,1%	94,5%	92,5%	85,5%	75,8%	11,4%	69,8%	15,9%
ED	4,4%	1,3%	16,6%	4,1%	4,2%	7,8%	0,5%	0,0%	9,4%	5,2%	0,4%	3,9%	22,0%	5,7%	13,2%	5,2%	0,2%	7,3%	33,5%	2,4%	1,0%	0,0%	0,0%	1,2%	1,6%	2,6%	5,9%	13,8%	0,1%	7,4%	7,7%
EDI	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	1,7%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	4,8%	0,0%	0,9%	0,0%	0,5%	0,0%
Unknown	1,2%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,3%	1,1%	0,0%	4,6%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%	3,9%	2,6%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	13,7%	1,8%	0,5%	0,0%	0,2%	2,8%	0,0%	1,0%	8,9%
Seawater	58,4%	86,9%	32,5%	85,0%	93,3%	75,2%	55,8%	96,7%	74,3%	17,0%	69,9%	58,9%	0,5%	79,8%	59,4%	15,9%	82,9%	84,2%	47,4%	78,4%	95,3%	8,0%	99,1%	75,5%	30,5%	2,2%	64,0%	9,1%	98,1%	9,0%	77,6%
Brackish Water	24,1%	9,1%	37,7%	15,0%	6,7%	24,6%	19,7%	3,3%	24,0%	74,0%	14,9%	35,8%	53,0%	15,9%	25,0%	17,1%	2,0%	15,7%	44,2%	21,6%	4,4%	75,5%	0,9%	23,1%	4,4%	9,0%	28,6%	90,9%	1,9%	48,8%	21,6%
River Water	7,8%	3,9%	4,4%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%	0,1%	0,6%	5,8%	5,2%	43,7%	4,3%	7,0%	14,1%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	16,5%	0,0%	0,7%	0,8%	28,3%	2,2%	0,0%	0,0%	28,0%	0,8%
Pure Water	4,4%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,2%	11,8%	0,0%	1,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	38,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	4,2%	53,7%	0,3%	0,0%	0,0%	6,0%	0,0%
Wastewater	5,2%	0,0%	24,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,9%	0,0%	0,3%	7,9%	9,4%	0,1%	2,9%	0,0%	4,7%	14,8%	15,0%	0,1%	7,5%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,6%	60,1%	6,9%	4,9%	0,0%	0,0%	8,1%	0,0%
Capacity data: current																														

Total capacity	39.928.466 m3/d	721.195 m3/d	361.886 m3/d	496.563 m3/d	868.731 m3/d	155.340 m3/d	622.060 m3/d	116.325 m3/d	395.142 m3/d	686.933 m3/d	357.507 m3/d	482.648 m3/d	427.076 m3/d	512.268 m3/d	725.907 m3/d	1.368.354 m3/d	2.080.957 m3/d	887.835 m3/d	314.040 m3/d	54.089 m3/d	366.513 m3/d	65.403 m3/d	920.035 m3/d	7.245.901 m3/d	400.603 m3/d	870.240 m3/d	2.379.299 m3/d	87.869 m3/d	5.456.027 m3/d	6.616.289 m3/d	58.432 m3/d
Current membrane capacity	23.907.176 m3/d	632.115 m3/d	334.711 m3/d	167.045 m3/d	391.058 m3/d	135.728 m3/d	449.103 m3/d	107.642 m3/d	335.356 m3/d	572.902 m3/d	228.781 m3/d	264.785 m3/d	415.586 m3/d	487.264 m3/d	396.281 m3/d	1.320.633 m3/d	361.296 m3/d	176.036 m3/d	237.682 m3/d	39.843 m3/d	44.681 m3/d	59.611 m3/d	140.435 m3/d	2.935.528 m3/d	391.685 m3/d	869.421 m3/d	2.223.200 m3/d	82.058 m3/d	665.048 m3/d	6.311.309 m3/d	18.988 m3/d
<2,000m3/d	1.895.459 m3/d	9.168 m3/d	19.000 m3/d	10.636 m3/d	26.118 m3/d	9.192 m3/d	10.431 m3/d	5.066 m3/d	80.364 m3/d	17.194 m3/d	13.098 m3/d	17.203 m3/d	30.581 m3/d	4.722 m3/d	36.870 m3/d	345.424 m3/d	1.593 m3/d	11.644 m3/d	37.644 m3/d	4.511 m3/d	1.874 m3/d	40.066 m3/d	1.273 m3/d	164.204 m3/d	13.337 m3/d	24.334 m3/d	106.220 m3/d	18.668 m3/d	5.077 m3/d	428.152 m3/d	5.644 m3/d
% 2,000m3/d-10,000m3/d	7.089.336 m3/d	64.734 m3/d	85.542 m3/d	19.959 m3/d	233.673 m3/d	28.300 m3/d	112.129 m3/d	15.592 m3/d	197.606 m3/d	124.038 m3/d	78.931 m3/d	101.522 m3/d	154.335 m3/d	91.691 m3/d	177.409 m3/d	803.556 m3/d	11.269 m3/d	46.186 m3/d	123.797 m3/d	35.332 m3/d	5.312 m3/d	19.545 m3/d	8.325 m3/d	356.164 m3/d	68.474 m3/d	390.265 m3/d	659.650 m3/d	20.454 m3/d	33.647 m3/d	1.850.165 m3/d	4.033 m3/d
% 10,000m3/d+	14.922.381 m3/d	558.213 m3/d	230.169 m3/d	136.450 m3/d	131.267 m3/d	98.236 m3/d	326.543 m3/d	86.983 m3/d	57.386 m3/d	431.669 m3/d	136.752 m3/d	146.060 m3/d	230.670 m3/d	390.851 m3/d	182.002 m3/d	171.653 m3/d	348.434 m3/d	118.206 m3/d	76.241 m3/d	0 m3/d	37.495 m3/d	0 m3/d	130.837 m3/d	2.415.160 m3/d	309.874 m3/d	454.821 m3/d	1.457.329 m3/d	42.936 m3/d	626.324 m3/d	4.032.992 m3/d	9.311 m3/d
% Seawater	43,1%	86,9%	32,5%	85,0%	93,3%	75,2%	55,8%	96,7%	74,3%	17,0%	69,9%	58,9%	0,5%	79,8%	59,4%	15,9%	82,9%	84,2%	47,4%	78,4%	95,3%	8,0%	99,1%	75,5%	30,5%	2,2%	64,0%	9,1%	98,1%	9,0%	77,6%
% Brackish/river	50,0%	13,1%	66,1%	15,0%	6,7%	24,6%	32,4%	3,3%	24,4%	82,5%	30,1%	41,1%	99,5%	20,2%	36,7%	46,1%	17,1%	15,8%	52,0%	21,6%	4,7%	92,0%	0,9%	24,4%	65,3%	44,1%	35,7%	90,9%	1,9%	85,0%	22,4%
% Pure	6,9%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,2%	11,8%	0,0%	1,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	38,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	4,2%	53,7%	0,3%	0,0%	0,0%	6,0%	0,0%
%<2,000 m3/d	4,0%	1,5%	5,7%	6,4%	6,7%	6,8%	2,3%	4,7%	24,0%	3,0%	5,7%	6,5%	7,4%	1,0%	9,3%	26,2%	0,4%	6,6%	15,8%	11,3%	4,2%	67,2%	0,9%	5,6%	3,4%	2,8%	4,8%	22,7%	0,8%	6,8%	29,7%
% 2,000m3/d-10,000m3/d	14,5%	10,2%	25,6%	11,9%	59,8%	20,9%	25,0%	14,5%	58,9%	21,7%	34,5%	38,3%	37,1%	18,8%	44,8%	60,8%	3,1%	26,2%	52,1%	88,7%	11,9%	32,8%	5,9%	12,1%	17,5%	44,9%	29,7%	24,9%	5,1%	29,3%	21,2%
% 10,000m3/d+	81,5%	88,3%	68,8%	81,7%	33,6%	72,4%	72,7%	80,8%	17,1%	75,3%	59,8%	55,2%	55,5%	80,2%	45,9%	13,0%	96,4%	67,1%	32,1%	0,0%	83,9%	0,0%	93,2%	82,3%	79,1%	52,3%	65,6%	52,3%	94,2%	63,9%	49,0%
Current thermal capacity	16.021.290 m3/d	89.080 m3/d	27.175 m3/d	329.518 m3/d	477.673 m3/d	19.612 m3/d	172.957 m3/d	8.683 m3/d	59.786 m3/d	114.031 m3/d	128.726 m3/d	217.863 m3/d	11.490 m3/d	25.004 m3/d	329.626 m3/d	47.722 m3/d	1.719.661 m3/d	711.799 m3/d	76.358 m3/d	14.246 m3/d	321.832 m3/d	5.792 m3/d	779.600 m3/d	4.310.373 m3/d	8.918 m3/d	819 m3/d	156.099 m3/d	5.811 m3/d	4.790.979 m3/d	304.980 m3/d	39.444 m3/d
Large Project MSF capacity >10,000 m3/d	12.216.115 m3/d	70.367 m3/d	10.171 m3/d	249.316 m3/d	125.270 m3/d	11.861 m3/d	113.373 m3/d	6.039 m3/d	8.089 m3/d	54.606 m3/d	39.454 m3/d	89.828 m3/d	6.065 m3/d	12.509 m3/d	129.251 m3/d	4.943 m3/d	1.653.682 m3/d	421.367 m3/d	19.804 m3/d	0 m3/d	261.629 m3/d	0 m3/d	714.914 m3/d	3.480.465 m3/d	3.528 m3/d	214 m3/d	67.949 m3/d	1.638 m3/d	4.261.581 m3/d	118.501 m3/d	10.456 m3/d
Large Project MED capacity >10,000 m3/d	770.312 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	19.850 m3/d	35.071 m3/d	0 m3/d	12.385 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	31.314 m3/d	37.491 m3/d	30.349 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	22.138 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	56.598 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	11.406 m3/d	65.827 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	34.376 m3/d	0 m3/d	250.430 m3/d	76.384 m3/d	0 m3/d
Medium projects (assumed all MED)	788.869 m3/d	15.202 m3/d	14.052 m3/d	5.807 m3/d	124.862 m3/d	5.077 m3/d	8.505 m3/d	1.915 m3/d	18.172 m3/d	17.996 m3/d	43.279 m3/d	42.189 m3/d	917 m3/d	15.618 m3/d	43.158 m3/d	13.806 m3/d	7.920 m3/d	44.228 m3/d	22.729 m3/d	6.604 m3/d	15.901 m3/d	1.807 m3/d	1.451 m3/d	19.415 m3/d	7.203 m3/d	711 m3/d	31.120 m3/d	3.579 m3/d	26.907 m3/d	70.084 m3/d	21.917 m3/d
Small projects	2.245.995 m3/d	3.511 m3/d	2.953 m3/d	54.546 m3/d	192.470 m3/d	2.673 m3/d	38.695 m3/d	729 m3/d	33.524 m3/d	10.115 m3/d	8.503 m3/d	55.497 m3/d	4.507 m3/d	-3.122 m3/d	135.078 m3/d	28.972 m3/d	58.058 m3/d	189.605 m3/d	33.825 m3/d	7.642 m3/d	44.301 m3/d	3.986 m3/d	51.830 m3/d	744.667 m3/d	-1.813 m3/d	-106 m3/d	22.655 m3/d	593 m3/d	252.061 m3/d	40.011 m3/d	7.072 m3/d
Large MSF %	76,2%	79,0%	37,4%	75,7%	26,2%	60,5%	65,5%	69,5%	13,5%	47,9%	30,6%	41,2%	52,8%	50,0%	39,2%	10,4%	96,2%	59,2%	25,9%	0,0%	81,3%	0,0%	91,7%	80,7%	39,6%	26,2%	43,5%	28,2%	89,0%	38,9%	26,5%
Large MED %	4,8%	0,0%	0,0%	6,0%	7,3%	0,0%	7,2%	0,0%	0,0%	27,5%	29,1%	13,9%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	0,0%	8,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	1,5%	0,0%	0,0%	22,0%	0,0%	5,2%	25,0%	0,0%
Medium MED%	4,9%	17,1%	51,7%	1,8%	26,1%	25,9%	4,9%	22,1%	30,4%	15,8%	33,6%	19,4%	8,0%	62,5%	13,1%	28,9%	0,5%	6,2%	29,8%	46,4%	4,9%	31,2%	0,2%	0,5%	80,8%	86,7%	19,9%	61,6%	0,6%	23,0%	55,6%
Small projects %	14,0%	3,9%	10,9%	16,6%	40,3%	13,6%	22,4%	8,4%	56,1%	8,9%	6,6%	25,5%	39,2%	-12,5%	41,0%	60,7%	3,4%	26,6%	44,3%	53,6%	13,8%	68,8%	6,6%	17,3%	-20,3%	-12,9%	14,5%	10,2%	5,3%	13,1%	17,9%
%Thermal MED	23,8%	21,1%	91,1%	14,7%	43,7%	32,9%	19,7%	27,9%	41,9%	72,9%	97,4%	50,5%	9,8%	75,3%	29,2%	40,6%	0,6%	23,7%	38,3%	52,3%	6,3%	95,1%	3,1%	3,7%	100,0%	100,0%	67,2%	92,2%	11,1%	78,4%	91,9%
Electricity	$0,034/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,025/kWh	$0,150/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,150/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,080/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,025/kWh	$0,025/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,025/kWh	$0,050/kWh	$0,025/kWh	$0,025/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh	$0,025/kWh	$0,050/kWh	$0,050/kWh
Labour factor	0,50	0,35	1,00	0,45	1,10	1,00	0,24	0,45	0,45	0,45	0,30	0,45	0,75	0,53	0,88	0,95	0,45	0,45	0,11	0,45	0,45	0,30	0,45	0,45	0,32	0,50	0,74	0,45	0,45	1,00	0,35
Capacity data: new capacity added 2006-2010																															

Borja Montaño Sanz

2010 extra capacity	24.386.000 m3/d	1.840.000 m3/d	860.000 m3/d	580.000 m3/d	245.000 m3/d	110.000 m3/d	1.350.000 m3/d	35.000 m3/d	103.000 m3/d	150.000 m3/d	580.000 m3/d	490.000 m3/d	80.000 m3/d	595.000 m3/d	130.000 m3/d	400.000 m3/d	1.110.000 m3/d	715.000 m3/d	120.000 m3/d	165.000 m3/d	620.000 m3/d	280.000 m3/d	635.000 m3/d	4.250.000 m3/d	164.000 m3/d	495.000 m3/d	1.445.000 m3/d	83.000 m3/d	2.900.000 m3/d	1.250.000 m3/d	6.000 m3/d
Extra membrane capacity	15.620.148 m3/d	1.658.183 m3/d	808.337 m3/d	174.000 m3/d	137.229 m3/d	98.890 m3/d	1.049.717 m3/d	32.910 m3/d	90.533 m3/d	130.080 m3/d	412.929 m3/d	313.055 m3/d	78.278 m3/d	571.766 m3/d	82.775 m3/d	388.840 m3/d	376.175 m3/d	256.414 m3/d	96.658 m3/d	130.234 m3/d	184.467 m3/d	260.161 m3/d	204.542 m3/d	1.700.000 m3/d	161.079 m3/d	494.627 m3/d	1.369.158 m3/d	78.609 m3/d	862.790 m3/d	1.203.905 m3/d	2.760 m3/d
<2,000m3/d	795.224 m3/d	11.934 m3/d	30.106 m3/d	9.087 m3/d	3.468 m3/d	4.990 m3/d	6.476 m3/d	1.154 m3/d	17.005 m3/d	1.900 m3/d	13.259 m3/d	11.567 m3/d	3.583 m3/d	-1.530 m3/d	4.904 m3/d	80.561 m3/d	822 m3/d	11.696 m3/d	11.205 m3/d	6.605 m3/d	5.884 m3/d	158.600 m3/d	981 m3/d	76.258 m3/d	3.382 m3/d	-898 m3/d	35.937 m3/d	15.541 m3/d	3.447 m3/d	54.509 m3/d	732 m3/d
% 2,000m3/d-10,000m3/d	3.675.123 m3/d	157.695 m3/d	190.808 m3/d	18.798 m3/d	76.302 m3/d	18.912 m3/d	244.183 m3/d	4.372 m3/d	48.656 m3/d	26.159 m3/d	132.082 m3/d	111.256 m3/d	26.893 m3/d	100.521 m3/d	34.260 m3/d	215.451 m3/d	10.896 m3/d	62.009 m3/d	46.241 m3/d	107.350 m3/d	20.075 m3/d	69.041 m3/d	11.251 m3/d	187.425 m3/d	26.057 m3/d	207.286 m3/d	376.767 m3/d	17.252 m3/d	40.512 m3/d	325.763 m3/d	498 m3/d
% 10,000m3/d+	11.149.801 m3/d	1.488.554 m3/d	587.423 m3/d	146.115 m3/d	57.460 m3/d	74.988 m3/d	799.058 m3/d	27.383 m3/d	24.872 m3/d	102.021 m3/d	267.588 m3/d	190.232 m3/d	47.802 m3/d	472.775 m3/d	43.611 m3/d	92.828 m3/d	364.457 m3/d	182.708 m3/d	39.211 m3/d	16.279 m3/d	158.508 m3/d	32.520 m3/d	192.310 m3/d	1.436.317 m3/d	131.640 m3/d	288.239 m3/d	956.454 m3/d	45.816 m3/d	818.832 m3/d	823.632 m3/d	1.529 m3/d
% Seawater	60,6%	86,9%	32,5%	85,0%	93,3%	75,2%	55,8%	96,7%	74,3%	17,0%	69,9%	58,9%	0,5%	79,8%	59,4%	15,9%	82,9%	84,2%	47,4%	78,4%	95,3%	8,0%	99,1%	75,5%	30,5%	2,2%	64,0%	9,1%	98,1%	44,0%	77,6%
% Brackish/river	34,4%	13,1%	66,1%	15,0%	6,7%	24,6%	32,4%	3,3%	24,4%	82,5%	30,1%	41,1%	99,5%	20,2%	36,7%	46,1%	17,1%	15,8%	52,0%	21,6%	4,7%	92,0%	0,9%	24,4%	65,3%	44,1%	35,7%	90,9%	1,9%	50,0%	22,4%
% Pure	4,9%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,2%	11,8%	0,0%	1,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	38,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	4,2%	53,7%	0,3%	0,0%	0,0%	6,0%	0,0%
%<2000	3,1%	0,7%	3,7%	5,2%	2,5%	5,0%	0,6%	3,5%	18,8%	1,5%	3,2%	3,7%	4,6%	-0,3%	5,9%	20,7%	0,2%	4,6%	11,6%	5,1%	3,2%	61,0%	0,5%	4,5%	2,1%	-0,2%	2,6%	19,8%	0,4%	4,5%	26,5%
% 2000-10000	13,2%	9,5%	23,6%	10,8%	55,6%	19,1%	23,3%	13,3%	53,7%	20,1%	32,0%	35,5%	34,4%	17,6%	41,4%	55,4%	2,9%	24,2%	47,8%	82,4%	10,9%	26,5%	5,5%	11,0%	16,2%	41,9%	27,5%	21,9%	4,7%	27,1%	18,1%
% 10000+	83,7%	89,8%	72,7%	84,0%	41,9%	75,8%	76,1%	83,2%	27,5%	78,4%	64,8%	60,8%	61,1%	82,7%	52,7%	23,9%	96,9%	71,3%	40,6%	12,5%	85,9%	12,5%	94,0%	84,5%	81,7%	58,3%	69,9%	58,3%	94,9%	68,4%	55,4%
Extra thermal capacity	8.765.852 m3/d	181.817 m3/d	51.663 m3/d	406.000 m3/d	107.771 m3/d	11.110 m3/d	300.283 m3/d	2.090 m3/d	12.467 m3/d	19.920 m3/d	167.071 m3/d	176.945 m3/d	1.722 m3/d	23.234 m3/d	47.225 m3/d	11.160 m3/d	733.825 m3/d	458.586 m3/d	23.342 m3/d	34.766 m3/d	435.533 m3/d	19.839 m3/d	430.458 m3/d	2.550.000 m3/d	2.921 m3/d	373 m3/d	75.842 m3/d	4.391 m3/d	2.037.210 m3/d	46.095 m3/d	3.240 m3/d
Large Project MSF capacity >10000	5.175.000 m3/d	135.000 m3/d	0 m3/d	180.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	45.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	45.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	585.000 m3/d	225.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	315.000 m3/d	0 m3/d	315.000 m3/d	1.665.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	1.575.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d
Large Project MED capacity >10000	1.957.000 m3/d	32.000 m3/d	32.000 m3/d	160.000 m3/d	32.000 m3/d	0 m3/d	160.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	96.000 m3/d	64.000 m3/d	0 m3/d	12.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	128.000 m3/d	96.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	64.000 m3/d	0 m3/d	96.000 m3/d	448.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	32.000 m3/d	0 m3/d	352.000 m3/d	25.000 m3/d	0 m3/d
Medium projects (assumed all MED)	591.500 m3/d	13.500 m3/d	9.000 m3/d	31.500 m3/d	31.500 m3/d	0 m3/d	45.000 m3/d	0 m3/d	4.500 m3/d	10.000 m3/d	13.500 m3/d	54.000 m3/d	0 m3/d	9.000 m3/d	0 m3/d	4.500 m3/d	9.000 m3/d	49.500 m3/d	4.500 m3/d	22.500 m3/d	22.500 m3/d	4.500 m3/d	13.500 m3/d	81.000 m3/d	2.500 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	3.000 m3/d	27.000 m3/d	9.000 m3/d	0 m3/d
Small projects	1.042.352 m3/d	1.317 m3/d	10.663 m3/d	34.500 m3/d	44.271 m3/d	11.110 m3/d	50.283 m3/d	2.090 m3/d	7.967 m3/d	9.920 m3/d	57.571 m3/d	13.945 m3/d	1.722 m3/d	2.234 m3/d	47.225 m3/d	6.660 m3/d	11.825 m3/d	88.086 m3/d	18.842 m3/d	12.266 m3/d	34.033 m3/d	15.339 m3/d	5.958 m3/d	356.000 m3/d	421 m3/d	373 m3/d	43.842 m3/d	1.391 m3/d	83.210 m3/d	12.095 m3/d	3.240 m3/d
Large MSF %	59,0%	64,1%	0,0%	44,9%	14,5%	41,4%	16,0%	51,5%	7,8%	3,9%	1,5%	18,9%	48,4%	1,7%	28,5%	6,1%	77,2%	46,5%	16,1%	0,0%	68,8%	0,0%	72,7%	65,0%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	77,2%	0,0%	0,0%
Large MED %	22,3%	24,2%	68,8%	36,8%	19,1%	0,0%	56,7%	0,0%	0,0%	71,4%	58,2%	36,2%	0,0%	78,5%	0,0%	0,0%	19,3%	20,7%	0,0%	0,0%	15,1%	0,0%	20,5%	17,3%	0,0%	0,0%	57,3%	0,0%	17,0%	63,9%	0,0%
Medium MED%	6,7%	2,8%	25,6%	5,4%	34,0%	33,7%	19,5%	28,7%	39,5%	20,5%	33,6%	25,2%	10,4%	18,4%	31,0%	37,6%	0,6%	8,1%	38,7%	60,3%	2,1%	32,8%	1,3%	2,5%	80,8%	86,7%	25,9%	66,8%	0,9%	29,3%	60,5%
Small projects %	11,9%	0,7%	20,6%	8,5%	41,1%	100,0%	16,7%	100,0%	63,9%	49,8%	34,5%	7,9%	100,0%	9,6%	100,0%	59,7%	1,6%	19,2%	80,7%	35,3%	7,8%	77,3%	1,4%	14,0%	14,4%	100,0%	57,8%	31,7%	4,1%	26,2%	100,0%
%Thermal MED	41,0%	27,4%	100,0%	45,0%	56,9%	42,7%	78,0%	36,2%	54,4%	94,8%	97,4%	65,7%	12,7%	97,8%	38,0%	52,8%	20,0%	30,8%	49,8%	68,0%	18,0%	100,0%	22,0%	21,0%	100,0%	100,0%	87,3%	100,0%	18,0%	100,0%	100,0%
Capacity data: new capacity added 2010-2015																															
2015 extra capacity	33.220.000 m3/d	1.900.000 m3/d	2.250.000 m3/d	710.000 m3/d	280.000 m3/d	120.000 m3/d	3.350.000 m3/d	81.000 m3/d	308.000 m3/d	185.000 m3/d	1.275.000 m3/d	510.000 m3/d	210.000 m3/d	405.000 m3/d	235.000 m3/d	415.000 m3/d	1.150.000 m3/d	1.670.000 m3/d	280.000 m3/d	210.000 m3/d	835.000 m3/d	515.000 m3/d	740.000 m3/d	4.940.000 m3/d	46.000 m3/d	520.000 m3/d	1.130.000 m3/d	100.000 m3/d	3.200.000 m3/d	2.700.000 m3/d	50.000 m3/d
Extra membrane capacity	24.183.747 m3/d	1.776.500 m3/d	2.141.868 m3/d	312.400 m3/d	181.467 m3/d	110.304 m3/d	2.753.883 m3/d	77.130 m3/d	278.175 m3/d	165.346 m3/d	981.186 m3/d	362.666 m3/d	206.384 m3/d	392.348 m3/d	166.705 m3/d	405.737 m3/d	541.784 m3/d	813.117 m3/d	236.428 m3/d	174.602 m3/d	365.748 m3/d	485.809 m3/d	338.691 m3/d	2.568.800 m3/d	45.345 m3/d	519.687 m3/d	1.082.553 m3/d	95.768 m3/d	1.401.635 m3/d	2.620.347 m3/d	28.398 m3/d
<2,000m3/d	843.380 m3/d	1.427 m3/d	43.187 m3/d	13.186 m3/d	1.871 m3/d	3.900 m3/d	-24.110 m3/d	1.896 m3/d	39.641 m3/d	186 m3/d	9.921 m3/d	4.507 m3/d	4.425 m3/d	4.508 m3/d	4.947 m3/d	64.757 m3/d	129 m3/d	22.481 m3/d	18.627 m3/d	-694 m3/d	8.449 m3/d	269.592 m3/d	358 m3/d	90.328 m3/d	434 m3/d	-14.496 m3/d	8.020 m3/d	16.436 m3/d	1.136 m3/d	66.912 m3/d	6.745 m3/d

% 2,000m3/d-10,000m3/d	5.238.249 m3/d	157.589 m3/d	469.002 m3/d	30.622 m3/d	94.306 m3/d	19.428 m3/d	599.503 m3/d	9.438 m3/d	136.893 m3/d	31.022 m3/d	292.264 m3/d	119.994 m3/d	65.883 m3/d	54.929 m3/d	64.068 m3/d	205.509 m3/d	14.638 m3/d	182.031 m3/d	104.325 m3/d	134.374 m3/d	36.587 m3/d	102.356 m3/d	17.364 m3/d	258.307 m3/d	6.817 m3/d	204.235 m3/d	277.504 m3/d	18.521 m3/d	61.350 m3/d	657.307 m3/d	4.336 m3/d
% 10,000m3/d+	18.102.118 m3/d	1.617.484 m3/d	1.629.678 m3/d	268.593 m3/d	85.289 m3/d	86.976 m3/d	2.178.490 m3/d	65.797 m3/d	101.642 m3/d	134.138 m3/d	679.001 m3/d	238.165 m3/d	136.076 m3/d	332.911 m3/d	97.691 m3/d	135.471 m3/d	527.017 m3/d	608.605 m3/d	113.477 m3/d	40.922 m3/d	320.713 m3/d	113.861 m3/d	320.968 m3/d	2.220.165 m3/d	38.093 m3/d	329.948 m3/d	797.029 m3/d	60.811 m3/d	1.339.150 m3/d	1.896.129 m3/d	17.318 m3/d
%<2000	3,5%	0,1%	2,0%	4,2%	1,0%	3,5%	-0,9%	2,5%	14,3%	0,1%	1,0%	1,2%	2,1%	1,1%	3,0%	16,0%	0,0%	2,8%	7,9%	-0,4%	2,3%	55,5%	0,1%	3,5%	1,0%	-2,8%	0,7%	17,2%	0,1%	2,6%	23,8%
% 2000-10000	21,7%	8,9%	21,9%	9,8%	52,0%	17,6%	21,8%	12,2%	49,2%	18,8%	29,8%	33,1%	31,9%	14,0%	38,4%	50,7%	2,7%	22,4%	44,1%	77,0%	10,0%	21,1%	5,1%	10,1%	15,0%	39,3%	25,6%	19,3%	4,4%	25,1%	15,3%
% 10000+	74,9%	91,0%	76,1%	86,0%	47,0%	78,9%	79,1%	85,3%	36,5%	81,1%	69,2%	65,7%	65,9%	84,9%	58,6%	33,4%	97,3%	74,8%	48,0%	23,4%	87,7%	23,4%	94,8%	86,4%	84,0%	63,5%	73,6%	63,5%	95,5%	72,4%	61,0%
% Seawater	61,3%	86,9%	32,5%	85,0%	93,3%	75,2%	55,8%	96,7%	74,3%	17,0%	69,9%	58,9%	0,5%	79,8%	59,4%	15,9%	82,9%	84,2%	47,4%	78,4%	95,3%	8,0%	99,1%	75,5%	30,5%	2,2%	64,0%	9,1%	98,1%	59,0%	77,6%
% Brackish/river	34,0%	13,1%	66,1%	15,0%	6,7%	24,6%	32,4%	3,3%	24,4%	82,5%	30,1%	41,1%	99,5%	20,2%	36,7%	46,1%	17,1%	15,8%	52,0%	21,6%	4,7%	92,0%	0,9%	24,4%	65,3%	44,1%	35,7%	90,9%	1,9%	35,0%	22,4%
% Pure	4,6%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	0,2%	11,8%	0,0%	1,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%	38,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	4,2%	53,7%	0,3%	0,0%	0,0%	6,0%	0,0%
Extra thermal capacity	9.036.253 m3/d	123.500 m3/d	108.132 m3/d	397.600 m3/d	98.533 m3/d	9.696 m3/d	596.117 m3/d	3.870 m3/d	29.825 m3/d	19.654 m3/d	293.814 m3/d	147.334 m3/d	3.616 m3/d	12.652 m3/d	68.295 m3/d	9.263 m3/d	608.216 m3/d	856.883 m3/d	43.572 m3/d	35.398 m3/d	469.252 m3/d	29.191 m3/d	401.309 m3/d	2.371.200 m3/d	655 m3/d	313 m3/d	47.447 m3/d	4.232 m3/d	1.798.365 m3/d	79.653 m3/d	21.602 m3/d
Large Project MSF capacity >10000	4.365.000 m3/d	45.000 m3/d	0 m3/d	135.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	450.000 m3/d	360.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	315.000 m3/d	0 m3/d	270.000 m3/d	1.440.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	1.305.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d
Large Project MED capacity >10000	2.702.000 m3/d	64.000 m3/d	64.000 m3/d	192.000 m3/d	32.000 m3/d	0 m3/d	448.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	160.000 m3/d	64.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	140.000 m3/d	224.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	96.000 m3/d	0 m3/d	96.000 m3/d	544.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	18.000 m3/d	0 m3/d	384.000 m3/d	48.000 m3/d	0 m3/d
Medium projects (assumed all MED)	740.500 m3/d	4.500 m3/d	4.500 m3/d	31.500 m3/d	45.000 m3/d	0 m3/d	90.000 m3/d	0 m3/d	4.500 m3/d	10.000 m3/d	40.500 m3/d	40.500 m3/d	0 m3/d	7.500 m3/d	22.500 m3/d	4.500 m3/d	9.000 m3/d	58.500 m3/d	9.000 m3/d	27.000 m3/d	31.500 m3/d	4.500 m3/d	0 m3/d	117.000 m3/d	0 m3/d	0 m3/d	18.000 m3/d	3.000 m3/d	18.000 m3/d	9.000 m3/d	9.000 m3/d
Small projects	1.228.753 m3/d	10.000 m3/d	39.632 m3/d	39.100 m3/d	21.533 m3/d	9.696 m3/d	58.117 m3/d	3.870 m3/d	25.325 m3/d	9.654 m3/d	93.314 m3/d	42.834 m3/d	3.616 m3/d	5.152 m3/d	45.795 m3/d	4.763 m3/d	9.216 m3/d	214.383 m3/d	34.572 m3/d	8.398 m3/d	26.752 m3/d	24.691 m3/d	35.309 m3/d	270.200 m3/d	655 m3/d	313 m3/d	11.447 m3/d	1.232 m3/d	91.365 m3/d	22.653 m3/d	12.602 m3/d
Large MSF %	48,3%	48,6%	0,0%	33,9%	8,8%	32,2%	0,0%	42,7%	5,0%	0,0%	0,0%	8,1%	46,3%	0,0%	23,2%	4,1%	71,4%	40,3%	11,3%	0,0%	64,3%	0,0%	66,5%	59,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	72,1%	0,0%	0,0%
Large MED %	29,9%	39,7%	68,8%	47,8%	24,8%	0,0%	72,7%	0,0%	0,0%	75,3%	59,8%	47,1%	0,0%	80,2%	22,7%	0,0%	25,1%	26,9%	0,0%	0,0%	19,6%	0,0%	26,6%	22,5%	0,0%	0,0%	65,6%	0,0%	22,0%	63,9%	49,0%
Medium MED%	8,2%	4,6%	25,6%	7,0%	44,2%	43,8%	25,0%	37,3%	51,4%	21,7%	34,5%	32,7%	13,5%	18,8%	22,1%	48,9%	0,8%	10,5%	50,3%	78,3%	2,8%	32,8%	1,7%	3,3%	80,8%	86,7%	29,7%	66,8%	1,2%	29,3%	21,2%
Small projects %	13,6%	8,1%	36,7%	9,8%	21,9%	100,0%	9,7%	100,0%	84,9%	49,1%	31,8%	29,1%	100,0%	40,7%	67,1%	51,4%	1,5%	25,0%	79,3%	23,7%	5,7%	84,6%	8,8%	11,4%	100,0%	100,0%	24,1%	29,1%	5,1%	28,4%	58,3%
%Thermal MED	51,7%	45,0%	100,0%	58,5%	73,9%	55,6%	100,0%	47,1%	70,7%	100,0%	100,0%	85,4%	16,5%	100,0%	49,4%	68,6%	26,0%	40,0%	64,7%	88,3%	23,4%	100,0%	28,6%	27,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	23,4%	100,0%	100,0%

Cuadro 7.2: empleos y output por rama de actividad en la economía española en 2005

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEOS	OUTPUT (M€)
Agricultura, ganadería y caza	1	806.700	43.416
Selvicultura y explotación forestal	2	27.400	1.960
Pesca y acuicultura	3	49.800	3.422
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4	9.600	2.401
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	5	800	23.108
Extracción de minerales metálicos	6	700	2.066
Extracción de minerales no metálicos	7	26.000	4.978
Coquerías, refino y combustibles nucleares	8	8.100	39.639
Producción y distribución de energía eléctrica	9	27.000	32.183
Producción y distribución de gas	10	5.300	7.752
Captación, depuración y distribución de agua	11	37.900	4.940
Industria cárnica	12	98.000	22.226

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEOS	OUTPUT (M€)
Industrias lácteas	13	27.900	9.808
Otras industrias alimenticias	14	233.400	51.980
Elaboración de bebidas	15	56.300	17.320
Industria del tabaco	16	5.200	2.748
Industria textil	17	91.600	13.861
Industria de la confección y la peletería	18	110.700	14.509
Industria del cuero y del calzado	19	66.300	8.265
Industria de la madera y el corcho	20	105.400	12.479
Industria del papel	21	53.400	15.272
Edición y artes gráficas	22	150.700	18.308
Industria química	23	140.800	66.169
Industria del caucho y materias plásticas	24	114.700	23.929
Fabricación de cemento, cal y yeso	25	14.700	4.504
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	26	27.400	4.626
Industrias de la cerámica	27	58.200	6.971
Fabricación de otros productos minerales	28	97.600	17.807

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEOS	OUTPUT (M€)
Metalurgia	29	109.400	42.113
Fabricación de productos metálicos	30	336.400	44.067
Maquinaria y equipo mecánico	31	210.900	44.891
Máquinas de oficina y equipos informáticos	32	16.600	8.569
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	33	75.800	23.713
Fabricación de material electrónico	34	29.600	15.750
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	35	35.200	9.427
Fabricación de vehículos de motor y remolques	36	207.500	91.707
Fabricación de otro material de transporte	37	67.400	17.241
Muebles y otras industrias manufactureras	38	222.000	20.960
Reciclaje	39	9.100	4.944
Construcción	40	2.406.700	273.682
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	41	371.400	30.625
Comercio al por mayor e intermediarios	42	787.800	72.112
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	43	1.745.900	59.078

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEOS	OUTPUT (M€)
Alojamiento	44	245.400	17.111
Restauración	45	962.100	85.349
Transporte por ferrocarril	46	20.800	2.483
Transporte terrestre y transporte por tubería	47	524.400	43.908
Transporte marítimo	48	10.300	2.952
Transporte aéreo y espacial	49	34.200	11.040
Actividades anexas a los transportes	50	180.500	31.092
Actividades de agencias de viajes	51	56.600	9.669
Correos y telecomunicaciones	52	181.100	40.259
Intermediación financiera	53	231.200	36.871
Seguros y planes de pensiones	54	52.900	13.454
Actividades auxiliares	55	82.700	13.327
Actividades inmobiliarias	56	211.000	113.960
Alquiler de maquinaria y enseres domésticos	57	74.500	11.345
Actividades informáticas	58	149.200	18.396
Investigación y desarrollo	59	66.400	6.031

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	EMPLEOS	OUTPUT (M€)
Otras actividades empresariales	60	1.280.800	106.256
Educación de mercado	61	290.100	14.684
Sanidad y servicios sociales de mercado	62	454.700	28.197
Saneamiento público de mercado	63	59.100	5.994
Actividades asociativas de mercado	64	14.600	712
Actividades recreativas, culturales y deportivas	65	323.900	32.039
Actividades diversas de servicios personales	66	249.700	7.973
Administración pública	67	1.184.700	61.717
Educación de no mercado	68	655.800	30.663
Sanidad y servicios sociales de no mercado	69	657.900	41.306
Saneamiento público de no mercado	70	7.800	2.771
Actividades asociativas de no mercado	71	42.100	2.726
Actividades recreativas y culturales de no mercado	72	107.200	8.543
Hogares que emplean personal doméstico	73	475.100	7.085

Fuente: Elaboración propia a partir de Tabla simétrica nacional Input-Output 2005 (www.ine.es)

Cuadro 7.3: empleo directo e indirecto generado en la economía española por una inversión de un millón de euros en el sector construcción (2005)

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Agricultura, ganadería y caza	1	18,580536	0,002071	0,038478
Selvicultura y explotación forestal	2	13,977452	0,002826	0,039501
Pesca y acuicultura	3	14,553318	0,000041	0,000596
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4	3,998834	0,002920	0,011676
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	5	0,034619	0,023636	0,000818
Extracción de minerales metálicos	6	0,338753	0,005457	0,001849
Extracción de minerales no metálicos	7	5,222561	0,019091	0,099706
Coquerías, refino y combustibles nucleares	8	0,204343	0,028190	0,005760

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Producción y distribución de energía eléctrica	9	0,838942	0,030507	0,025594
Producción y distribución de gas	10	0,683659	0,009712	0,006640
Captación, depuración y distribución de agua	11	7,672841	0,002067	0,015858
Industria cárnica	12	4,409171	0,000316	0,001394
Industrias lácteas	13	2,844646	0,000054	0,000154
Otras industrias alimenticias	14	4,490214	0,001070	0,004807
Elaboración de bebidas	15	3,250502	0,000418	0,001360
Industria del tabaco	16	1,892148	0,000000	0,000000
Industria textil	17	6,608422	0,004968	0,032829
Industria de la confección y la peletería	18	7,629694	0,005176	0,039493
Industria del cuero y del calzado	19	8,021779	0,000262	0,002101
Industria de la madera y el corcho	20	8,446325	0,032443	0,274023
Industria del papel	21	3,496503	0,011549	0,040381

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Edición y artes gráficas	22	8,231329	0,012187	0,100311
Industria química	23	2,127891	0,045880	0,097628
Industria del caucho y materias plásticas	24	4,793347	0,029034	0,139169
Fabricación de cemento, cal y yeso	25	3,263693	0,023645	0,077170
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	26	5,923172	0,006853	0,040593
Industrias de la cerámica	27	8,348994	0,023367	0,195092
Fabricación de otros productos minerales	28	5,480991	0,092785	0,508556
Metalurgia	29	2,597785	0,080651	0,209515
Fabricación de productos metálicos	30	7,633882	0,110540	0,843846
Maquinaria y equipo mecánico	31	4,698078	0,047664	0,223929
Máquinas de oficina y equipos informáticos	32	1,937306	0,003562	0,006900
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	33	3,196505	0,048505	0,155047

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Fabricación de material electrónico	34	1,879389	0,010817	0,020329
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	35	3,733876	0,000986	0,003682
Fabricación de vehículos de motor y remolques	36	2,262636	0,009553	0,021614
Fabricación de otro material de transporte	37	3,909263	0,001756	0,006865
Muebles y otras industrias manufactureras	38	10,591654	0,014067	0,148995
Reciclaje	39	1,840801	0,013982	0,025739
Construcción	40	8,793770	1,577476	13,871959
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	41	12,127505	0,020037	0,242997
Comercio al por mayor e intermediarios	42	10,924658	0,064386	0,703400
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	43	29,552506	0,013544	0,400261
Alojamiento	44	14,341819	0,004290	0,061522

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Restauración	45	11,272500	0,001121	0,012635
Transporte por ferrocarril	46	8,376626	0,000737	0,006171
Transporte terrestre y transporte por tubería	47	11,943127	0,050492	0,603031
Transporte marítimo	48	3,488805	0,001342	0,004682
Transporte aéreo y espacial	49	3,097714	0,002341	0,007250
Actividades anexas a los transportes	50	5,805333	0,033025	0,191722
Actividades de agencias de viajes	51	5,853578	0,003464	0,020276
Correos y telecomunicaciones	52	4,498362	0,025116	0,112981
Intermediación financiera	53	6,270443	0,026035	0,163251
Seguros y planes de pensiones	54	3,931916	0,006141	0,024144
Actividades auxiliares	55	6,205541	0,005258	0,032626
Actividades inmobiliarias	56	1,851535	0,035095	0,064979
Alquiler de maquinaria y enseres domésticos	57	6,566885	0,028878	0,189642

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Actividades informáticas	58	8,110547	0,004392	0,035623
Investigación y desarrollo	59	11,009235	0,003619	0,039842
Otras actividades empresariales	60	12,053930	0,091503	1,102975
Educación de mercado	61	19,756601	0,002821	0,055727
Sanidad y servicios sociales de mercado	62	16,126001	0,001796	0,028960
Saneamiento público de mercado	63	9,860189	0,002110	0,020806
Actividades asociativas de mercado	64	20,508498	0,000603	0,012359
Actividades recreativas, culturales y deportivas	65	10,109649	0,007437	0,075183
Actividades diversas de servicios personales	66	31,317413	0,000334	0,010445
Administración pública	67	19,195684	0,000000	0,000000
Educación de no mercado	68	21,387131	0,000000	0,000000
Sanidad y servicios sociales de no mercado	69	15,927584	0,000000	0,000000
Saneamiento público de no mercado	70	2,814868	0,000000	0,000000

RAMA DE ACTIVIDAD	CÓDIGO TSIO	l_i = EMPLEO$_i$ / OUTPUT$_i$	$A_{i,40}$ = COEFICIENTES DE LA MATRIZ INVERSA TOTAL	ME_{40} (Tipo I) = EMPLEO GENERADO (DIRECTO E INDIRECTO)
Actividades asociativas de no mercado	71	15,443874	0,000000	0,000000
Actividades recreativas y culturales de no mercado	72	12,547698	0,000000	0,000000
Hogares que emplean personal doméstico	73	67,057163	0,000000	0,000000
			TOTAL EMPLEO DIRECTO E INDIRECTO	21,56

Fuente: Elaboración propia a partir de Tabla simétrica nacional Input-Output 2005 (www.ine.es)