

informe de vigilancia tecnológica

tendencias en tecnologías del agua



CRÉDITOS

DIRECCIÓN DEL PROYECTO

Fernando Garrido
Gerente de EOI Mediterráneo

AUTOR

Fátima Mateos
Técnico de Inteligencia Tecnológica

Sandra Rodríguez
Gerente de Inteligencia Tecnológica

Clarke, Modet & C^o, España

Clarke, Modet & C^o
ESPAÑA

© Fundación EOI, 2014

www.eoi.es

Madrid, 2014

Esta publicación ha contado con la cofinanciación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Programa Operativo de I+D+i por y para el beneficio de las Empresas- Fondo Tecnológico 2007-2013.



“Cuidamos el papel que utilizamos para imprimir este libro”

Fibras procedentes de bosques sostenibles certificados por el *Forest Stewardship Council* (FSC).

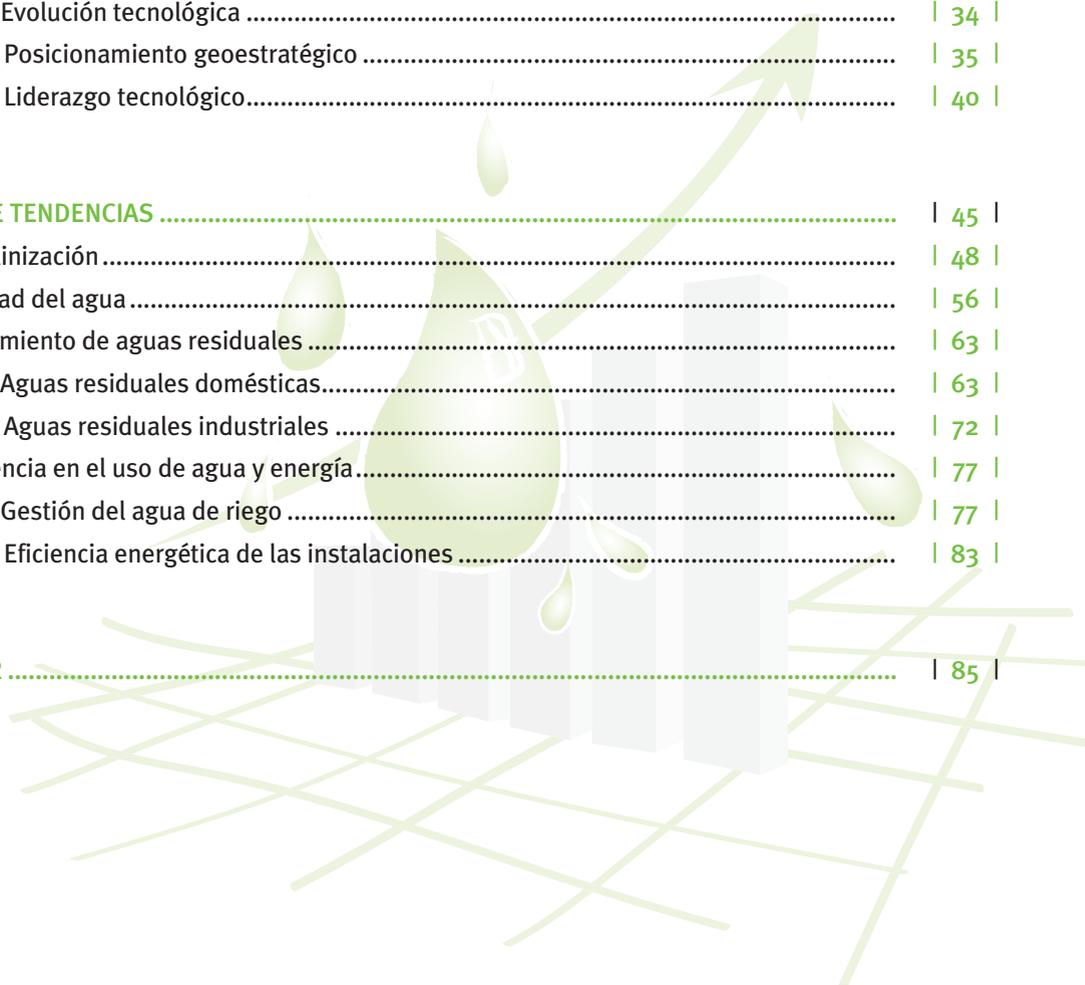


Esta publicación está bajo licencia *Creative Commons* Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>



ÍNDICE

Capítulo 1		
RESUMEN EJECUTIVO	5	
Capítulo 2		
INTRODUCCIÓN	9	
1. Disponibilidad del recurso	12	
2. Calidad del Agua.....	14	
1. Abastecimiento de agua y saneamiento	16	
Capítulo 3		
OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	19	
Capítulo 4		
METODOLOGÍA DE TRABAJO	21	
1. Análisis bibliométrico de publicaciones científicas	26	
2. Análisis bibliométrico de patentes	33	
2.1. Evolución tecnológica	34	
2.2. Posicionamiento geoestratégico	35	
2.3. Liderazgo tecnológico.....	40	
Capítulo 5		
ANÁLISIS DE TENDENCIAS	45	
1. Desalinización	48	
2. Calidad del agua	56	
3. Tratamiento de aguas residuales	63	
3.1. Aguas residuales domésticas.....	63	
3.2. Aguas residuales industriales	72	
4. Eficiencia en el uso de agua y energía.....	77	
4.1. Gestión del agua de riego	77	
4.2. Eficiencia energética de las instalaciones	83	
Capítulo 6		
DISCLAIMER	85	





RESUMEN EJECUTIVO





Los asuntos relacionados con la gestión de los recursos hídricos se han vuelto tan apremiantes que el Foro Económico Mundial ha destacado el tema del agua durante dos años consecutivos (en 2013 y 2014) como uno de sus máximos desafíos.

La gestión de los recursos hídricos debería centrarse más en aumentar los recursos naturales existentes y en reducir la demanda y las pérdidas de agua. La respuesta tradicional a la demanda creciente de agua consistía en almacenar el agua superficial en embalses, desviar los caudales a las regiones áridas y extraer aguas subterráneas. En el momento actual, estos métodos se combinan cada vez más con otros, como la **reutilización del agua, la desalinización** y la recolección del agua de lluvia. Actualmente, hay ciertos criterios económicos y ambientales que hacen de la **desalación una buena alternativa para la obtención de recursos hídricos**.

La mejora de **la eficiencia en el uso del agua** significa aumentar la productividad del agua, es decir, reducir la intensidad de uso del agua y de la contaminación de las actividades socio-económicas a través de la maximización del valor de los usos del agua, mejorar la asignación del agua entre los diferentes usos a fin de obtener un mayor valor socioeconómico por gota de agua, garantizando los usos ambientales y mejorando la eficiencia técnica de los servicios de agua y la eficiencia en la gestión de su prestación durante todo el ciclo de vida completo.

La adecuación de una tecnología depende de la situación local y de los recursos disponibles. Éstas incluyen el **reciclaje y la reutilización del agua, electrodomésticos de bajo consumo de agua, sistemas de riego eficientes, sistemas de alcantarillado descentralizados, tecnologías de la información y de la comunicación, recolectores de aguas pluviales y la regeneración de los nutrientes**.

La Región de Murcia optimiza el uso de los escasos volúmenes de agua de que dispone, ya que cuenta con **sistemas de regadío modernizados y con una gestión integrada de todos los recursos de agua** de las diferentes fuentes: trasvase Tajo-Segura, depuración, explotación de los acuíferos y desalación. Además, cuenta con las **técnicas más innovadoras en saneamiento**, que dan cobertura a casi un 99% de la población.

Estos últimos años, la Región de Murcia se ha visto favorecida con la **consolidación de técnicas de riego localizado y de alta frecuencia**, que han supuesto una gran transformación de sus regadíos, hasta situarse como la región española con mayor porcentaje de superficie regada con riego localizado, que alcanza el 98% en la zona del Campo de Cartagena¹.

Por otra parte, **la gestión de las aguas residuales** está siendo considerada como una **actividad esencial para la protección del medio ambiente y la conservación del agua**. Se ha demostrado que **la reutilización industrial se puede contemplar como un elemento básico en la gestión integrada de los recursos hídricos** y puede contribuir de forma notable dentro de las políticas de **conservación de los recursos, cualitativa y cuantitativamente**.

¹ Extensa llanura donde se localizan siete municipios -Fuente Álamo, Cartagena, La Unión, Los Alcázares, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco.



A medida que aumenta el número de plantas de reutilización potable en todo el mundo - bajo un marco legislativo previsiblemente más restrictivo y una mayor concienciación sobre los micro-contaminantes- la simplicidad y robustez de una **configuración multibarrera constituye una solución fiable, económica y efectiva para cumplir con los estándares requeridos** para asegurar la regeneración sostenible de un recurso natural tan vital como el agua.

Esta **configuración multibarrera** consiste en el uso de tecnologías como los **bioreactores de membranas (MBR) y la ósmosis inversa (OI), acoplados a otros procesos de oxidación avanzada (POA)**, los cuales ofrecen importantes beneficios en la reutilización, sobretodo comparado a los tratamientos terciarios convencionales.

Durante la última década, los **bioreactores de membrana** han dado pasos significativos **hacia la excelencia energética. Los fabricantes, han mejorado los diseños de los módulos de membranas, y sus estrategias de operación, enfocándose en la reducción del consumo energético.** La aparición de un elevado número de proveedores también ha derivado en unos costes de inversión muy competitivos frente a las tecnologías convencionales.

Las innovaciones más recientes destacan una notable **mejora de los sistemas de aireación para la limpieza de las membranas**, que hasta ahora podía suponer entre un 20-40 % del consumo total de un sistema MBR. Adicionalmente, gracias a las **mejoras en el diseño de reactores, y en técnicas de control y operación**, hoy día se observan consumos específicos que reducen un 50 % los de hace una década.

Las innovaciones en la Ósmosis inversa destacan por el **desarrollo de membranas de mayor permeabilidad y con menor tendencia al ensuciamiento**, que a su vez se traduce en un **menor consumo energético y de químicos**, así como una vida prolongada de las membranas. Recientemente, también han aparecido membranas que incorporan nanopartículas en su estructura. Estas nanomembranas destacan por sus propiedades anti-microbianas y una reducida tendencia a la adsorción orgánica, con incrementos de permeabilidad de hasta 40 % respecto a las membranas de poliamida comúnmente empleadas en desalación.

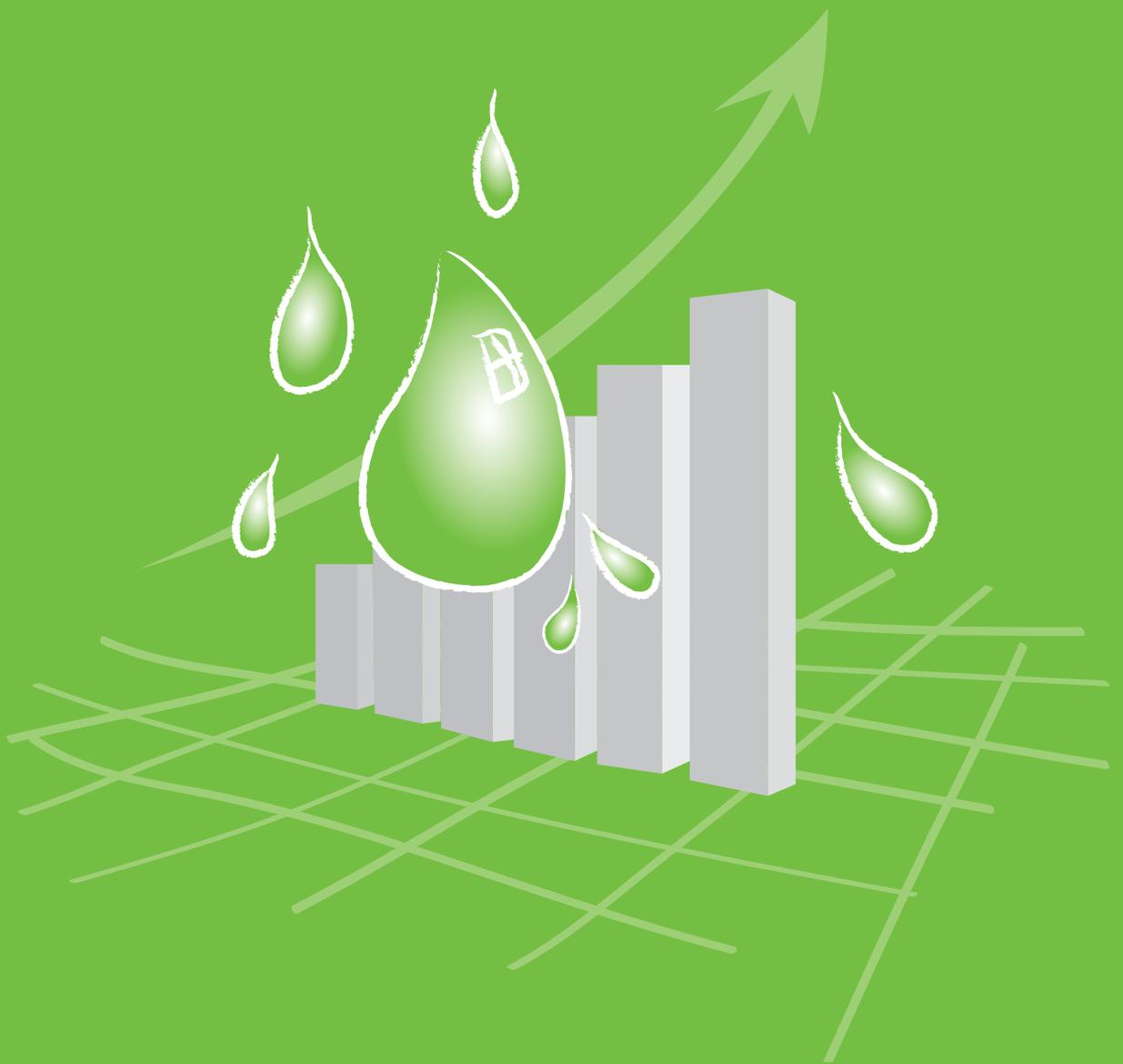
Por otra parte, en la actualidad hay un **enorme interés científico en los procesos de oxidación avanzados y sus posibles combinaciones, siendo los basados en ozono y en dióxido de titanio los que auguran mayores innovaciones** en esta etapa crucial del tratamiento avanzado.

Los beneficios y ventajas de los tratamientos basados en membranas acoplados a procesos de oxidación avanzada para la regeneración de agua están ampliamente validados en sistemas en operación. Las tecnologías de membranas ofrecen cada vez una mayor capacidad de rechazo frente a contaminantes peligrosos, y costes cada vez más competitivos. Las innovaciones en los POA con nuevos oxidantes, catalizadores y sistemas, sugieren que la eliminación de los contaminantes emergentes también es posible con menor impacto económico y medioambiental.

Si todos los aspectos económicos de la reutilización potable se incluyen en el análisis del ciclo de vida (incluyendo obra civil, recolección y distribución, precio del terreno, etc.), la simplicidad de los **tratamientos multibarrera MBR-RO-POA puede jugar un papel destacado en los grandes proyectos de reutilización.**

2

INTRODUCCIÓN





En todo el mundo, la actividad humana como la urbanización, el crecimiento demográfico y la contaminación están agotando los recursos hídricos disponibles, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales. Si bien, no podemos obviar que en la última década la sociedad se ha ido concienciando de la necesidad de mejorar la gestión y la protección del agua.

El agua de la Tierra se encuentra naturalmente en varias formas y lugares: en la atmósfera, en la superficie, bajo tierra y en los océanos. **El agua dulce representa sólo el 2,5% del agua de la Tierra**, y se encuentra en su mayoría congelada en glaciares² y casquetes glaciares. El resto se presenta principalmente en forma de agua subterránea, y sólo una pequeña fracción se encuentra en la superficie o en la atmósfera (Véase Figura 1).

Teniendo en cuenta el ciclo del agua en la Tierra se puede comprender mejor cómo interactúa con el medio ambiente, y evaluar qué cantidad está disponible para el consumo humano. Las precipitaciones (lluvia, nieve, rocío, etc.) son imprescindibles para renovar los recursos hídricos, así como determinantes para las condiciones climáticas y la biodiversidad locales. En función de las condiciones locales, las precipitaciones pueden alimentar ríos³, lagos o humedales⁴, recargar los suministros de aguas subterráneas o volver a la atmósfera por evaporación.

Casi toda el agua dulce que no está congelada se encuentra bajo la superficie en forma de agua subterránea. Las aguas subterráneas, que en general son de muy buena calidad, se han extraído principalmente para obtener agua potable y ayudar a la agricultura en los climas áridos. Este recurso se considera renovable, siempre que las aguas subterráneas no se extraigan a una velocidad que no dé tiempo a que la naturaleza las renueve, pero en muchas regiones secas el agua subterránea no se renueva o lo hace muy lentamente. Son pocos los países que miden la calidad de sus aguas subterráneas o la velocidad a la que se explotan las reservas, lo que dificulta su gestión.

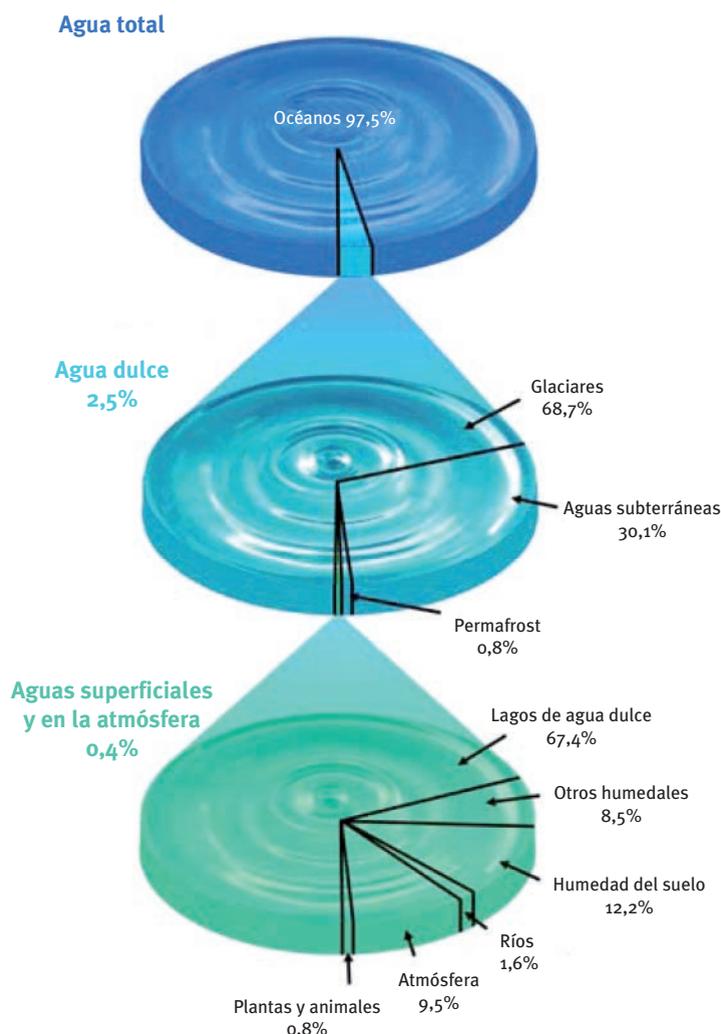
² Los glaciares almacenan agua en forma de nieve y hielo, alimentando los arroyos locales con el agua que liberan en mayor o menor cantidad dependiendo de la estación. Sin embargo, debido al cambio climático, muchos de ellos están retrocediendo.

³ Las cuencas fluviales son útiles como «unidad natural» de gestión de los recursos hídricos, y muchas de ellas se extienden sobre más de un país. Entre las cuencas fluviales más grandes están la del Amazonas y la del Congo-Zaire. El caudal de los ríos puede variar considerablemente de una estación o de una región climática a otra. Como los lagos almacenan grandes cantidades de agua, pueden mitigar las variaciones estacionales en el caudal de los ríos y los arroyos.

⁴ Los humedales (como pantanos, turberas, ciénagas y lagunas) cubren el 6% de la superficie terrestre emergida y desempeñan un papel fundamental para los ecosistemas locales y los recursos hídricos. Muchos de ellos han sido destruidos, pero el resto todavía puede ser de mucha ayuda para prevenir inundaciones y mantener el caudal de los ríos.



FIGURA 1
Distribución de agua en el mundo



Fuente: Greenfacts

Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, el crecimiento urbano con el consiguiente cambio del paisaje por la deforestación, contaminación y cambio climático. Cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas y, a su vez, sobre los recursos hídricos. La Agencia de Evaluación Ambiental de Holanda PBL (*PBL Netherlands Environmental Assessment*) y la OECD, señalan en un estudio las tendencias sobre la gestión del agua entorno a los siguientes aspectos fundamentales: la disponibilidad del recurso, la calidad del agua y el acceso a agua potable y saneamiento, las cuales se comenta brevemente a continuación.

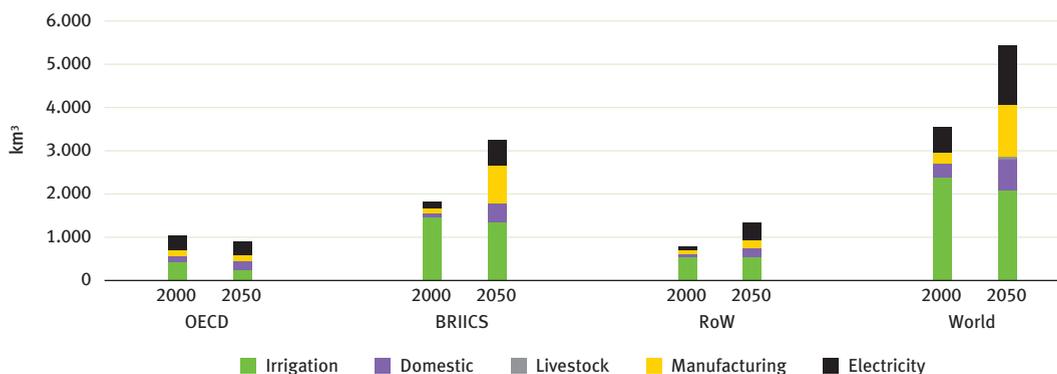


1. Disponibilidad del recurso

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI, al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, **el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población** y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. **Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitamos**, pero ésta está **distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible**.

Se estima que la demanda mundial de agua (en términos de extracción de agua) aumentará cerca de un 55% para el año 2050, principalmente debido a la creciente demanda del sector de la producción o manufactura (400%), a la generación de energía eléctrica (140%) y el consumo doméstico (130%) (Véase Figura 2).

FIGURA 2
Demanda mundial de agua (extracción de agua dulce): escenario de referencia, 2000 y 2050



Fuente: OECD (2012)⁵

Por tanto, la disponibilidad de agua dulce estará bajo mayor presión durante este período, la situación se ve agravada por dos factores, en primer lugar, el número de personas que viven en cuencas fluviales con elevado estrés hídrico, las previsiones apuntan a que más de un 40% (3,9 mil millones de personas) de la población mundial vivirá en zonas con severos problemas hídricos para el 2050. Por ejemplo, en las cuencas con escasez de agua, los pequeños cambios en los regímenes de agua (sequías) pueden tener importantes consecuencias.

⁵ OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction, OECD Publishing, Paris (2012).

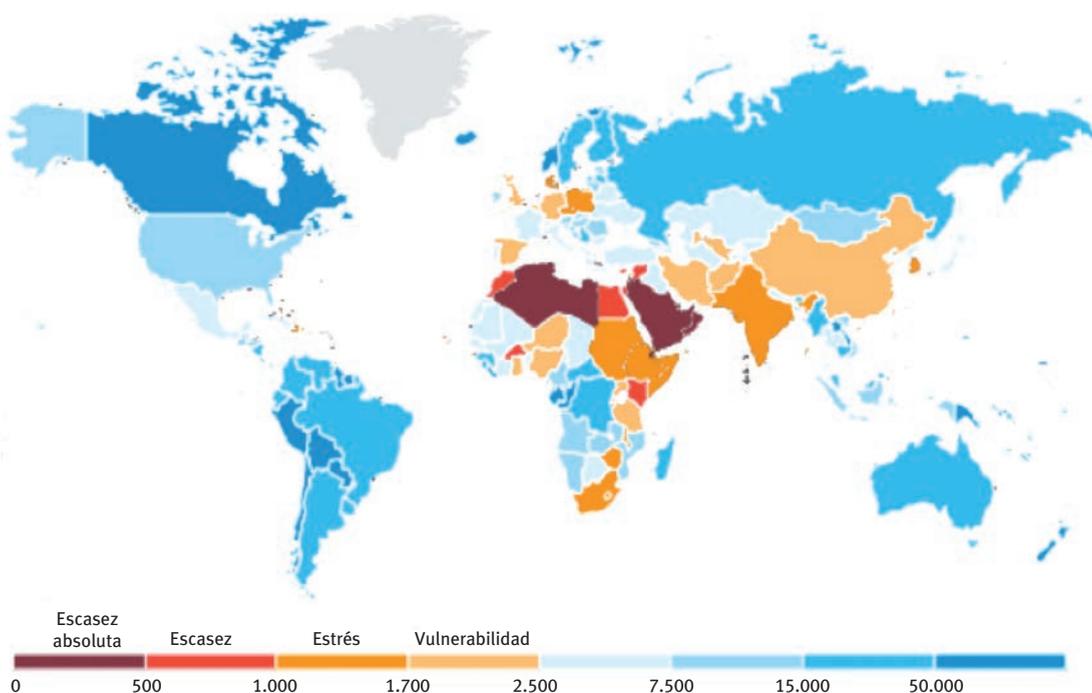
*Nota: BRIICS, Brasil, Rusia, India, Indonesia, China, Sudáfrica; OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; ROW, Resto del Mundo.



Un segundo factor es el agotamiento de las aguas subterráneas, que se ha duplicado entre los años 1960 y 2000, algo que podría convertirse en la mayor amenaza para la agricultura y el abastecimiento urbano de agua en varias regiones en las próximas décadas. Existe una clara evidencia de que **las reservas de agua subterránea están disminuyendo y se estima que un 20% de los acuíferos del mundo están sobreexplotados**, algunos de forma crítica. Por otro lado, el deterioro mundial de los humedales está reduciendo la capacidad de los ecosistemas de purificar el agua. En la Figura 3 se muestra un mapa mundial con la disponibilidad de recursos hídricos, destacando especialmente zonas del norte y sur de África, y sur y centro de Asia con escasez de agua.

FIGURA 3

Disponibilidad de recursos hídricos renovables, 2011 (m³ per cápita por año)



Fuente: WWAP, elaborado con datos de FAO AQUASTAT⁶

Ante esta escasez, surge el planteamiento de recursos hídricos alternativos, como el agua desalada (agua de mar o salobre transformada en agua dulce) se usa en las ciudades y en la industria, especialmente en Oriente Medio, cuyo coste ha disminuido notablemente. Por tanto, hay ciertos criterios económicos y ambientales que hacen de la **desalación actualmente una buena alternativa para la obtención de recursos hídricos**.

Hace treinta años la desalación de agua de mar era una técnica poco viable desde un punto de vista económico y técnico. Sin embargo, la tecnología actual para la desalación del agua de mar permite obtener agua apta para el consumo humano en el margen 0.50-0.65 €/m³. Sumando los costes de pre-tratamiento

⁶ Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014



y pos-tratamiento, como filtración, eliminación de la dureza, aditivos, absorción, etc., estos costes se estiman del orden de 1 €/m³.

Además, los costes de inversión se han reducido considerablemente, debido al abaratamiento del precio de las membranas, que además de ser cada vez de mayor calidad, cuestan la mitad de lo que costaban hace diez años. Es decir, la calidad de las membranas, su periodo de vida útil y los costes de mantenimiento y reposición han mejorado gracias a las nuevas técnicas de fabricación y enrollamiento automático de membranas permitiendo a las empresas suministrar sus productos a costes muy competitivos.

En relación al consumo de energía, cabe apuntar el desarrollo de tecnologías más eficientes energéticamente y las mejoras en los propios equipos de las plantas desaladoras, como las bombas de alta presión, cada vez más eficientes y de mayor tamaño. Todo ello aunado a la tendencia de la recuperación de energía, con la instalación de plantas duales de producción de energía y agua.

En conclusión, podemos señalar las **enormes perspectivas que la desalación tiene como una fuente adicional de obtención de recursos hídricos aprovechables para las actividades del hombre como consumo, agricultura, industria, etc.**, en sinergia con la propuesta de generación de energía de forma amigable con el ambiente, es decir a través de las energías renovables como la hídrica, solar y eólica.

Además de aunar esfuerzos con una gestión integral de las aguas superficiales y subterráneas, como el **agua de lluvia** que se recoge desde hace miles de años en muchas partes del mundo. Por ejemplo, en Asia hoy en día, esta técnica se utiliza para recargar los suministros subterráneos, ya que es relativamente barata y tiene la ventaja de permitir que las comunidades locales desarrollen y mantengan ellas mismas las infraestructuras necesarias.

El **reconducir las aguas superficiales** bajo tierra puede ayudar a reducir las pérdidas por evaporación, compensar las variaciones en el caudal y mejorar la calidad del agua. Algunas regiones de Oriente Medio y del Mediterráneo aplican esta estrategia. Las presas y los embalses se construyen a fin de almacenar agua para el riego y el consumo. Además, las presas pueden proporcionar electricidad y ayudar a controlar las inundaciones, aunque también pueden tener impactos sociales y medioambientales no deseados. El **trasvase de agua entre cuencas fluviales** también puede ayudar a mitigar los problemas de escasez de agua. China, por ejemplo, dispone ya de grandes conexiones entre cuencas y planea realizar más.

2. Calidad del agua

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola, como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. La baja calidad del agua afecta directamente la cantidad de agua de diversas maneras. El agua contaminada no puede utilizarse para consumo, para baño, para la industria o la agricultura, lo cual reduce de forma efectiva la cantidad de agua disponible en una determinada zona.



Los principales contaminantes son, por ejemplo, la materia orgánica y los organismos patógenos contenidos en las aguas residuales, los fertilizantes y pesticidas procedentes de las tierras agrícolas, la lluvia ácida provocada por la contaminación del aire, y los metales pesados liberados por las actividades mineras e industriales. En términos técnicos, el principal problema relacionado con la calidad del agua⁷ lo constituye la eutrofización⁸, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana), de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales.

Los lagos y los pantanos son especialmente susceptibles a los impactos negativos de la eutrofización debido a su complejo dinamismo, con un periodo de residencia del agua relativamente largo, y al hecho de que concentran los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje. Las concentraciones de nitrógeno superiores a 5 miligramos por litro de agua a menudo indican una contaminación procedente de residuos humanos o animales o provenientes de la escorrentía de fertilizantes de las zonas agrícolas.

Por tanto, no sólo la calidad del agua potable se encuentra en el punto de mira por los nuevos contaminantes emergentes, **las aguas residuales en muchos países son un problema ambiental** puesto que contaminan de una manera irracional los ecosistemas en donde son vertidas como son los lagos, lagunas, ríos, manglares, costas, entre otros, los principales afectados son los animales y plantas que habitan en estos ecosistemas. Sin embargo, en países como el Oriente Medio, están **reutilizando las aguas residuales** para diferentes propósitos y se espera que esta práctica llegue a popularizarse. A escala mundial, el agua no potable se utiliza para el riego y la refrigeración industrial. Las ciudades también están recurriendo a la reutilización de agua para completar el abastecimiento de agua potable, aprovechando los avances en las tecnologías del tratamiento de las aguas.

Es decir, **este problema se puede resolver creando una cultura de ahorro del agua e implantando plantas de tratamiento eficiente**. Actualmente se están masificando en diversos países las plantas de tratamiento de agua anaerobias combinadas con un sistema de limpieza biológico, este tipo de plantas de tratamiento constan de un biodigestor anaerobio, y un sistema de humedales artificiales que asemejan a la naturaleza para terminar el proceso de limpieza del agua tal como sucede en el medio natural, por medio de plantas que son muy eficientes al depurar el agua después del proceso de digestión biológica.

Por otro lado, también es importante destacar que es cada vez **mayor la preocupación del impacto en los ecosistemas acuáticos de los productos cosméticos y farmacéuticos** como las píldoras anticonceptivas, analgésicos y antibióticos. Poco se sabe de sus efectos a largo plazo sobre los humanos y los ecosistemas, aunque se cree que algunos pueden suplantar las hormonas naturales en los humanos y otras especies, lo cual abre una línea de investigación.

⁷ La calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares, En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

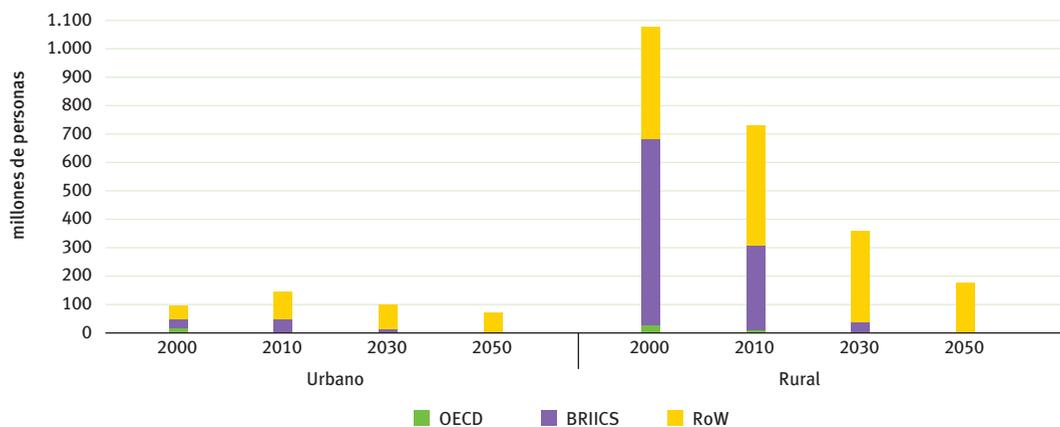
⁸ En ecología el término eutrofización se designa al enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes



3. Abastecimiento de agua y saneamiento

A pesar de los enormes esfuerzos en las últimas dos décadas, el número de habitantes de las ciudades que no tienen acceso a fuentes de agua mejorada ha aumentado desde 1990, como consecuencia de la urbanización, la cual ha sobrepasado el desarrollo de la infraestructura. **Más de 240 millones de personas (la mayoría de ellos en zonas rurales) seguirán sin acceso a una fuente de agua de calidad en el año 2050 (véase Figura 4).**

FIGURA 4
Población sin acceso a un agua mejorada (1990-2050)⁹



Fuente: OECD (2012)¹⁰

La situación es aún más desalentadora dado que el acceso a una fuente mejorada de agua no siempre significa el acceso al agua potable. **Se prevé que 1,4 mil millones de personas sigan sin acceso a servicios básicos de saneamiento en 2050, con graves consecuencias sobre la salud y el medio ambiente.**

Sin mejoras en la eficiencia, la demanda mundial de agua superará los suministros actualmente accesibles en un 40% para el año 2030. **Se espera que los niveles históricos de la mejora en la productividad del agua, así como aumentos de la oferta hagan frente a un 40% de esta brecha, pero el 60% restante tiene que venir de la inversión en infraestructura, reforma de la política de agua y desarrollo de las nuevas tecnologías¹¹.**

⁹ Países miembros de la OCDE: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Corea, Dinamarca, Eslovenia, España, Estados Unidos, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República Eslovaca, Suecia, Suiza y Turquía. // BRIICS: Brasil, Rusia, India, Indonesia, China y Sudáfrica // RoW: Resto del mundo (Rest of the world).

¹⁰ OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction, OECD Publishing, Paris (2012)

¹¹ Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2011



De manera adicional a estas perspectivas generales, en la Conferencia Anual 2014 de la ONU que tuvo lugar en Zaragoza (España) se presentaron algunas tendencias sobre otra de las grandes áreas de las tecnologías del agua: **“Eficiencia en el uso del agua y la energía”**¹².

Históricamente, los esfuerzos para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la energía han sido llevados a cabo por separado. Mejorar la eficiencia tanto de la oferta como de la demanda permitiría a los países reducir la escasez de los recursos, y maximizar los beneficios proporcionados por la infraestructura de agua y energía existente.

La eficiencia en el uso del agua es un concepto de múltiples facetas. Significa *“hacer más y mejor con menos”* mediante la obtención de más valor con los recursos disponibles, reduciendo el consumo de recursos, la contaminación y el impacto ambiental del uso del agua para la producción de bienes y servicios, en cada etapa de la cadena de valor y de la prestación de servicios de agua.

La mejora de la eficiencia en el uso del agua significa aumentar la productividad del agua, es decir, reducir la intensidad de uso del agua y de la contaminación de las actividades socio-económicas. A través de maximizar el valor de los usos del agua, con una asignación inteligente del agua entre los diferentes usos, que permita obtener un mayor valor socioeconómico por cada gota de agua y mejorar la eficiencia técnica en la gestión de su prestación durante todo el ciclo de vida del agua. En cuanto a las tendencias tecnológicas en esta área, en la Conferencia Anual 2014 de la ONU se resaltaron las **Técnicas de riego eficientes, reducción de las fugas de agua, transmisión de energía eficiente** (que conduce a un menor calentamiento y menor uso de agua para la refrigeración), **eficiencia energética e hídrica en el suministro y saneamiento** (reducción en origen), **tecnología de producción de energía eficiente** y una **gestión eficiente del agua en empresas energéticas**.

En resumen, la adecuación de una tecnología depende de la situación local y de los recursos disponibles, que implican uso de un conjunto de ellas como el reciclaje y la reutilización del agua, uso de electrodomésticos de bajo consumo de agua, sistemas de riego eficientes, sistemas de alcantarillado descentralizados, tecnologías de la información y comunicación, recolectores de aguas pluviales, regeneración de los nutrientes, etc. Por otro lado, la gestión de las vulnerabilidades hídricas del sector energético requerirá la implementación de una mejor tecnología, y una mayor sinergia e integración de las políticas de energía y agua.

Finalmente, satisfacer una demanda de agua creciente requiere esfuerzos para compensar la variabilidad natural y mejorar tanto la calidad como aumentar la cantidad del agua disponible. En las regiones áridas se están combinando nuevas formas de satisfacer la demanda como la desalinización, la reutilización, la renovación de las aguas subterráneas y el trasvase entre cuencas fluviales con métodos de conservación que llevan usándose mucho tiempo. Sin embargo, la toma de conciencia sobre la relación entre los

¹² La Conferencia Anual de ONU-Agua en Zaragoza sirve a ONU-Agua para preparar el Día Mundial del Agua. Esta conferencia forma parte de la hoja de ruta del Día Mundial del Agua 2014 cuyo enfoque es el nexo entre el agua y la energía. Para preparar dicha campaña mundial se reunieron del 13 al 16 de enero en Zaragoza, España, 9 agencias y programas de Naciones Unidas y más de 120 expertos, representantes de empresas internacionales del agua y la energía, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que abordaron los retos, las interrelaciones y las soluciones conjuntas que se plantean para asegurar el acceso, la eficiencia y la sostenibilidad en la provisión de servicios de agua y energía.



recursos hídricos y la salud de los ecosistemas ha aumentado recientemente, y cada vez se tiene más en cuenta, la forma en que el estado de un río, humedal o zona costera ayuda al desarrollo económico y a la lucha contra la pobreza.

En las regiones donde el agua es más abundante a menudo se suponía que sería posible superar los períodos de escasez y revertir la contaminación. Por lo general no se esperaba que las actividades humanas fueran a agotar los recursos hídricos y a poner en peligro los ecosistemas del modo en que lo han hecho. Por este motivo, algunas de las prácticas utilizadas en las regiones áridas se están empezando a adoptarse en regiones con suficiente agua.

3

OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO





En base a la información recopilada sobre las Tendencias en tecnologías del Agua, la Unidad de Inteligencia Tecnológica de Clarke, Modet & C^o ha realizado un estudio con el propósito de recopilar y presentar algunas de las tendencias y predicciones recientes publicadas en el área que ayuden a:

- Delinear el escenario actual de las tendencias en el sector del agua en el ámbito mundial.
- Presentar un ejemplo de la utilidad de la Vigilancia Tecnológica como herramienta para disminuir la incertidumbre, y por ende el riesgo inherente en la toma de decisiones, a fin de realizar una orientación efectiva de las estrategias de investigación, desarrollo e innovación de los proyectos en esta área.

El documento se estructura en 4 apartados:

- **APARTADO I:** Metodología de trabajo.
- **APARTADO II:** Análisis bibliométrico de las publicaciones sobre las tecnologías del agua.
- **APARTADO III:** Análisis de documentos de patentes sobre tecnologías de desalinización de agua marina.
- **APARTADO IV:** Análisis de tendencias del sector de las tecnologías del agua.

En la primera parte del estudio “*Metodología de trabajo*”, se describe la metodología llevada a cabo, detallando las estrategias de búsquedas utilizadas, en las diversas fuentes de información consultadas: bases de datos de literatura científica, estudios de mercados y fuentes especializadas en análisis de tendencias en el sector de los recursos hídricos, así como bases de datos de patentes.

Posteriormente, en los apartados siguientes (Apartado II y III) se presenta un breve análisis bibliométrico (análisis cuantitativo) y cualitativo de las publicaciones científicas y documentos de patentes que nos permiten extraer algunas conclusiones preliminares sobre las tendencias en el sector de los recursos hídricos. Y a manera de ejemplo en el apartado de análisis bibliométrico de los documentos de patentes (Apartado III) se presenta un análisis sobre fue la tecnología de desalinización de agua marina que es considerado uno de los recursos hídricos alternativos más importantes, así como una importante tendencia tecnológica.

Por último, en el apartado de las “*Análisis de tendencias*” (Apartado IV) se presentan las tendencias sobre tecnologías del agua extraídas de diferentes fuentes especializadas en el área que aportan una visión del futuro del sector y la participación de la tecnología en el mismo, de forma explorar nuevas vías y adaptarse a la dinámica del sector resaltando aplicaciones actuales y propuestas sobre:

1. **Desalinización** como un recurso hídrico alternativo.
2. **Calidad del agua.**
3. **Tratamientos de aguas residuales.**
4. **Eficiencia en el uso del agua y la energía**, donde se destaca la **gestión del agua de riego y la eficiencia energética de las instalaciones.**

4

METODOLOGÍA DE TRABAJO





Con el fin de poder recopilar información sobre las perspectivas y tendencias en el sector de las tecnologías del agua, y delinear un escenario al respecto, se ha procedido a realizar una búsqueda en diferentes fuentes de información, iniciando la búsqueda en **las bases de datos de literatura científica (Web of Science™, Science direct (Elsevier) y Springer Link)**, prosiguiendo por estudios de tendencias y perspectivas en el área realizados por organizaciones del área como **Agencia de Evaluación Ambiental de Holanda PBL (PBL Netherlands Environmental Assessment), Instituto de Gestión del Agua (International Water Management Institute, IWMI) Global Water Intelligence (GWI), la Organización de Naciones Unidas (ONU) la Organización para la cooperación y el desarrollo económico (Organisation for Economic Co-operation and Development, OCDE).**

Para ello, se han realizado diversas aproximaciones de búsqueda, durante las dos últimas semanas de Octubre de 2014. En primera instancia se consultó la Web of Science™¹³ para identificar la magnitud del área, y extraer una muestra representativa que permitiera detectar las organizaciones, congresos y revistas técnicas científicas especializadas en el sector con publicaciones relacionadas a predicciones o tendencias relacionadas al sector de los recursos hídricos en el periodo de 2000-2014¹⁴. La estrategia final utilizada fue la suma de diferentes aproximaciones de búsqueda.

Inicialmente se realizó una búsqueda utilizando términos generales sobre **Tendencias o predicciones en la gestión, calidad, tratamiento y purificación de agua de manera general**, recopilándose **778 documentos científicos relacionados** (Véase Tabla 1, Estrategia #1).

Con el fin de poder recopilar información complementaria relacionada con los tópicos más recurrentes en el área se realizaron estrategias individuales por cada uno de ellos:

- **Tratamientos de aguas residuales** (Estrategia #2).
- **Sistemas de riego** (Estrategia #3).
- **Desalinización** (Estrategia #4).
- **Gestión del agua** (Estrategia #5).

Finalmente, se realizó la agrupación de las estrategias señaladas con el fin de poder obtener un marco global de las **tendencias en todas las áreas involucradas o relacionadas con el agua**. De dicha asociación se obtuvo un universo de **815 artículos científicos**, de los cuales **140 están relacionados directamente con tendencias sobre tecnologías del agua**, que dan una visión detallada de las nuevas tecnologías o cuales son aquellas que están teniendo mayor repercusión en la sociedad.

Un ejemplo es el artículo *“The future of seawater desalination: energy, technology and the environment”* (2011)¹⁵ en el que se hace una proyección del futuro de las desalinadoras de agua marina desde diferentes perspectivas como son la energía, la tecnología y el medio ambiente.

¹³ Es un servicio en línea de información científica, suministrado por Thomson Reuters, integrado en ISI Web of Knowledge, WoK. Facilita el acceso a un conjunto de bases de datos en las que aparecen citas de artículos de revistas científicas, libros y otros tipos de material impreso que abarcan todos los campos del conocimiento académico.

¹⁴ Fecha de la consulta 10 de Octubre de 2014.

¹⁵ Elimelech, Menachem, and William A. Phillip. *“The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment.”* Science 333.6043 (2011): 712-717.



A su vez, otra de las estrategias utilizadas para recuperar información sobre las tendencias en el sector energético y recursos hídricos ha sido consultar publicaciones, páginas web, blogs, presentaciones y videos de instituciones especializadas en el sector que han publicado estudios o análisis de tendencias sobre el sector. Por ejemplo, las publicaciones del **Instituto de Gestión del Agua (International Water Management Institute, IWMI)**¹⁶, una organización de investigación sin ánimo de lucro con sede en Colombo, Sri Lanka, y oficinas en África y Asia. Este instituto se centra en la mejora de la gestión de los recursos de agua y tierra, con el objeto de estimular la seguridad alimentaria y reducir la pobreza salvaguardando al mismo tiempo los procesos ambientales vitales.

TABLA 1
Estrategias de búsqueda y resultados

#	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	DOCUMENTOS CIENTÍFICOS	INNOVACIONES RECOPIADAS
1	TI=(((FUTURE OR FORECAST* OR OUTLOOK OR FORESIGHT OR PERSPECTIVE OR TREND* OR TENDENC*) AND ((AGUA OR WATER) NEAR ₃ (DEMAND* OR DISTRIBU?ION* OR MANAGEMENT* OR GESTION OR RESOURC* OR FUENTE* OR QUALITY OR CALIDAD OR SUPPLY OR SUMINISTRO* OR USE OR USO OR ABASTECIMIENTO* OR TREATMENT* OR TRATAMIENTO* OR PURIFICA*)))) AND (TF<=>=(2000) AND TF<=>=(2014))	778	Tendencias en gestión, calidad, tratamiento y purificación de agua de manera general
2	TI=(((FUTURE OR FORECAST* OR OUTLOOK OR FORESIGHT OR PERSPECTIVE OR TREND* OR TENDENC*) AND ((AGUA* OR WATER) NEAR ₂ ((WASTE) OR RESIDUAL*)))) AND (TF<=>=(2000) AND TF<=>=(2014));	13	Tendencias en tratamientos de aguas residuales
3	TI=(((FUTURE OR FORECAST* OR OUTLOOK OR FORESIGHT OR PERSPECTIVE OR TREND* OR TENDENC*) AND ((AGUA* OR WATER) NEAR ₃ (IRRIGATION OR RIEGO)))) AND (TF<=>=(2000) AND TF<=>=(2014));	28	Tendencias en sistemas de riego
4	TI=(((FUTURE OR FORECAST* OR OUTLOOK OR FORESIGHT OR PERSPECTIVE OR TREND* OR TENDENC*) AND ((AGUA* OR WATER) AND (DESALIN*)))) AND (TF<=>=(2000) AND TF<=>=(2014));	16	Tendencias en desalinización
5	TI=(((FUTURE OR FORECAST* OR OUTLOOK OR FORESIGHT OR PERSPECTIVE OR TREND* OR TENDENC*) AND ((AGUA* OR WATER) NEAR ₃ (MANAGEMENT OR GESTION)))) AND (TF<=>=(2000) AND TF<=>=(2014));	163	Tendencias en gestión del agua
6	Σ (Estrategia 1+2+3+4+5)	815	Tendencias sobre el agua
7	Estrategia 6 AND ALL= (TECHNOLOG* OR TECNOLOG* OR TECHNIQ*)	140	Tendencias sobre tecnologías del agua

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, si bien las publicaciones, reportes y noticias ofrecen un panorama de las tendencias en investigación en el sector del agua, las patentes posibilitan un análisis a detalle sobre los desarrollos

¹⁶ Amarasinghe, Upali A.; Smakhtin, Vladimir. "Global water demand projections: past, present and future". 2014. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI)



tecnológicos. Estos documentos permiten seguir con un nivel de mayor detalle, la evolución de las actividades de I+D+i en la creación de nuevos productos y procesos. Se trata, sin embargo, de una fuente de información que debe ser gestionada con un nivel de conocimiento especializado.

Con el fin de mejorar la competitividad del sector a través de mayores rendimientos con menos recursos, con elevados niveles de calidad y posicionamiento en los mercados, es necesario consolidar la incorporación de nuevas técnicas, métodos e insumos, que aumenten la eficiencia y la productividad de los sistemas de gestión, abastecimiento, tratamiento del agua tanto potable como residual; es por ello que, dentro del direccionamiento estratégico del sector, la variable tecnológica toma relevancia como bien hemos mencionado previamente.

Las solicitudes de patentes en las empresas de base tecnológica son una herramienta que no sólo sirve para proteger los resultados de la I+D en el mercado nacional, sino también un elemento clave en la estrategia de internacionalización de cualquier empresa que opere a través de tecnologías. El ámbito geográfico en el que una compañía decide proteger una idea es mayor cuanto mayor sea la calidad de la invención realizada, limitando la protección a un ámbito geográfico menor a las ideas de menor potencial.

Como un ejemplo, para describir la utilidad de esta fuente de información, se han consultado más de 100 bases de datos internacionales de patentes que abarcan las oficinas de Estados Unidos (USPTO), Europa (OEP), Mundial (OMPI), y las nacionales de Francia, Alemania, Reino Unido, China, Corea, Japón y España. En esta ocasión el tema elegido para realizar la búsqueda fue la **tecnología de desalinización de agua marina que es considerado uno de los recursos hídricos alternativos más importantes, y bien se reseña en los estudios prospectivos como una de las tendencias tecnológicas de mayor interés.**

Específicamente, en el diseño de la estrategia de búsqueda se utilizaron palabras clave y conceptos relacionados a las diversas formas de referir desalinización como se muestra a continuación, y como el volumen era tan elevado se restringió la búsqueda a la identificación de las palabras clave en el campo bibliográfico de las *Reivindicaciones* o *Claims (CL)* para cerciorarnos de la pertenencia de la búsqueda en el área de interés, siendo el volumen de información arrojado por la estrategia **870 familias de patentes (2.813 documentos de patente)**⁴⁷.

Estrategia de búsqueda:

CL=(((desalin or dessalement or desalting or desalure) near3 (s?stem* or plant or ussine)) or (Entsalzungsanlage)) and ((sea ADJ water) or (agua ADJ salada) or (agua near2 mar) or (seewasser) or (seawater) or (eau ADJ de ADJ mer))) AND DP=(20000101);⁴⁸*

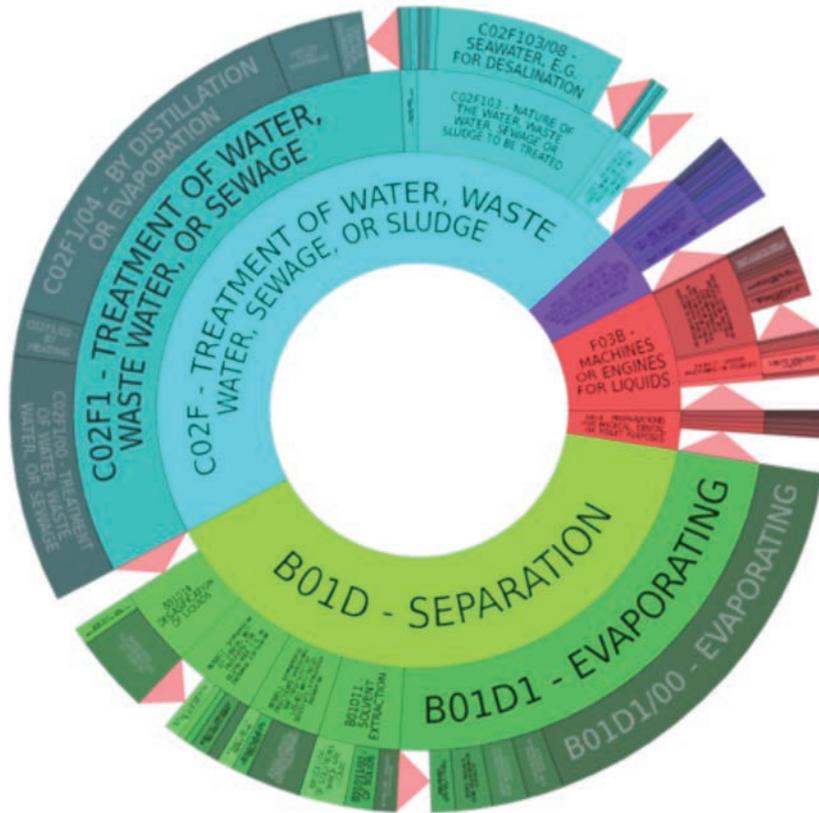
Por otro lado, en el mapa de términos (Véase Figura 5) se explora la estructura de coherencia de la estrategia de búsqueda empleada, donde destacan palabras clave relacionados a la materia prima de las desaladoras como son “Salt water” (Agua salada) y “L’eau de mer” (Agua de mar) y “Fresh Water”

⁴⁷ Se denomina familia de patentes a los documentos de patente publicados en diferentes países relacionados con la misma invención. Para los países miembros del Convenio de la Unión de París, estos documentos pueden ser identificados a través de los datos de la primera solicitud en base a la cual se invoca el derecho de prioridad en las solicitudes posteriores.

⁴⁸ CL=Claims/Reivindicaciones DP=Publication Date/Fecha de Publicación



FIGURA 6
Mapa por CIP (2000-2014)



Fuente: Elaboración del sistema a partir de bases de datos de patentes utilizada

1. Análisis bibliométrico de las publicaciones

A continuación se presentan algunos indicadores que permiten evaluar la tendencia en el área, precisando las entidades de mayor publicación, conferencias y congresos de interés y países de mayor publicación mediante el análisis bibliométrico del universo de los **815 artículos científicos** de los cuales un 48% se han publicado en los últimos 5 años, lo que denota el elevado interés que presenta el área (véase figura 7).

Se aprecia en la figura 7 una tendencia variable pero creciente, con un promedio de publicación de 78 documentos por año en los últimos cinco años, sin tomar en cuenta el año 2014, puesto que no ha concluido. De manera más específica, se realizó un filtro de este universo recopilado con el fin de obtener aquellos documentos que estén relacionados a tecnologías del agua, obteniéndose 140 artículos científicos. En la figura 8 se puede apreciar la evolución de estos 140 documentos, observándose una tendencia variable pero creciente, con un máximo de publicaciones 17 publicaciones científicas en el 2013.

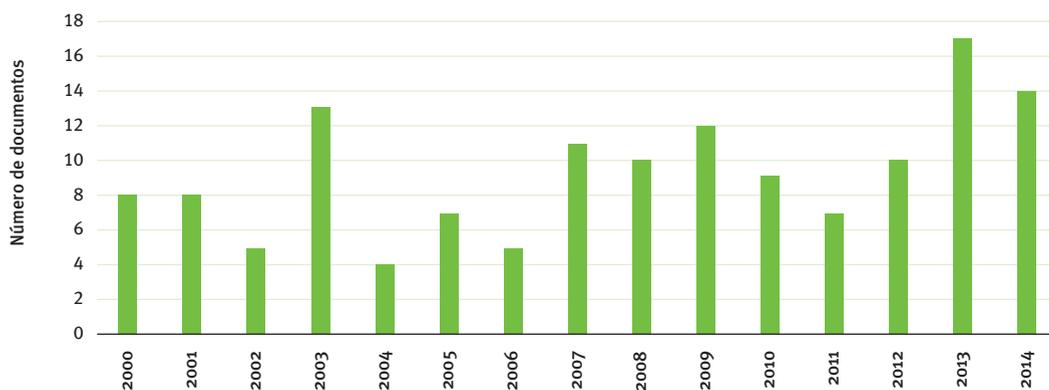


FIGURA 7
Evolución de los documentos científicos (2000-2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

FIGURA 8
Evolución de los documentos científicos (2000-2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

A continuación se presentan algunos indicadores bibliográficos que nos permiten extraer información general del conjunto de publicaciones, por ejemplo, en la siguiente tabla se reseña el número de artículos generados por país, donde Estados Unidos, Reino Unido, Australia y China han generado el 48% de los artículos. En la quinta columna titulada N^o publicaciones/Editorial se refiere a los países donde se ubican las organizaciones editoriales, de las cuales destacan Estados Unidos, Reino Unido y Holanda que aglutinan el 80% de las editoriales.

Los países reseñados en la Tabla 2 han generado aproximadamente el 65% de las publicaciones por país de origen de los autores, y un 100% por la nacionalidad de las editoriales. Cabe destacar que de los 140 documentos recopilados, un 58% corresponden a artículos de revistas técnicas, un 29% provienen de



artículos de conferencias y congresos del área, mientras que el restante 13% corresponde a capítulos de libros, revisiones y otro material editorial.

TABLA 2
Principales países publicadores y sede de las editoriales

#	Países	Nº publicaciones ¹⁹	%	Nº publicaciones / Editorial	%
1	ESTADOS UNIDOS	26	19%	47	34%
2	REINO UNIDO	14	10%	36	25%
3	HOLANDA	3	2%	31	22%
4	SUIZA	1	1%	6	4%
5	AUSTRALIA	16	11%	5	4%
6	ALEMANIA	7	5%	5	4%
7	CHINA	11	8%	3	2%
8	CANADA	6	4%	3	2%
9	POLONIA	4	3%	2	1%
10	ITALIA	2	1%	1	1%
11	BELGICA	1	1%	1	1%
TOTAL		91	65%	140	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

Seguidamente, en la tabla 3 se presentan las principales editoriales, donde en las primeras posiciones se encuentran **ELSEVIER**, editorial líder en publicaciones técnicas en medicina y ciencias de la salud con más de 6.000 libros y 2.000 revistas científicas, y **SPRINGER**, editorial global que publica libros, libros electrónicos y publicaciones científicas relacionados con ciencia, tecnología y medicina, acumulando un 38% de las publicaciones entre estas dos editoriales.

TABLA 3
Principales editoriales

Nº	EDITORIALES	Nº DOCUMENTOS
1	ELSEVIER SCIENCE LTD	36
2	SPRINGER	17
3	AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	16
4	WILEY-BLACKWELL	13
5	IEEE	5
TOTAL		87 (62%)

Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

¹⁹ No se han contabilizado las posibles coautorías.



En menor magnitud aparecen las editoriales americanas **AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (ACS)**, sociedad científica con sede en los Estados Unidos que apoya la investigación en el campo de la Química, y **WILEY-BLACKWELL**, la cual posee acuerdos con IEEE.

Por otra parte, centrando la atención en las revistas con mayor número de documentos publicados en el área, se aprecian títulos relacionados tanto a la gestión ambiental en general de los recursos hídricos como a áreas específicas relacionados con la planificación, tratamiento y desalación del agua. Precisamente, en la Tabla 4 destaca en primera posición la revista de la editorial ELSEVIER llamada **DESALINATION JOURNAL**, que es una revista internacional de primer nivel dedicada a la comunicación de los últimos avances en desalación incluyendo la evolución de la investigación teórica y aplicada, el desarrollo tecnológico, la industria, otros procesos osmóticos y la experiencia de los operadores y los usuarios.

 **TABLA 4**
Principales Fuentes

Nº	Fuentes	Nº Documentos
1	DESALINATION JOURNAL	7
2	WATER RESOURCES MANAGEMENT JOURNAL	5
3	ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE JOURNAL	4
4	JOURNAL OF HYDROLOGY JOURNAL	4
5	JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION	3
6	JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT	3
7	WATER INTERNATIONAL JOURNAL	3
8	WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY JOURNAL	3
9	ADVANCES IN WATER SUPPLY MANAGEMENT JOURNAL	2
10	DESALINATION AND WATER TREATMENT JOURNAL	2
11	ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT JOURNAL	2
12	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY JOURNAL	2
13	ENVIRONMETRICS JOURNAL	2
14	HYDROLOGICAL PROCESSES JOURNAL	2
15	JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION	2
16	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2
TOTAL		48 (40%)

Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

Uno de los últimos artículos publicados en esta revista es el artículo de *Das et al.* “Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination”²⁰, en el cual se reflexiona sobre el hecho de que el calentamiento global y el cambio climático están aumentando constantemente el nivel de salinidad de la tierra y el agua de mar, así como la disminución de la disponibilidad de agua dulce existente para el hogar, la agricultura y la industria. Hechos que hacen que sea urgente desarrollar una

²⁰ Das, R ; Ali, ME ; Abd Hamid, SB ; Ramakrishna, S ; Chowdhury, ZZ; “Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination” (2014) . DESALINATION | 336: 97-109



tecnología de tratamiento de agua adecuada no sólo a eliminar los macro, micro y nano- contaminantes sino también lleve a cabo la desalación del agua en un grado significativo. **Los nanotubos de carbono (Carbon nanotubes, CNT) se presentan como una de las promesas en este campo. El bajo consumo de energía, las propiedades antiincrustantes y autolimpiantes han hecho que las membranas CNT sean una alternativa fuerte a las membranas convencionales.**

Otra de las revistas dedicadas a la desalinización destacadas en la tabla es la titulada **DESALINATION AND WATER TREATMENT JOURNAL**. Esta publicación está dedicada a la publicación de artículos sobre la investigación y aplicación de la tecnología de desalinización, consideraciones ambientales y energéticas, la gestión integrada del agua, la reutilización del agua, aguas residuales y otros temas relacionados.

En segundo lugar destaca la revista de la editorial SPRINGER llamada **WATER RESOURCES MANAGEMENT**, un foro internacional y multidisciplinario para la publicación de contribuciones originales y el intercambio de conocimientos y experiencias sobre la gestión de los recursos hídricos. En particular, la revista publica contribuciones sobre evaluación de recursos hídricos, desarrollo, conservación y control, haciendo hincapié en las políticas y estrategias.

Uno de los últimos artículos publicados en esta revista corresponde a Babel et al. *“Incorporating Future Climatic and Socioeconomic Variables in Water Demand Forecasting: A Case Study in Bangkok”*²¹, en el cual se trató de predecir la demanda de agua para la Autoridad Metropolitana de Abastecimiento de Agua (Metropolitan Waterworks Authority, MWA) en Tailandia utilizando datos climáticos y socioeconómicos futuros. En consecuencia, se desarrollaron modelos utilizando Redes Neuronales Artificiales (RNA).

En el artículo, la demanda de agua se prevé en dos escalas: anuales y mensuales, hasta el año 2030, con una buena precisión de la predicción. **El análisis de sensibilidad de las variables explicativas reveló que las variables climáticas tienen muy poco efecto sobre la demanda anual de agua. Sin embargo, la demanda mensual es afectada significativamente por las variables climáticas, y en consecuencia por el cambio climático, lo que confirma la idea de que el cambio climático es una limitación importante para garantizar la seguridad del agua para el futuro.** Debido a que la demanda mensual de agua se utiliza en el diseño de componentes de almacenamiento del sistema de abastecimiento, y la planificación de las transferencias entre cuencas, **los resultados de este estudio proporcionan a la MWA una referencia útil para diseñar el plan de abastecimiento de agua para los próximos años.**

En la línea de la anterior revista también trabajan otras de las principales fuentes de información como son la **JOURNAL OF THE AMERICAN RESOURCES ASSOCIATION, JOURNAL OF WATER REOURCES PLANNING AND MANAGEMENT Y ADVANCES IN WATER SUPPLY MANAGEMENT.**

A continuación, en la tabla 5 se presentan las principales organizaciones con mayor número de artículos en el área. Cabe destacar como un **47% de las 21 principales organizaciones** presentadas en la tabla **son de origen Europeo**, donde destacan las entidades del **Reino Unido, España, Dinamarca, Suecia y Grecia**, resaltando un alto nivel de publicaciones en los últimos años por parte de dichas entidades. Siendo en su mayoría Universidades e institutos de Investigación especializados en el sector.

²¹ Babel, MS; Maporn, N; Shinde, VR *“Incorporating Future Climatic and Socioeconomic Variables in Water Demand Forecasting: A Case Study in Bangkok”* (2014) WATER RESOURCES MANAGEMENT | 28 (7): 2049-2062



TABLA 5
Principales organizaciones

#	Organizaciones	Nº documentos	% Total	% 11-13	País de origen
1	UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)	6	4%	33%	EE.UU.
2	CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES	4	3%	25%	CHINA
3	COMMONWEALTH SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO)	4	3%	50%	AUSTRALIA
4	FLORIDA INTERNATIONAL UNIVERSITY	3	2%	0%	EE.UU.
5	INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY (IIT)	3	2%	0%	INDIA
6	UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA	3	2%	0%	EE.UU.
7	UNIVERSITY OF WITWATERSRAND	3	2%	33%	SUDÁFRICA
8	UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA	3	2%	100%	ESPAÑA
9	UNIVERSITY OF SINGAPORE	3	2%	50%	SINGAPUR
10	UNIVERSITY OF AARHUS	2	1%	100%	DINAMARCA
11	UNIVERSITY OF AL JOUF	2	1%	0%	ARABIA SAUDI
12	UNIVERSITY OF ARISTOTLE THESSALONIKI	2	1%	0%	GRECIA
13	UNIVERSITY OF CRANFIELD	2	1%	50%	REINO UNIDO
14	UNIVERSITY OF LUND	2	1%	0%	SUECIA
15	UNIVERSITY OF ADELAIDE	2	1%	0%	AUSTRALIA
16	UNIVERSITY OF BIRMINGHAM	2	1%	0%	REINO UNIDO
17	UNIVERSITY OF GLASGOW	2	1%	0%	REINO UNIDO
18	UNIVERSITY OF LEEDS	2	1%	0%	REINO UNIDO
19	UNIVERSITY OF NEW S WALES	2	1%	50%	REINO UNIDO
20	UNIVERSITY OF QUEENSLAND	2	1%	100%	AUSTRALIA
21	UNIVERSITY OF STRATHCLYDE	2	1%	33%	REINO UNIDO
TOTAL		56	40%		

Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de publicaciones científicas

Entre las principales organizaciones destacan entidades de origen **Norteamericano, Australiano, Chino, Indio y Sudafricano**, resaltando en primera **UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)**, la cual que es una unidad ejecutiva del Gobierno Federal de EE.UU. cuyo propósito es desarrollar y ejecutar políticas de ganadería, agricultura y alimentación, para el periodo consultado han publicado **6 artículos**, donde un **33% de ellos han sido publicados en los últimos 3 años**.

Específicamente entre las líneas de investigación de **USDA** mencionan los **sistemas de riego programados**, para los cuales se realiza una aplicación de la cantidad, las frecuencias espaciales y temporales esta-



blecidas del agua de acuerdo a las necesidades específicas de los cultivos. Dado que la disponibilidad del agua para el riego se está volviendo cada vez más y más limitada en el oeste de los EE.UU., y otros lugares en todo el mundo, esta tendencia a la baja se está acelerando. **Esta situación fuerza a cambios importantes en los aspectos físicos, y de gestión, así como el rediseño de la distribución del agua y sistemas de riego en las fincas.**

En cuanto a la **CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES** que ocupa la segunda posición, es una institución de investigación agrícola y de desarrollo de las ciencias básicas y aplicadas, así como de tecnologías novedosas y aplicaciones avanzadas. Esta organización ha realizado múltiples **investigaciones sobre modelos predictivos de gestión de recursos hídricos.**

Por otra parte, la institución australiana que ocupa la tercera posición **COMMONWEALTH SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO)** ha publicado 4 artículos en el área, de los cuales el 50% ha sido publicado en los últimos 3 años. Entre sus líneas más actuales destacan las evaluaciones a gran escala de la disponibilidad y uso actual y futuro del agua, utilizando a la ciudad de Tasmania como caso de estudio.

Cabe destacar la participación de la **UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**, que ha publicado todos sus artículos en los últimos años, resaltando el interés actual de las investigaciones sobre las tecnologías del agua por parte entidad española. Por ejemplo, entre sus artículos cabe resalta el realizado por Uche et al. *“Water Demand Management from an Exergy Perspective. Application to a Spanish River”*²², donde se analizan las diferentes opciones de gestión de la demanda de agua para evaluar las pérdidas monetarias asociadas en una región. Se simularon las demandas de agua de diversas prioridades para comparar su costo. La evaluación se realizó mediante la aplicación de la metodología *“Physical Hydraulics”* (PH), en base a una propiedad termodinámica llamada exergía, que evalúa la energía disponible contenida en un flujo de agua, incluyendo sus características físicas y químicas. Se tomó como caso de estudio un área representativa situada en el río Segre, afluente del río Ebro (España).

Por último, cabe destacar el artículo de la universidad sudafricana **UNIVERSITY OF WITWATERSRAND** *“Current Trends in Water Resources Research”*²³. La investigación en ingeniería de recursos hídricos trata de abordar los desafíos relacionados con:

1. Cómo el agua en cantidad y calidad suficiente puede estar disponible para cumplir con diversos sectores que compiten demandas.
2. Cómo el desarrollo y la explotación de los recursos se pueden llevar a cabo de una manera sostenible para que sus beneficios se extiendan a las generaciones futuras.
3. Las medidas de adaptación y mitigación que se pueden poner en marcha para minimizar los impactos del cambio climático global.

Este trabajo presenta las tendencias en cuatro áreas de investigación en ingeniería de recursos hídricos, que se centran en los cambios de paradigma en el abastecimiento de agua y saneamiento, modelado

²² Uche, J., Martínez, A., & Carrasquer, B. *“Water Demand Management from an Exergy Perspective. Application to a Spanish River”* (2013). CHEMICAL ENGINEERING, 34.

²³ Taigbenu, A. E. *“Current Trends in Water Resources Research”* (2012). ADVANCED MATERIALS RESEARCH, 367, 779-793.



integrado con el fin de dar una expresión cuantitativa a la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), logrando con ello un espacio más específico para la toma de decisiones sobre, las emergentes tecnologías de tratamiento de aguas y avances de la investigación en las medidas de adaptación al cambio climático .

En el apartado cinco se muestra un breve análisis con más a detalle de **las tendencias recopiladas sobre tecnologías del agua enfocadas a la Desalinización, Calidad del agua, Tratamientos de aguas residuales, Gestión del agua de riego y eficiencia energética de las instalaciones.**

A continuación el análisis de los documentos de patentes relacionados a **desalinización**, como un ejemplo de la información a extraer de los mismos.

2. Analisis bibliométrico de patentes

Dado que los recursos hídricos son limitados, las tecnologías basadas en la desalinización del agua de mar y el bombeo de agua a distancia, pueden paliar de alguna forma la demanda de agua que existe actualmente, pero esto por sí solo no es la solución. Teniendo presente que además de estas tecnologías, es necesario gestionar bien el agua, evitando pérdidas o despilfarros que existen, por ejemplo, en las canalizaciones de riego, o en las redes de abastecimiento, bien por estar obsoletas, bien por no tener un mantenimiento adecuado. Asimismo, es necesario un sistema de reciclado y reutilización de aguas tanto en la agricultura como en la industria donde la demanda de agua es tan elevada.

La desalación de agua de mar ha progresado notablemente en los últimos años, hasta el punto de que se habla ya de cantidades desaladas, puestas al servicio del abastecimiento humano o para riego, impensables hace tan sólo unas décadas. La geografía de la desalación se extiende por todo el mundo, y tiene especial importancia en países como Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Estados Unidos y Europa, con especial interés en España, donde desde los años 1970 se viene utilizando, primero en Canarias, pasando después a Baleares, la Península, Murcia, Ceuta y últimamente Melilla, alcanzando una producción aproximada de 1.200.000 m³/día, correspondiendo 700.000 m³/día a la desalación de agua de mar y el resto de agua salobre (agua subterránea).

Específicamente, en Murcia los períodos de sequía impulsaron la construcción de pequeñas plantas desaladoras en numerosos puntos de la región para usos agrícolas, sobre todo para cultivos intensivos de hortalizas y frutales, estando concentradas en la zona del Campo de Cartagena, Mazarrón y Águilas. A menudo se trata de pequeñas desaladoras que complementan las necesidades hídricas. El aumento del consumo en la región de Murcia y, en general en la cuenca del Segura, ha proporcionado un considerable impulso a las desaladoras.

A continuación se presentan algunos indicadores que permitirán detallar a grandes rasgos la tendencia desde la perspectiva de los documentos de patentes en el área de **tecnología de desalinización de agua marina**, considerado uno de los recursos hídricos alternativos más importantes, mediante indicadores referidos a delinear el estado de la tecnología, los países, regiones y entidades generadoras de innovaciones, así como los principales mercados de interés presentando un breve análisis de los mismos en el área.



2.1. Evolución tecnológica

La evolución del número de solicitudes de patentes en el tiempo determina la evolución del interés en una tecnología a lo largo del tiempo. También permite identificar la fase del ciclo de vida del área tecnológica concreta, que favorecerá diferentes tipos de innovación en cada una de sus fases:

- Las **fases iniciales de un mercado**, que coinciden con el ciclo de vida de **adopción de una tecnología y desarrollo**, suelen ir unidas a la innovación más radical, de aplicación o de producto. La base de tecnologías existentes es pequeña, pero la aparición de una tecnología de “ruptura” sienta las bases de numerosos desarrollos posteriores;
- Las fases medias de un mercado, que coinciden con la **etapa de madurez**, se caracterizan por la aparición constante de innovaciones incrementales o de procesos, que perfeccionan los desarrollos previos;
- Finalmente, durante las **fases de declive y fin de ciclo**, la aparición de nuevos desarrollos se estanca, y las empresas sólo pueden escapar de la “*comoditización*” de su mercado reinventándose, innovando en su modelo de negocio o alterando la estructura del sector, probablemente a través de una nueva innovación de “ruptura” que vuelva a iniciar el ciclo.

Este indicador muestra cómo ha evolucionado la tecnología a lo largo del tiempo, en la siguiente figura 9 se observan dos variables: el año de aplicación de un desarrollo y el número de solicitudes por año, lo que permite evaluar la evolución de los desarrollos en el periodo de tiempo considerado, de tal forma que **55% de las familias de patentes**²⁴ (de un **total de 870 familias de patentes**) se han publicado en los últimos 3 años, lo cual denota el gran interés reciente en el área, teniendo en cuenta que el periodo de consulta ha sido 14 años.

Se infiere por la evolución del número de solicitudes anuales de las familias de patentes que **es un área en desarrollo** dada la tendencia creciente continua, aunque los datos de los años 2012, 2013 y 2014 deben tenerse en cuenta con reservas, ya que pueden ser mayores los valores. Primero porque aún no ha concluido el año 2014, y adicionalmente porque hay un periodo de tiempo oculto que normalmente transcurre desde la solicitud de una patente hasta su publicación que oscila entre los 18 meses y 2 años.

²⁴ Se denomina familia de patentes a los documentos de patente publicados en diferentes países relacionados con la misma invención. Para los países miembros del Convenio de la Unión de París, estos documentos pueden ser identificados a través de los datos de la primera solicitud en base a la cual se invoca el derecho de prioridad en las solicitudes posteriores.



FIGURA 9
Evolución de las familias de patentes sobre desalinización (2000-2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes

2.2. Posicionamiento geoestratégico

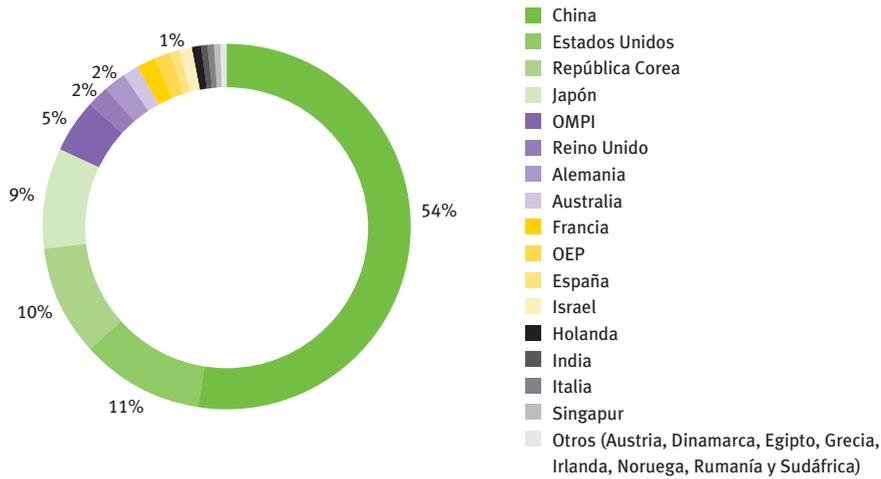
El análisis de la extensión geográfica de las patentes pertenecientes a un área técnica concreta permite analizar tanto el impacto de la tecnología como su mercado potencial. Esto se lleva a cabo mediante un doble análisis geográfico, que va desde una aproximación a las regiones generadoras de las innovaciones, hasta las regiones de publicación de esas patentes generadas, que explique el flujo de la tecnología.

En las siguientes tablas y figuras se resume la actividad de generación y publicación de los países/oficinas más activas. En la Figura 10 se observa como **China ha sido responsable de la generación del 54% del total de las solicitudes**, seguido de **EE.UU. con 11% de las innovaciones** y otros países de la región asiática como **República de Corea y Japón con un 10% y un 9% respectivamente**. En suma destaca la **región Asiática como líder en la generación de invenciones en el área, con casi tres cuartos del total**.

En cuanto a la presencia europea, destacan las oficinas de **Reino Unido, Alemania, Francia, España, Holanda, Italia, Austria, Dinamarca, Grecia, Irlanda, Noruega y Rumania**, así como la **Oficina Europea de Patentes (OEP)**, que acumulan un **10% de las solicitudes**.



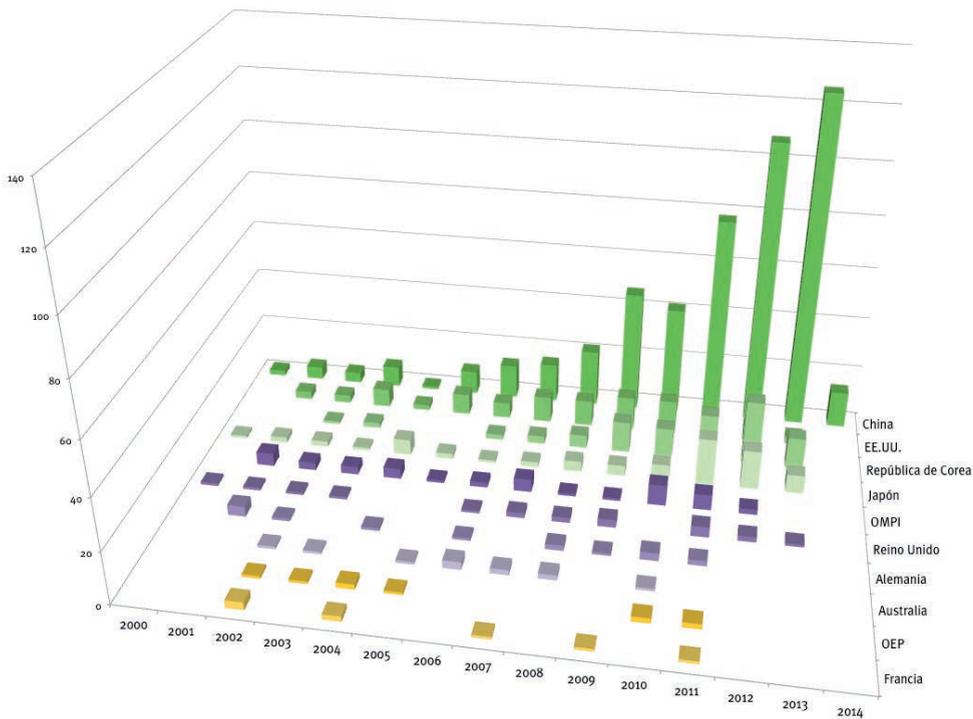
FIGURA 10
Principales países en los que se han solicitado las familias de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes

En la figura 11 se muestra la evolución de las solicitudes por país, y se observa como China posee una tendencia creciente, con una actividad **acusada en los últimos 3 años, habiendo alcanzado un máximo de 126 solicitudes en el año 2013**. El resto de los países reflejados en la gráfica muestran una tendencia irregular y discontinua con valores muy bajos de solicitud.

FIGURA 11
Evolución de las familias de patentes por los principales países de prioridad



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes



Para el análisis de los países a los que se han extendido (mercados de interés) las **870 familias de patentes** (que han generado documentos de patente), se toma como la información de referencia aquellos países en los que se han publicado documentos de patente diferentes al país donde se originó el desarrollo, y por lo tanto, aquellos mercados en los que los solicitantes muestran interés en proteger y reclamar los derechos de sus desarrollos.

Este indicador permite detectar tanto los mercados geográficos que presentan mayor potencial y saturación comercial para los solicitantes como la estrategia de protección de los distintos competidores. Específicamente, en la Tabla 6 se muestran los 22 países y oficinas internacionales en los que se ha solicitado extender la protección, **que representan el 96% de los 2.813 documentos de patente**. En la tabla se aprecia el número de solicitudes de patentes por país y el porcentaje en cada uno con respecto al total, el porcentaje de solicitudes de patentes publicadas en los últimos años, y las principales empresas u organizaciones con mayor número de solicitudes en ese país u oficina.

Es importante destacar que **un 19% del total se ha sido publicado a través de la vía internacional (OMPI) y la Oficina Europea de Patentes y Marcas (OEP)**, lo cual denota el interés global que despierta esta tecnología.

Los solicitantes que han decidido **extender la protección** de sus invenciones lo han hecho **principalmente en los mercados de China, Estados Unidos, Japón, Australia y República de Corea que suman un 80% del total**, donde los **países asiáticos** destacan por un **porcentaje mayor al 40% de publicaciones en los últimos tres años**.

Desde una perspectiva regional el **mercado asiático representa el 46%** versus el **mercado americano con el 21%**. Europa posee el **18%** del total que se expresa a través de la **Oficina Europea de Patentes y Marcas (OEP)** y oficinas de países como **Reino Unido, Alemania, España, Austria, Francia, Noruega y Portugal**, donde estos últimos países tienen una **participación igual o menor al 3% del total de las patentes**.

Por último, destacar de tabla como entre las principales entidades con mayor número de patentes figuran empresas asiáticas cuya estrategia de extensión es exclusivamente en sus países o en la región, tal es el caso de **CHINA SHENHUA ENERGY CO LTD, BEIJING GUOHUA ELECTRIC POWER LTD y CHINESE ELECTRONICS ENG DESIGN INST**, entre otras, versus las empresas norteamericanas y alemanas como **CALERA CORP, WATER STANDARD CO LLC y SIEMENS WATER TECHCORP** que muestran una estrategia internacional en contraposición a la observada con las entidades asiáticas, información que se detalla en el siguiente apartado sobre el liderazgo tecnológico.²⁵

²⁵ Los números entre corchetes representan el número de solicitudes de patentes que ha presentado esa entidad en dicho país.



TABLA 6
Países y Oficinas de publicación

#	País Publicación	Nº patentes	%Total	% 11-13	Principales Entidades ²
1	CHINA	739	26%	59% OF 739	CHINA SHENHUA ENERGY CO LTD [50]; BEIJING GUOHUA ELECTRIC POWER LTD [34]; CHINESE ELECTRONICS ENG DESIGN INST [30]
2	EE.UU.	437	16%	34% OF 437	CALERA CORP [69];
3	OMPI	268	10%	24% OF 268	CALERA CORP [34]; SIEMENS WATER TECH CORP [10]; HITACHI LTD [10]
4	OEP	241	9%	29% OF 241	CALERA CORP [40]; IDE TECHNOLOGIES LTD [11]
5	JAPÓN	185	7%	45% OF 185	HITACHI LTD [29]; TOSHIBA KK [14]; EBARA CORP [14]
6	AUSTRALIA	169	6%	24% OF 169	CALERA CORP [39];
7	REPÚBLICA DE COREA	164	6%	59% OF 164	KOREA INST ENERGY RES [29]; DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENG CO [12]; DOOSAN HEAVY IND&CONSTR CO LTD [10]; SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [10]
8	REINO UNIDO	90	3%	14% OF 90	CALERA CORP [20]; IDE TECHNOLOGIES LTD [6]; FINCH INTERNATIONAL LTD [6];
9	CANADÁ	79	3%	14% OF 79	CALERA CORP [30];
10	ALEMANIA	60	2%	12% OF 60	AERODYN ENERGIESYSTEME GMBH [7]; BABCOCK GMBH [5]
11	ISRAEL	42	1%	26% OF 42	CALERA CORP [5]; SIEMENS WATER TECHCORP [4]; WATER STANDARD CO LLC [4]
12	ESPAÑA	39	1%	31% OF 39	WATER STANDARD CO LLC [4]; IDE TECHNOLOGIES LTD [2]; DESALACION INTEGRAL SYSTEMS SL [2]; UNIV CATALUNYA POLITECNICA [2]; AERODYN ENERGIESYSTEME GMBH [2]; GENERACIONES ELECTRICAS ALTERNATIVAS [2]; ADIQUIMICA SA [2];
13	MÉXICO	31	1%	26% OF 31	CALERA CORP [4]; SIEMENS WATER TECH CORP [3];
14	TAIWÁN	25	1%	24% OF 25	CALERA CORP [12];
15	AUSTRIA	24	1%	0% OF 24	MARKOPULOS JOHANNES [3]; TORAY INDUSTRIES [2]; AERODYN ENERGIESYSTEME GMBH [2]
16	BRASIL	21	1%	38% OF 21	WATER STANDARD CO LLC [3];
17	FRANCIA	19	1%	16% OF 19	SIDEM SOC INT DESSALEMENT [3]; FRANCO CELL SAS [3]
18	NORUEGA	17	1%	0% OF 17	GARFIELD INTERNAT INVEST LTD R [3]; TOYA HOLDING BV [2]; WATER STANDARD CO LLC [2];
19	SUDÁFRICA	13	<1%	0% OF 13	WATER STANDARD CO LLC [3];
20	SINGAPUR	11	<1%	64% OF 11	SIEMENS WATER TECH CORP [3]; UNIV KINGSTON QUEEN [2]; WATER STANDARD CO LLC [2];
21	RUSIA	10	<1%	0% OF 10	ITN NANOVATION AG [2];
22	PORTUGAL	10	<1%	0% OF 10	TORAY INDUSTRIES [2]
TOTAL		2.694	96%		

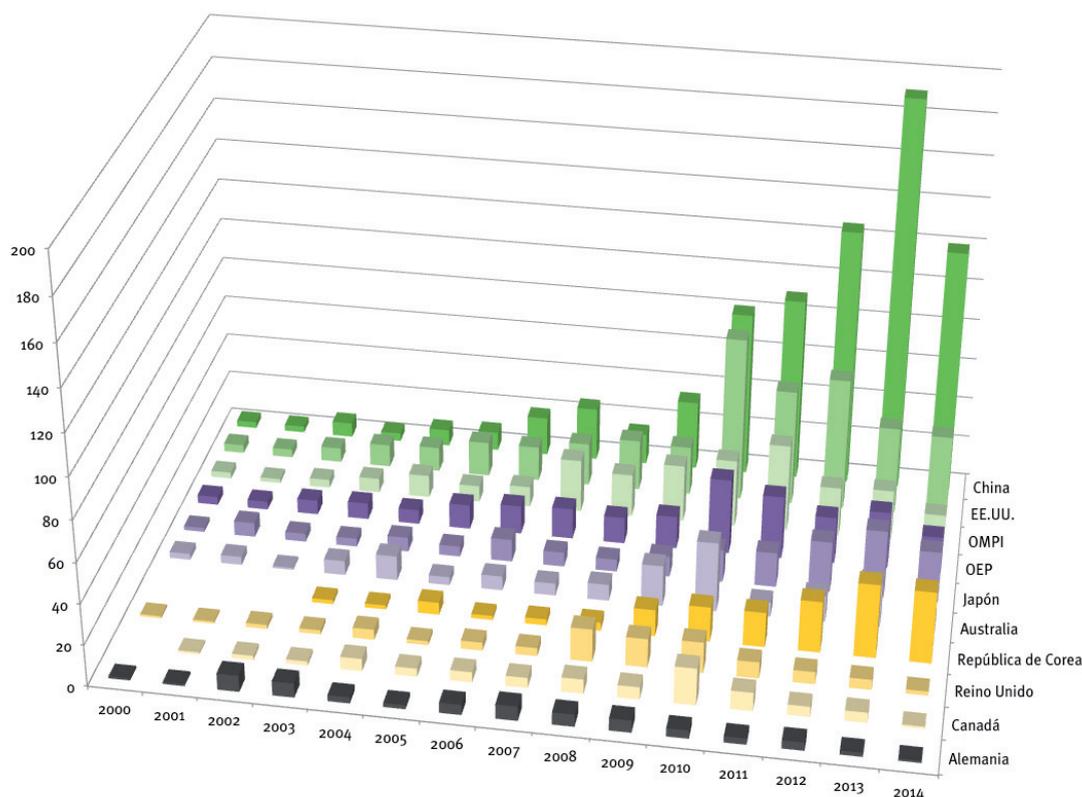
Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes



En España resalta la participación de diferentes empresas nacionales como **DESALACION INTEGRAL SYSTEMS SL** (Murcia)²⁶ y **GENERACIONES ELECTRICAS ALTERNATIVAS S.L.** (Toledo), así como de una entidad académica, la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA**. Específicamente, la empresa **GENERACIONES ELECTRICAS ALTERNATIVAS S.L.**, posee la patente **ES2355022B1** “*Sistema para producción y almacenamiento de agua dulce*” publicada en 2012, donde protegió un sistema para la **producción y el almacenamiento de agua dulce a partir de agua de mar**, que consta de un dispositivo flotante montado en la planta de desalinización, una cabina con equipo de bombeo, motores y un sistema operativo. El sistema de generación de energía se monta en la cubierta, donde el **sistema de generación de energía utiliza la energía solar o la energía eólica para el funcionamiento de la planta de desalinización y otros equipos**.

En la Figura 12 se puede observar cómo ha evolucionado anualmente el número de publicaciones de las diez primeras oficinas de países u oficinas internacionales, destacando en primera posición el liderazgo de China, con una tendencia creciente continúa en los últimos años, la cual es coherente con su nivel de solicitudes recientes. Igualmente, la República de Corea y Japón presentan una tendencia creciente, aunque no a los niveles de China, versus una tendencia decreciente en países como EE.UU., Canadá, Reino Unido y la misma oficina de la OMPI, a partir del año 2010.

FIGURA 12
Evolución de la distribución de las patentes por país de publicación



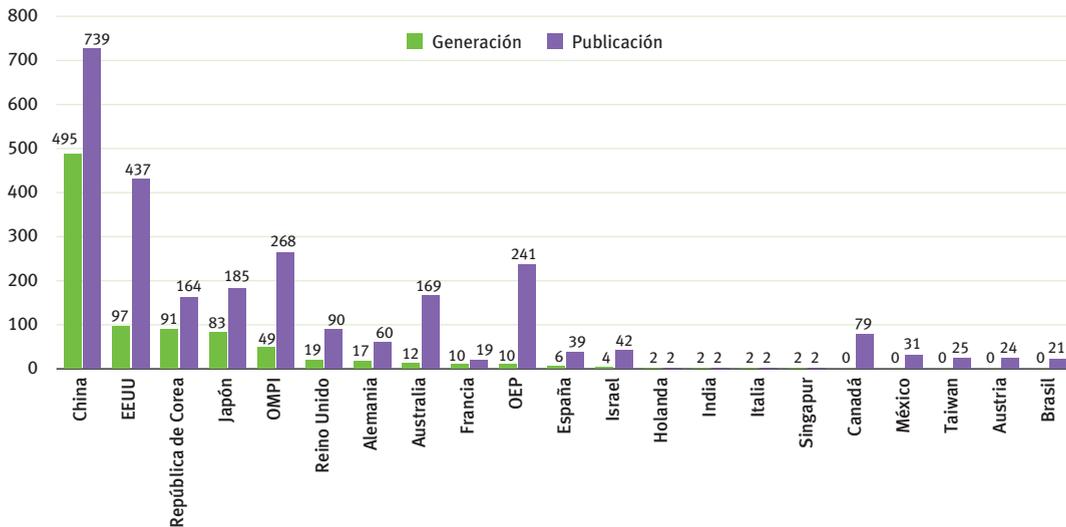
Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes

²⁶ En disolución actualmente.



Finalmente, en la Figura 13 se resume la información referente a los principales países de generación frente a la extensión, donde destaca el liderazgo absoluto de China y EE.UU. no solo como principales países de generación sino como mercados de interés, seguido de República de Corea, Japón, Australia, Canadá, México, Taiwán, Austria y Brasil, siendo estos mercados secundarios que presentan un gran interés aunque en menor medida que los líderes.

FIGURA 13
Países de Generación/Publicación



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes

2.3. Liderazgo tecnológico

Mediante este indicador se identifica el entorno de competidores y su posición relativa, que permite evaluar a los solicitantes más prolíficos en el área, ya que se entiende que éstos serán los que soliciten mayor número de patentes. En la siguiente tabla se presentan los principales solicitantes de patentes, donde se destaca no solo el número de patentes de cada uno de los solicitantes, sino el porcentaje con respecto al total de solicitudes recopiladas y de las innovaciones publicadas en los últimos 3 años, así como el país donde extendieron las solicitudes de patentes.

En el campo de la propiedad industrial e intelectual sobre tecnologías del agua, el análisis llevado a cabo a través del universo de documentos recopilados nos ofrece un ranking de las principales empresas que protegen sus invenciones en el área. En la Tabla 7 se presenta un listado con los **14 principales solicitantes, los cuales en su mayoría son empresas**, a excepción de dos institutos de investigación como son el instituto coreano **KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH** y el chino **CHINESE ELECTRONICS ENG DESIGN INSTITUTE**.



TABLA 7
Listado de principales solicitantes

#	Solicitantes	Nº Patentes	% Total	%11-13	País u Oficinas Publicación
1	CALERA CORP	297	11%	14% OF 297	EE.UU. [69]; OEP [40]; AUSTRALIA [39]
2	WATER STANDARD CO LLC	92	3%	3% OF 92	EE.UU. [22]; OMPI [8]; AUSTRALIA [7]; OEP [7]
3	SIEMENS WATER TECHNOLOGIES CORP	67	2%	37% OF 67	OMPI [10]; EE.UU. [9]; OEP [8]
4	HITACHI LTD	61	2%	79% OF 61	JAPÓN [29]; OMPI [10]; TAIWÁN [5]
5	IDE TECHNOLOGIES LTD	57	2%	65% OF 57	OEP [11]; OMPI [8]; EE.UU. [8]
6	GENERAL ELECTRIC CO	56	2%	45% OF 56	EE.UU. [14]; OEP [9]; CHINA [7]
7	CHINA SHENHUA ENERGY CO LTD	50	2%	38% OF 50	CHINA [50]
8	KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH	36	1%	72% OF 36	REPÚBLICA DE COREA [29]; OEP [3]; EE.UU. [2]
9	BEIJING GUOHUA ELECTRIC POWER LTD	34	1%	56% OF 34	CHINA [34]
10	AERODYN ENERGIESYSTEME GMBH	32	1%	0% OF 32	ALEMANIA [7]; JAPÓN [4]; OEP [4]; REPÚBLICA DE COREA [4]; EE.UU. [4]
11	EBARA CORP	32	1%	88% OF 32	JAPÓN [14]; EE.UU. [7]; CHINA [6]
12	TOSHIBA KK	32	1%	44% OF 32	JAPÓN [14]; EE.UU. [6]; CHINA [3]; OMPI [3]
13	CHINESE ELECTRONICS ENG DESIGN INST	30	1%	100% OF 30	CHINA [30]
14	BABCOCK BORSIG STEINMULLER GMBH	28	1%	57% OF 28	OEP [7]; ALEMANIA [5]; JAPÓN [5]
TOTAL		852	32%		

Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos de patentes

Este grupo líder de entidades representan el **32% del total de patentes** recuperadas del universo objeto de estudio, donde el **72% de ellas contempla a Estados Unidos** como uno de sus principales mercados, y todas utilizan alguna de las **vías internacionales de protección, ya sea la OMPI o la OEP**.

Es decir, las principales empresas del sector muestran un indicador coherente con el posicionamiento geoestratégico apreciado en la sección anterior donde la extensión de las invenciones se orienta a los principales mercados como **EE.UU., China, Japón y República de Corea**.

Destaca en primera posición la **empresa norteamericana CALERA CORP**, que ha desarrollado un método para desalinizar el agua, por ejemplo, agua de mar, que comprende llevar a cabo una etapa de precipita-



ción en un compuesto de carbonato, y someter el agua de alimentación a un proceso de desalinización para producir un producto de agua desalinizada y una salmuera de residuos.

En segundo lugar aparece la empresa norteamericana **WATER STANDARD CO LLC** con un **3% de las innovaciones recopiladas**. La empresa, con su línea de productos H2Ocean, es especialista en el tratamiento del agua para proporcionar soluciones innovadoras para las necesidades de agua de cultivo en el mundo. La compañía utiliza diseños patentados y procesos que emplean tecnologías probadas incorporadas en sistemas modulares de tratamiento de aguas en alta mar y en tierra a medida.

En tercera posición se encuentra **SIEMENS WATER TECHNOLOGIES CORP**, filial de Siemens AG, empresa multinacional de origen alemán que opera en los sectores industrial, energético, salud e infraestructuras y ciudades Siemens ofrece una completa cartera de soluciones integradas de automatización y accionamientos de agua y tratamiento de aguas residuales, desalinización de agua de mar, así como soluciones y gestión para la red de agua.

La empresa japonesa **HITACHI LTD** se encuentra en cuarta posición. Hitachi produce una gran variedad de electrónica de consumo y proporciona productos para otras fábricas por ejemplo circuitos integrados y otros semiconductores. Una de las últimas innovaciones de la empresa asiática en el área es su patente **US20140290247A1** “*Integrative System of Concentrating Solar Power Plant and Desalination Plant*” publicada en 2014, y en la cual desarrollan un sistema integral de una planta de energía solar y una desalinizadora. La planta solar de concentración comprende un colector de calor solar que genera un vapor sobrecalentado que se suministra al equipo de generación de energía para generar electricidad que se suministra al equipo de desalinización.

En quinta posición se localiza la empresa israelí **IDE TECHNOLOGIES LTD**, pionera y líder mundial en tecnologías del agua. La compañía se especializa en el desarrollo, ingeniería, construcción y operación de instalaciones de desalinización mejoradas y soluciones de tratamiento de aguas industriales, así como la evaporación industrial y aplicaciones de refrigeración. Además, IDE ofrece sistemas modulares como el IDE PROGREEN™, que es un método de producción de agua rentable. El sistema es capaz de ofrecer, agua limpia y asequible para una amplia variedad de industrias, incluyendo la agricultura y el agua potable industrial.

Un ejemplo de estos desarrollos es la tecnología de desalinización libre de químicos de IDE, diseñada para **producir agua potable a partir de agua de mar sin el uso de ningún producto químico**. Esta tecnología se basa en dos conceptos: medios de contacto de coagulación y limpieza de la osmosis directa.

Los medios de contacto permiten que las bacterias crezcan y se reúnen con otra materia en suspensión en flóculos que luego son filtrados fuera del agua por filtración en múltiples medios de comunicación. IDE ha desarrollado una tecnología única que aprovecha este proceso para que sea más consistente y minuciosa la eliminación de todas las bacterias presentes. El sistema de limpieza de la osmosis directa es un proceso patentado²⁷ que sirve para mantener las membranas que realizan la osmosis constantemente limpias. Los resultados reducen el consumo de energía, los requisitos de mantenimiento y supone un ahorro de costes.

²⁷ WO2012104684A1 “*Chemical free and energy efficient desalination system*”



En sexto lugar aparece **GENERAL ELECTRICS CO**, multinacional de infraestructura, servicios financieros, y medios de comunicación altamente diversificada con origen estadounidense. A través de su línea “*Water and Process Technologies*” desarrolla todo tipo de tecnologías relacionadas con el agua, en particular ofrece apoyo en todo el ciclo de vida de la planta desalinizadora ofreciendo una línea completa de productos y servicios. Los productos de General Electrics van desde componentes de pretratamiento que protegen los sistemas de desalinización de membrana mediante la eliminación de los sólidos e impurezas en suspensión, hasta los sistemas modulares de las desaladoras.

Las empresas chinas que se encuentran en séptima y novena posición **CHINA SHENHUA ENERGY CO LTD** y **BEIJING GUOHUA ELECTRIC POWER LTD** trabajan en coautoría, desarrollando **sistemas de desalinización de agua de mar que utilizan el calor del vapor de agua como fuente de energía**, para llevar a cabo el proceso a fin de reducir el coste de la desalación.

En octava posición se encuentra el instituto coreano **KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH (KIER)** que centra sus investigaciones en la mejora de los recursos energéticos. En cuanto a sus líneas de investigaciones relacionadas con la desalinización, el instituto desarrolló en 2011 una invención²⁸ referente a un **sistema de desalinización de agua de mar usando energía solar proveniente de colectores**, parecido al desarrollo de la empresa japonesa **HITACHI LTD**.

En el caso de la empresa japonesa **EBARA CORP** (undécima posición) se usa el sistema de desalinización para la obtención de energía. Una de las invenciones desarrollada por la empresa se refiere a un aparato de recuperación de energía que se puede utilizar favorablemente en un sistema de desalinización de agua de mar. El aparato de recuperación de energía está provisto de **múltiples cámaras para elevar la presión del agua de mar mediante el suministro/descarga de agua de mar concentrada**.

En general, se observa como el binomio agua y energía está presente en todas las innovaciones, siendo fundamental el **aprovechamiento energético de los recursos hídricos, a la vez que se mejora la calidad de estos recursos**.

La industria desea eficiencia tanto en el uso del agua como de la energía, aunque estas no siempre son compatibles y un programa de eficiencia hídrica y energética puede desviarse del foco primario de la industria: el asegurar agua y energía al precio más bajo. La eficiencia en el uso del agua y la energía implican individual y colectivamente diversas ventajas y desventajas, que con frecuencia incluyen un aumento de los costos a corto plazo frente a un ahorro a largo plazo, un equilibrio entre el uso del agua y de la energía, y concesiones con otros factores tales como mano de obra, transporte, coste de materias primas y ubicación del mercado

Hay muchas oportunidades para el desarrollo y gestión conjuntos de infraestructuras y tecnologías hídricas y energéticas que maximicen los beneficios mutuos y minimicen los impactos negativos. Existe una gran variedad de oportunidades para producir conjuntamente servicios energéticos e hídricos y explotar los beneficios de una sinergia, tales como plantas combinadas de energía y desalinización, plantas de cogeneración, la utilización de fuentes de agua alternativas para el enfriamiento de plantas térmicas, e incluso la recuperación de energía de aguas residuales.

²⁸ KR1109535B1 “*Evaporative Desalination System of Sea Water using Solar Energy*”

S

ANÁLISIS DE TENDENCIAS

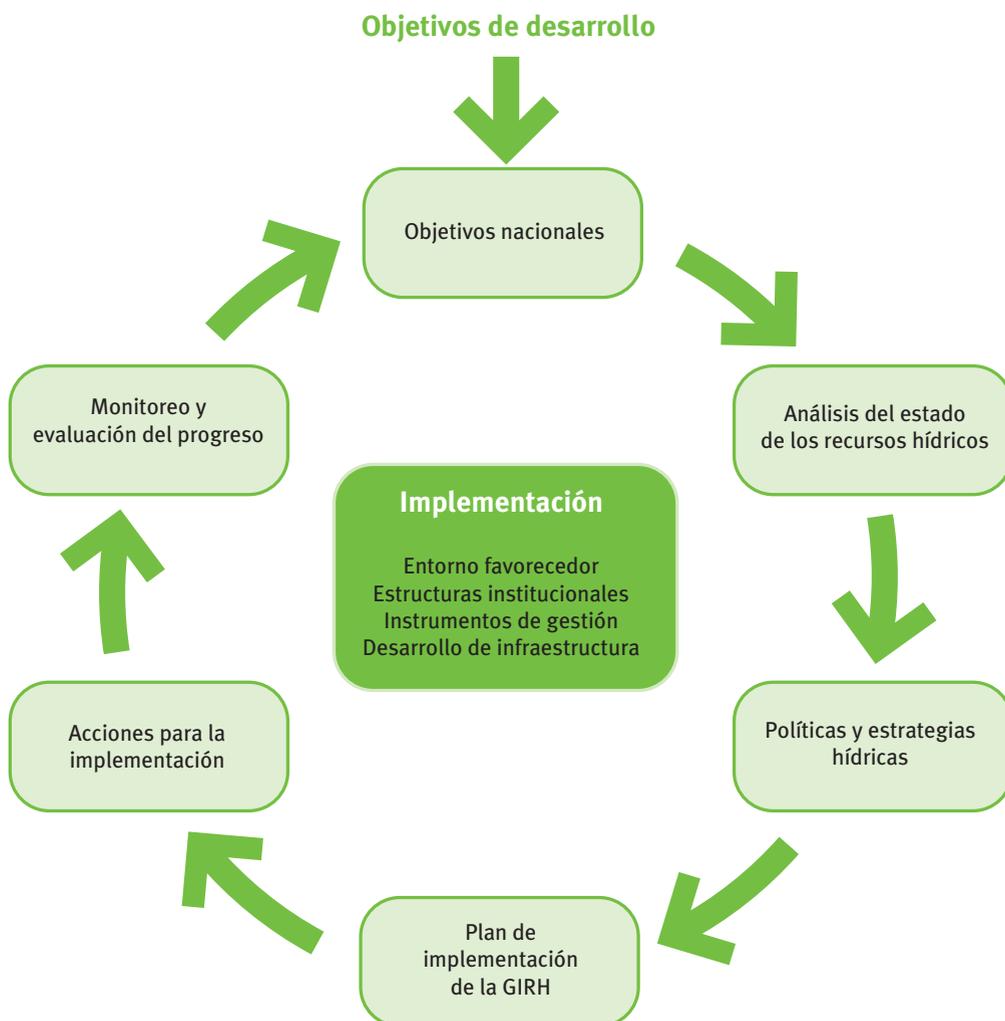




El agua es un factor determinante en el desarrollo económico y social y, al mismo tiempo, cumple la función básica de mantener la integridad del entorno natural. A pesar de ello, el agua es solo uno de los recursos naturales vitales y resulta por ello imperativo que los temas hídricos no sean tratados de forma aislada. Los gestores, tanto gubernamentales como del sector privado, han de tomar decisiones complicadas sobre la asignación del agua, y con una gran frecuencia éstos se enfrentan a una oferta que disminuye frente a una demanda creciente.

Factores como los cambios demográficos y climáticos también incrementan la presión sobre los recursos hídricos como se ha comentado en el apartado de la introducción. El tradicional enfoque fragmentado ya no resulta válido, y se hace esencial un enfoque holístico para la gestión del agua. Éste es el fundamento del enfoque para la **Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)**, aceptado ahora internacionalmente como el camino hacia un desarrollo y gestión eficiente, equitativa y sostenible de unos recursos hídricos cada vez más limitados.

FIGURA 14
Fases de la planificación e implementación de la GIRH



Fuente: ONU²⁹

²⁹ Roadmapping for Advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes. ONU-Agua, GWP. 2007



Existen grandes diferencias entre regiones en lo referente a disponibilidad de agua, éstas van desde las situaciones extremas de escasez en los desiertos a las de abundancia en los bosques tropicales. Además, también hay variabilidad en cuanto al suministro en el tiempo a consecuencia tanto de la variación estacional como interanual.

Con demasiada frecuencia, el grado de variabilidad y el momento y la duración de los periodos de suministro, alto o bajo, son demasiado impredecibles. Esto implica una falta de fiabilidad del recurso, lo que supone un importante reto para los gestores del agua en particular y para la sociedad en su conjunto.

Los países más desarrollados han superado en gran medida la variabilidad natural con infraestructuras para gestionar la oferta que aseguran un suministro fiable, y reducen los riesgos, aunque ello a un alto precio y, a menudo, con un impacto negativo sobre el medio ambiente y sobre la salud de las personas y los medios de vida. Muchos de los países menos desarrollados, y algunos de los desarrollados, se encuentran ahora con que considerar únicamente la gestión de la oferta no resulta adecuado a la hora de abordar una cada vez más creciente demanda provocada por presiones demográficas, económicas y climáticas. Frente a ello, se han puesto en marcha **medidas de tratamiento de aguas residuales, reciclaje del agua y gestión de la demanda.**

Además de los problemas relacionados con la cantidad disponible de agua, también se presentan **problemas relacionados con la calidad del agua.** La **contaminación de las fuentes de agua constituye uno de los principales problemas que afrontan los usuarios de los recursos hídricos** y supone una amenaza para el mantenimiento de los ecosistemas naturales.

En muchas regiones, la disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad, se está viendo gravemente afectada por la variabilidad y el cambio climático, con más o menos precipitaciones según las diferentes regiones, y una mayor frecuencia de fenómenos atmosféricos extremos. También, en numerosas regiones, la demanda se ve incrementada como resultado del crecimiento de la población y otros cambios demográficos (en particular, la urbanización) y la expansión agrícola e industrial que resultan de la modificación de los patrones de consumo y de producción. Como consecuencia, algunas regiones se encuentran ahora mismo en un permanente estado de niveles de demanda superados y muchas otras regiones lo padecen en momentos críticos del año o en años de escasez de agua.

Para superar todos los desafíos a los que se enfrenta la sociedad actual, a continuación se presentan las tendencias en los **que son considerados como puntos clave para mitigar los efectos de la escasez de agua, y el aprovechamiento mejorado o más eficiente de los recursos hídricos,** explorando nuevas vías para adaptarse a la dinámica del sector resaltando aplicaciones actuales y propuestas sobre:

1. Desalinización como un recurso hídrico alternativo.
2. Calidad del agua.
3. Tratamientos de aguas residuales.
4. Eficiencia en el uso del agua y la energía, donde se destaca la gestión del agua de riego y la eficiencia energética de las instalaciones.



I. Desalinización

La escasez de agua es un problema ecológico creciente en muchas partes del mundo debido a la agricultura, centros urbanos cada vez más grandes y otros usos humanos. Cuando las fuentes de agua natural están sobreexplotadas o agotadas, la desalinización ofrece una casi ilimitada cantidad de agua, pero a un gran coste energético. Tecnologías emergentes ofrecen la posibilidad de una mayor eficiencia energética en la desalinización o purificación de aguas residuales que pueden reducir el consumo de energía en un 50%, como la ósmosis forzada, difusión del agua a través de una membrana semipermeable desde una solución de menor concentración, a otra de mayor concentración utilizando el calor de la producción de energía térmica.

La escasez de agua en el norte de África, Oriente Próximo, India o Australia, unida al crecimiento de la población, el desarrollo industrial, la polución de los recursos hídricos y el cambio climático, exigirán soluciones. **Según *Global Water Intelligence*, el actual 1% de la población del mundo que depende de agua desalada subirá hasta el 25% en 2025.** Se espera, pues, que las 7.000 desaladoras que hay en el mundo (en 150 países) se multipliquen.

Los elevados costes de la desalinización, principalmente derivados de la energía que consume, han disminuido considerablemente en los últimos años gracias a los avances tecnológicos, lo que se traduce en una mayor capacidad de desalación a un coste cada vez menor. Según el *Worldwide Desalting Plant Inventory*³⁰, **la capacidad de desalación en el mundo se incrementó un 64% entre 2007 y 2012, de 47.6 a 78.4 millones de metros cúbicos/día, suficiente para dar servicio a 300 millones de personas.**

Actualmente, alrededor de 60 millones de personas beben agua desalinizada a nivel mundial. Si tenemos en cuenta las perspectivas de crecimiento esperado para el año 2030, la población podría llegar a 9.000 millones de habitantes y además gran parte se establecería en la franja costera. Esto hace necesario una producción de agua desalinizada de 140 – 160 millones de m³/día para hacer frente al incremento de la demanda.

La desalinización es una tecnología que elimina las sales disueltas y otros minerales del agua salada o salina. El proceso produce una corriente de agua con una baja concentración de sales (permeado o producto) y otra con una alta concentración de sales (salmuera o concentrado). El agua de alimentación tiene que ser desalinizada desde los 30.000-50.000 ppm TDS³¹ en el caso del agua de mar o los 500-30.000 ppm en el caso del agua salobre. La salmuera resultante puede tener TDS superior a 50.000 ppm.

Las tecnologías actualmente existentes se dividen en tecnologías de membrana, tecnologías térmicas y otras tecnologías (Véase Tabla 8). A continuación se realiza una breve descripción de las diferentes tecnologías de desalinización actualmente existentes.

³⁰ 4th IDA Worldwide Desalting Plant Inventory, 2012

³¹ TDS son las siglas inglesas de “Total Dissolved Solids”, en español, **Total de Sólidos Disueltos**. El **Total de Sólidos Disueltos (TDS)** es una medida de las **sustancias orgánicas e inorgánicas**, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso, el agua.



TABLA 8
Tecnologías utilizadas en desalinizadoras

Tecnologías de membrana	Tecnologías térmicas	Otras tecnologías
<ul style="list-style-type: none"> • Ósmosis inversa (RO) • Ósmosis directa (FO) • Electrodialísis (ED) • Electrodialísis inversa (EDR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Destilación solar Flash multietapa (MSF) • Destilación multiefecto (MED) • Compresión térmica de vapor (TVC) • Compresión mecánica de vapor (MVC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Destilación por membranas (MD) • Electrodeionización (EDI) • Deionización capacitiva (CDI) • Separación por congelación (FS) • Destilación por vacío • Congelación • Intercambio iónico • Evaporación en spray

Fuente: Elaboración propia

Tecnologías de membrana

- **Ósmosis inversa (RO):** También llamada hiper filtración, es una técnica de filtración por membranas. La membrana osmótica, permite a las moléculas de agua pasar a través de ella, pero no a las sales y minerales. La ósmosis se define como la difusión del agua a través de una membrana semi-permeable de una disolución con una cantidad baja de sólidos disueltos (TDS) a otra con un alto nivel de TDS. En la ósmosis inversa, la alimentación de agua salada, solución con alta TDS, se bombea con bombas de alta presión a través de las membranas semi permeables, para producir la solución con bajo TDS, de manera que se produce la separación de dos corrientes de agua, una salada y otra de agua con un bajo contenido en sales.

La presión necesaria está directamente relacionada con el contenido en TDS del agua. Esto significa que los requerimientos energéticos del sistema están relacionados directamente con el TDS del agua de alimentación.

Las membranas de ósmosis inversa se ven afectadas por el scaling (incrustación de sales minerales) y el fouling (ensuciamiento por materia orgánica y microorganismos), lo que reduce la capacidad de filtración de las membranas. Para proteger las membranas, en lo posible de estos fenómenos se usan tratamientos pre-filtración (filtros silex y similares, ultrafiltración, nanofiltración) y pretratamientos químicos.

- **Ósmosis directa (FO):** En esta tecnología una solución de arrastre se usa en el lado opuesto de la membrana al del agua de alimentación. El agua es arrastrada hacia la solución de arrastre, creando una corriente que es una mezcla de la solución de arrastre y agua desalada y otra de agua con un mayor contenido en sales. Se debe utilizar una solución de arrastre que permita una separación fácil entre el agua y la solución.
- **Electrodialísis (ED) Y Electrodialísis inversa (EDR):** La electrodialísis usa fuerzas eléctricas para separar los iones disueltos del agua de alimentación. Se aplica una carga eléctrica a la corriente de agua. El



agua se mueve a través de una serie de pares de membranas, llamado una pila de membranas. Cada par de membranas consiste en una membrana de transferencia catión (que solo deja pasar a los cationes) y otra anión (que solo deja pasar a los aniones). Como el agua se mueve a lo largo de la pila de membranas, los cationes y aniones se mueven respectivamente hacia el cátodo el ánodo. Esto crea corrientes de agua desalinizada y salina. Es un proceso que solo puede separar sustancias ionizadas y por lo tanto **su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres o reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa.**

Tecnologías térmicas

- **Destilación solar:** En una laguna se somete el agua de alimentación a la radiación solar, lo que causa que el agua se evapora y se condensa en una superficie de condensación. El condensado se guía fuera como agua potable mientras el concentrado se queda en la laguna y constituye la salmuera. Esta técnica es de bajo coste, pero requiere grandes superficies.
- **Flash multietapa (MSF):** En el sistema MSF el agua a desalar se calienta en un recipiente a baja presión lo que permite la evaporación súbita. Este proceso se repite a lo largo de una serie de etapas en las que la presión va disminuyendo según las distintas condiciones. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica.

Es el proceso de destilación más utilizado en el mundo, sobre todo en Oriente Medio. Especialmente indicado para aguas con altas salinidad, temperatura y contaminación, siendo su capacidad mucho mayor que la de otras plantas destiladoras. Pero tiene el inconveniente de que su **consumo específico de energía es de los más grandes entre los procesos conocidos**, lo que lo hace **sólo permisible para naciones con energía barata.**

- **Destilación multiefecto (MED o MEE):** Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) **la evaporación se produce de forma natural** en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (*Multi-Effect Distillation*) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efectos de dicha presión. Esto permite que **el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional** a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.
- **Compresión térmica de vapor (TVC):** La compresión térmica de vapor obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica



diferente: son los llamados compresores térmicos (o termocompresores), que consumen vapor de media presión proveniente de una planta de producción eléctrica (si tenemos una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello) y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que es la única que consume energía en el proceso.

- **Compresión mecánica de vapor (MVC):** Trabaja en la misma forma que el TVC, pero emplea la compresión mecánica en vez de los termocompresores. En la compresión mecánica de vapor se evapora el 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 pura.
- **Absorción por compresión de vapor:** Se crea una diferencia de presión entre dos acumulaciones de agua. Esta diferencia de presión conduce la evaporación y condensación para la producción de agua potable.

Otras tecnologías

- **Destilación por membranas (MD):** Es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana, el vapor se condensa sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido este agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida a la salida.
- **Electrodesionización (EDI):** La electrodesionización emplea una combinación de membranas selectivas de iones y resinas de intercambio, montadas a modo de sándwich entre dos electrodos [ánodo (+) y cátodo (-)] sometidos a una diferencia de potencial eléctrico de corriente continua, la cual fuerza la migración en continuo de los iones desde la cámara de alimentación hasta las cámaras adyacentes de concentrado.

Este potencial también rompe las moléculas de agua produciendo iones hidrógeno e hidróxilos que continuamente producen la regeneración de la resina (no se emplean reactivos). El proceso de EDI reemplaza a los convencionales lechos mixtos (MB) de resinas produciendo agua de calidad ajustable, no necesitando paradas para la regeneración ni sustitución de resinas.

- **Desionización capacitiva (CDI):** El proceso funciona secuestrando iones en la superficie de la doble capa de un electrodo cargado eléctricamente. Además, como los iones quedan almacenados en una superficie cargada, el dispositivo es capaz de almacenar energía exactamente igual que un condensador electroquímico.
- **Congelación (FS):** Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la sepa-



ración de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío.

- **Intercambio iónico:** Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH⁻ (permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H⁺ (permutación ácida). La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor de 1 gr/l. Por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos, o en procesos industriales contratamiento de afino. **Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres. Este proceso tiene una implantación industrial muy profunda en las plantas de tratamiento de aguas para el ciclo de vapor de centrales térmicas.**
- **Evaporación spray:** El agua de alimentación se aplica en spray a alta velocidad lo que permite evaporar el agua, mientras la sal se deposita. El agua en forma de vapor se condensa como agua desalinizada. **Esta técnica tiene un gran potencial para usarse como recuperación de salmueras.**

A nivel comercial las tecnologías más ampliamente utilizadas son la ósmosis inversa (RO), la flash multietapa (MSF) y la destilación multiefecto (MED). Históricamente, las tecnologías térmicas han dominado el mercado de la desalinización, especialmente en Oriente Medio. Tanto MSF como MED tienen unos grandes consumos energéticos y térmicos para funcionar, si bien MED tiene unos costes de inversión superiores a MSF, pero menores costes de funcionamiento.

La ósmosis inversa (RO) tiene unos consumos energéticos menores que MSF y MED. Actualmente, con los costes de energía subiendo, **el número de plantas de ósmosis inversa que se construyen con respecto a las tecnologías térmicas no deja de incrementarse.** Ahora bien, los costes operacionales no energéticos pueden ser superiores a los de las tecnologías térmicas, por lo que hay un gran esfuerzo de innovación en la bajada de estos costes. Algunos ejemplos de **innovación relacionados con la ósmosis inversa** son:

- Desarrollo de membranas más baratas.
- Desarrollo de membranas con menores requerimientos de presión.
- Desarrollo de dispositivos recuperadores de energía.
- Membranas mejoradas por compuesto nano (nanotubos de grafeno o canales de acuaporinas³² para mejorar el caudal).
- Cambios en las configuraciones.

Por otro lado y dependiendo de la localización del origen del agua, **la ósmosis inversa puede no ser siempre el tratamiento más efectivo desde el punto de vista del coste**, ya que los pretratamientos también tienen su importancia en este punto. Por ejemplo, cuando nos encontramos con aguas con una alta turbidez y gran presencia de vida marina, que provoca el conocido y temido bio-fouling³³.

³² Las acuaporinas son unas proteínas de las membranas de las células que son capaces de transportar moléculas de agua.

³³ El bio-fouling consiste en la acumulación indeseada de organismos vivos sobre una superficie.



En algunos casos, **la construcción de plantas híbridas puede ser la solución más económica**. En general se opta por soluciones MSF-RO o MED-RO. Este tipo de plantas tiene una mayor flexibilidad que las MSF y MED por sí solas, y solucionan algunos de los problemas relacionados con los pretratamientos asociados a la RO.

Por otra parte, la salmuera procedente de los procesos de RO es más fría que la procedente de los procesos térmicos, y cuando se mezcla con la descarga de MSF/MED la salmuera resultante se puede verter más fácilmente.

Cabe mencionar que se **utilizan diferentes procesos y productos químicos para optimizar el funcionamiento de los pretratamientos y las plantas** en sí. La innovación en estas áreas puede ser una **fuerza muy importante de eficiencias, bajada de costes de operación y reducción de los impactos ambientales**. **Estos son los principales retos a los que se enfrentan las** tecnologías de desalinización actuales.

Las primeras instalaciones de plantas de desalación diseñadas de tipo térmico en los años 70 (MSF, MED y CV), tenían consumos que podían superar los 30-40 kWh/m³ de agua desalada. Más tarde en los 80 se llegaron a valores de 15 kWh/m³ para las plantas de compresión de vapor y 8-10 kWh/m³ para las de ósmosis inversa, llegando hoy en día a valores en torno a 3 kWh/m³ en el campo de la desalinización por ósmosis inversa, y mejorando con pasos pequeños a través de sucesivas innovaciones tecnológicas en los sistemas de recuperación energética.

Ahora mismo se están levantando plantas cada vez más gigantescas como la de Victoria, en Melbourne (440.000 metros cúbicos/día) o la de Magtaa, en Argelia (500.000 metros cúbicos/día). Según el *Cleantech Group*, China ha puesto en marcha inversiones por el valor de 3.000 millones de dólares en desalación. En India, con enormes espacios desérticos, triplicará de aquí a 2017 su red de desaladoras, de 180 a 500.

Específicamente, en España hace 40 años que se instalaron las primeras plantas de desalación y se han expandido continuamente para garantizar la demanda hídrica de las regiones con mayor escasez. En el 2005 se inició un programa muy ambicioso a lo largo de toda la costa mediterránea, como alternativa más sostenible al trasvase del Ebro. Las últimas plantas están entrando en servicio actualmente, y con ello queda mucho más asegurado, especialmente en situaciones de sequía, el abastecimiento de la población y de las actividades económicas principales, destacadamente el turismo, la agricultura de alto rendimiento y, en áreas más localizadas, la industria.

La desalación es imprescindible actualmente para el desarrollo y bienestar de países con problemas importantes de escasez hídrica, como es el caso de España, una gran parte de cuyo territorio está sometida a sequías frecuentes y severas y otra parte es directamente semidesértica o desértica. Además, en las zonas costeras hay una elevada concentración demográfica y de actividad turística y, en menor medida, industrial, así como una agricultura de alto valor añadido. Garantizar plenamente las necesidades de agua de todos estos sectores en situación de sequía más o menos grave, o con pluviosidades semidesérticas resulta indispensable.

La mayor o menor cuantía de estas variables geográficas (escasez hídrica, demografía y actividad económica) son las que, junto a una espectacular reducción de los costes de producción gracias a los avances



tecnológicos, explica la **expansión permanente de la desalación en nuestro país a lo largo de las cuatro últimas décadas.**

Las primeras plantas se instalaron en Canarias, en los años 70 y 80, porque, a pesar de que entonces se requerían hasta 40 kwh/m³ de agua desalada, ésta era sencillamente imprescindible para garantizar el abastecimiento de las islas más áridas. La posterior tecnología de ósmosis inversa, con consumos iniciales de 7 u 8 kwh/m³, determinó que, a lo largo de los 90, la desalación se extendiera a otras islas más húmedas de Canarias y a gran parte de Baleares, e iniciara su implantación en algunas de las zonas costeras peninsulares con mayor escasez hídrica.

Finalmente, en la década pasada, además de continuar el proceso expansivo en los archipiélagos, la desalación se extiende por las regiones mediterráneas porque resulta cada vez más competitiva frente a las infraestructuras hidráulicas tradicionales. Ello es debido a la aún mayor eficiencia de la desalación, consumo en torno a 3,5 o 3 kwh/m³, y en otros aspectos como el pre tratamiento del agua bruta o el rendimiento de las membranas, además del crecimiento de la demanda y la escasez progresiva y mayor coste de los recursos naturales.

Este proceso de expansión y mejora de competitividad se manifiesta además en una notable ampliación del uso del agua desalada, que pasa, de emplearse inicialmente en un corredor litoral muy limitado y sólo para el sector urbano, a emplearse hasta decenas de kilómetros de la costa y a centenares de metros sobre el nivel del mar, y no sólo para el sector urbano sino también para el agrícola.

Un ejemplo del uso de este tipo de alternativas es el **Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua)**, se creó en España en el año 2004 con el fin de **gestionar la política del agua y entre sus pilares más importantes está el de la desalinización del agua,** junto a otras actuaciones en depuración y reutilización, modernización de regadíos y mejoras de sistemas de abastecimiento.

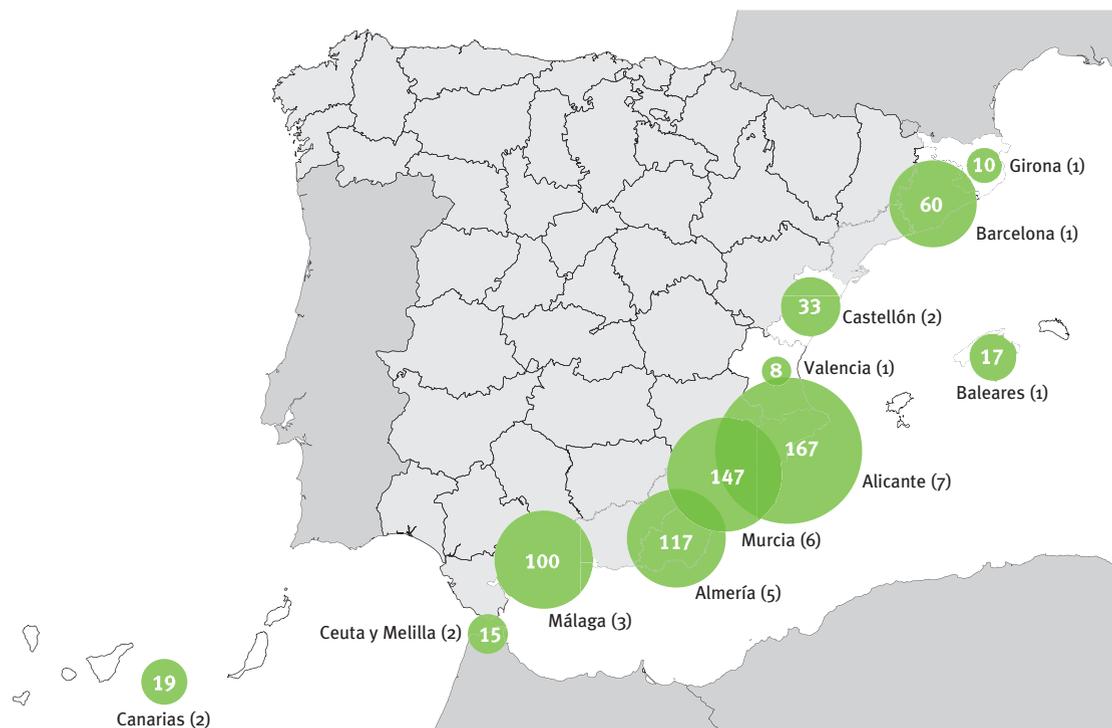
España es el quinto país en número de desaladoras del mundo con un total de 900 plantas, como son por ejemplo, la planta desaladora de Las Carboneras en Almería, la de San Pedro de Pinatar en Murcia, El Atabal de Málaga, la de Alicante, Barcelona, Torre Vieja, Las Águilas, etc.. En total suman una capacidad de 1,45 millones de metros cúbicos al día.

En la siguiente figura se muestra el volumen y número de plantas desalinizadoras del programa AGUA, en cada provincia de España, resaltando Alicante, Murcia, Almería y Málaga en las primeras posiciones.

Respecto al **análisis ambiental,** tampoco parece difícil admitir el menor impacto de la desalación, porque sus aspectos principales son la salmuera, que las diferentes tecnologías de vertido han resuelto hace tiempo, y la emisión de gases de efecto invernadero vinculada al consumo eléctrico, que se ve compensada parcialmente porque el empleo de agua desalada evita otros consumos de energía en el conjunto del denominado ciclo de vida de la planta.



FIGURA 15
Desalinizadoras del programa AGUA



Fuente: www.elmundo.es

Finalmente cabe destacar los **puntos claves para el futuro desarrollo de desalinizadoras desde el punto de vista medioambiental** como:

- Energía utilizada y su relación con las emisiones de dióxido de carbono debido al origen del suministro de las plantas de desalinización.
- Directo, cuando la capacidad de desalinización está acoplada a motores de generación con combustibles fósiles.
- Indirecto, cuando las plantas están acopladas a la red de suministro y esta a su vez se nutre de orígenes con un alto consumo de combustibles fósiles.
- Descargas incontroladas de salmuera, que pueden contaminar los acuíferos y dañar los ecosistemas acuáticos, debido a las altas temperaturas y al contenido en sales.
- Contaminantes, debido a los pretratamientos químicos y anticorrosivos, o incluso contaminantes nucleares, cuando la planta va integrada en una instalación nuclear.
- Otros factores, como contaminación por ruido, emisiones gaseosas y escapes químicos.

Y desde el punto de vista de la localización cabe mencionar:

- **Integración con las redes energéticas o con tecnologías móviles.**
- **Uso de la energía**, especialmente en lugares con dificultades de acceso a esta.
- Implantación de los equipos, ya que debido al aumento de las necesidades de suministro, por el incremento de la población, están requiriendo cada vez más superficie.



- **Transferencia de los costes al agua**, debido a costes de capital, costes energéticos, de operación y mantenimiento, así como el coste del origen del agua.
- Creación de la **infraestructura para transferir el agua** desde el punto de tratamiento al punto de uso.
- Pérdidas de agua cuando se usan infraestructuras existentes.

Otros retos adicionales son el alto nivel de capital requerido para la construcción de las plantas, así como los altos niveles de gastos de operación durante todo el ciclo de vida de la planta.

2. Calidad del agua

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, específicamente en España se diseñó el Sistema Automático de Calidad de las Aguas con el objetivo de producir información continua relativa a la calidad de las aguas y transmitirla en tiempo real al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y a los centros de proceso de datos ubicados en las Confederaciones Hidrográficas.

El reconocimiento de la información obtenida por la red de alerta, y las actuaciones posteriores se ajustan a un plan establecido previamente con las siguientes pautas:

- Detección del episodio de contaminación
 - Consulta del estado de las estaciones.
 - Verificación del correcto funcionamiento de los equipos con el personal de mantenimiento para eliminar posibles averías que enmascaren episodios de contaminación o generen falsas alarmas.
- Actuaciones básicas
 - Notificación al responsable de la vigilancia de la calidad de las aguas una vez verificado el episodio de contaminación.
 - Recogida de las muestras en las estaciones automáticas de alerta afectadas.
 - Toma de muestras adicionales en diversos puntos del río en caso de considerarse necesario.
- Actuaciones secundarias
 - Disponibilidad de las muestras para el análisis en laboratorio.
 - Notificación al responsable de la gestión de los vertidos.



• Actuación final

- Identificación del responsable del episodio de contaminación.
- Incoación, en caso de que corresponda, del procedimiento sancionador aplicable.
- Adopción de medidas de prevención de usos posteriores del agua.

Gracias a esto se lleva a cabo un monitoreo sobre la calidad del agua a través del índice de calidad general (ICG) que se obtiene mediante la combinación de 23 parámetros referentes a la calidad de las aguas. Por medio de ecuaciones lineales se pondera el valor de cada parámetro de calidad en el cómputo total del índice. El intervalo de ICG oscila desde 0 (agua muy contaminada) a 100. Se trata de una media ponderada de niveles de calidad obtenidos, mediante las funciones de equivalencia, de los resultados analíticos de cada año, teniendo en cuenta la importancia relativa de cada variable en el uso previsto.

En la tabla 9 se presentan la calificación de la calidad de las aguas en función del ICG, calculado para el conjunto de las estaciones de control de vigilancia de cada una de las Confederaciones Hidrográficas durante el año 2013 (agua sin contaminar), así como la evolución del indicador durante los últimos años (Véase Figura 16).

TABLA 9
Número de estaciones según el valor medio anual del ICG por demarcación hidrográfica (2013)

Demarcación/Distrito Hidrográfico	Inadmisible	Admisible	Intermedio	Bueno	Excelente
Miño-Sil	0	0	1	4	69
Galicia-Costa	0	2	13	10	6
Cuencas internas País Vasco	4	36	33	50	20
Cantábrico Oriental	0	3	18	26	30
Cantábrico Occidental	0	1	3	5	6
Duero	1	5	7	20	119
Tajo	1	5	18	64	271
Guadiana	4	23	6	3	1
Gualdalquivir*	0	2	5	19	150
Cuencas Mediterráneas de Andalucía	3	7	10	16	7
Cuencas del Guadalete y Barbate	3	16	10	8	1
Cuencas del Tinto, Odiel y Piedras	3	8	12	9	3
Segura	2	3		7	25
Júcar	14	16	45	41	72
Ebro	0	1	7	15	149
Cuencas internas de Cataluña	0	17	26	25	185
Islas Baleares	sd	sd	sd	sd	sd
Islas Canarias	sd	sd	sd	sd	sd
TOTAL	35	145	214	322	1.114
%TOTAL	1,91%	7,92%	11,69%	17,60%	60,87%

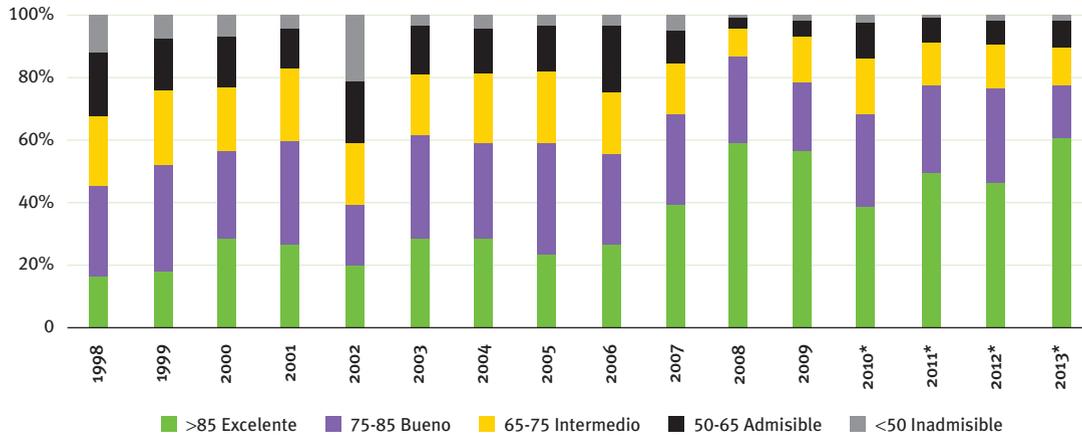
* Datos correspondientes a 2010

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente



Se observa como de manera general el índice de calidad del agua se ha conservado en términos admisibles durante los últimos años, reflejando el interés en el mantenimiento de una calidad de agua aceptable.

FIGURA 16
Evolución de los resultados del índice de calidad general (1998 – 2013)



* Año Hidrológico

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

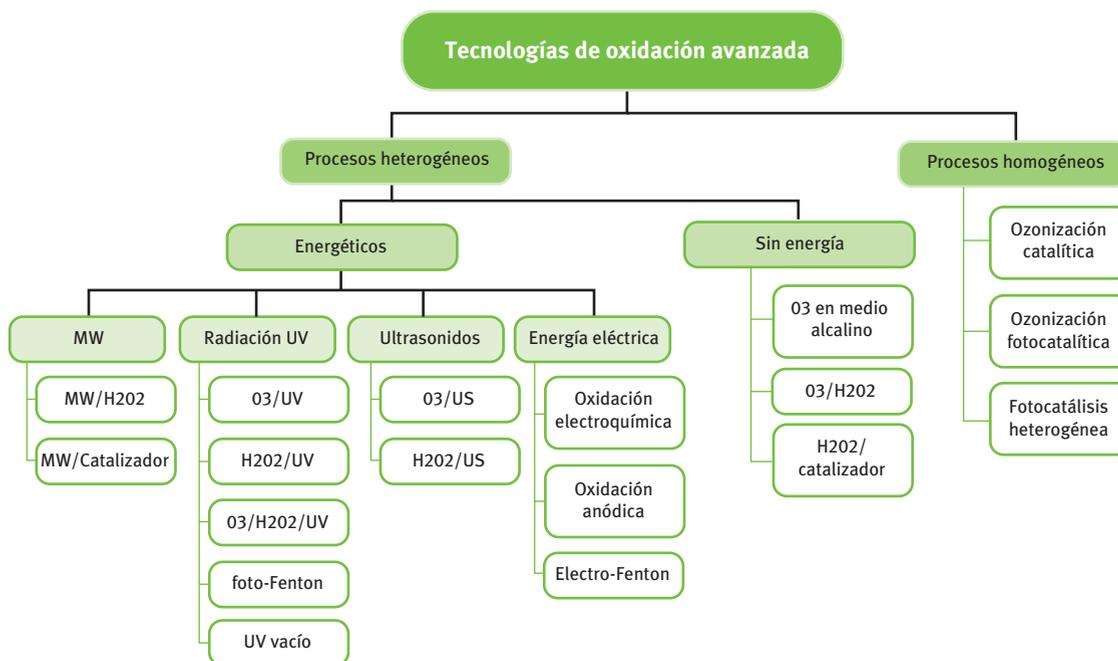
Con la publicación de la Directiva 2013/39/UE por la que se modifica la DMA (Directiva Marco del Agua 2000/60/EC) y la EQSD (Environmental Quality Standards Directive) en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, se amplía la lista hasta 45 sustancias prioritarias, de las cuales 21 son identificadas como peligrosas. En este punto, es necesario trabajar en el desarrollo de tecnologías avanzadas que permitan tratar las aguas para reducir y eliminar (según el caso) nuevos contaminantes. Por ello, la tendencia en los últimos años ha sido el **desarrollo de tecnologías emergentes basadas en membranas** (se comentarán en el apartado 5.3. Tratamiento de aguas residuales) y **oxidación avanzada**.

Los **procesos de oxidación avanzada** (AOPs) implican la generación de radicales hidroxilo y otras especies fuertemente oxidantes que son capaces de degradar compuestos difícilmente biodegradables o refractarios como son los identificados en la lista de sustancias prioritarias.

Los AOPs conllevan la combinación de diferentes procesos para la generación de radicales hidroxilo con la ozonización, procesos electroquímicos, procesos fenton, la cavitación hidrodinámica y acústica, irradiación ultravioleta homogénea, fotocátalisis heterogénea, etc. (Véase Figura 17).



FIGURA 17
Tecnologías de Oxidación Avanzadas



Fuente: Alonso et al. ³⁴

La **capacidad de los AOPs** para la degradación de contaminantes es reconocida desde los años 70. Los AOPs han demostrado un **gran potencial para el tratamiento de contaminantes en agua** de suministro, agua residual y lodos. En los últimos años, tales procesos han recuperado protagonismo debido a la creciente preocupación por el impacto de nuevos contaminantes, además de las mejoras en los desarrollos tecnológicos de los fabricantes de equipos.

Entre sus principales ventajas destaca que son muy útiles para **eliminar contaminantes refractarios** que resisten otros métodos de tratamiento (pesticidas, fármacos, surfactantes, etc.), principalmente el biológico y que sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración.

Entre la gran variedad de tecnologías disponibles **las más comunes son la combinación UV y peróxido (UV/H₂O₂), el reactivo Fenton (Fe²⁺/H₂O₂), y dos de sus variantes como el foto-Fenton y el hierro cerovalente (Fe⁰),** que es una combinación de las anteriores, **o la fotocatalisis (UV/TiO₂)**. La continua innovación de estas tecnologías está propiciando **nuevos desarrollos con la aplicación de microondas³⁵, nuevos**

³⁴ Alonso, J. S., Alonso, J. I. L., & de Luis Álvarez, A. M. (2013). "Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias". *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 70(561), 24-32.

³⁵ Zhao D., Cheng J., Hoffmann M.R. (2011), "Kinetics of microwave-enhanced oxidation of phenol by hydrogen peroxide", *Front. Environ. Sci. Eng. China*, 5(1), pp.57-64.



catalizadores, ultrasonidos³⁶, entre otros. La **selección de la tecnología** debe hacerse en **función de su eficacia y coste**, y éstos dependen a su vez de la carga y la tipología del contaminante a tratar.

Por otro lado la **optimización de los costes** –tanto de inmovilizado como de tratamiento-, de las tecnologías de oxidación avanzada **es una realidad cada vez más presente y que hace de estos procesos una opción atractiva para la industria del agua**. Ikehata et al.³⁷ ofrece algunos datos relativos a costes, enunciando que después de una optimización se podría aplicar estas tecnologías para depurar hasta un rango de unos cientos de mg/L de sustancias tóxicas con un coste estimado de entre 1 y 5 €/m³. En el caso de efluentes de baja toxicidad en mezcla con aguas residuales, este coste se reduciría hasta los 0,1-0,3 €/m³.

Actualmente se está trabajando desde varios enfoques de gran interés, **como pueden ser la utilización de la oxidación como un pretratamiento a un sistema biológico^{38,39}, la utilización de la luz solar como fuente de energía o la utilización de catalizadores de última generación**, con un mayor ciclo de vida. Además de estas opciones, muchas de las nuevas líneas de investigación están cada día más enfocadas en el **desarrollo de sistemas sostenibles, tanto económica como ambientalmente**, frente a otras innovaciones menos prácticas.

Existen algunas interesantes aplicaciones (tabla 10), principalmente de las tecnologías que han tenido un mayor desarrollo científico como la oxidación húmeda, de la tecnología de ozonización, del sistema UV/H₂O₂ o de la fotocatalisis y del foto-Fenton.

En resumen, los AOPs presentan un elevado potencial para el desarrollo de nuevas aplicaciones para la eliminación de contaminantes como los identificados como prioritarios en la **nueva directiva 2013/39/UE**.

Además de su aplicación para la reducción o eliminación de contaminantes persistentes, a través de los AOPs también se pueden desarrollar otras aplicaciones en agua:

- Para aumentar la biodegradabilidad de las aguas para poder ser tratadas mediante procesos biológicos convencionales.
- Para mejorar la calidad de las aguas tratadas: post-tratamientos de los vertidos tratados para su reutilización.

En este ámbito trabajan el Instituto Tecnológico Metalmecánico-AIMME junto con AINIA centro tecnológico desarrollando conjuntamente el proyecto **OXAGUA**.

³⁶ Khatri P.K., Jain S.L., Sain B., (2011) “*Ultrasound-Promoted Oxidation of Sulfides with Hydrogen Peroxide under Catalyst-Free Conditions*”, Ind. Eng. Chem. Res., 50(2), pp.701–704.

³⁷ Ikehata K., El-Din M.G., Snyder S.A., (2008) “*Ozonation and advanced oxidation treatment of emerging organic pollutants in water and wastewater*”, Ozone: Sci. Eng., 30, pp.21–26.

³⁸ Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes.

³⁹ Rivera-Utrilla J., Sanchez-Polo M., Gomez-Serrano V., Alvarez P.M., Alvim-Ferraz M.C., Dias J.M., (2011) “*Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications*”, J. Hazard. Mater., 187, pp.1–23



Este proyecto persigue como objetivo principal el estudio y diseño de alternativas de tratamiento, basadas en procesos de oxidación avanzada (AOPs), orientadas a la resolución de nuevas problemáticas ambientales y sanitarias, por la presencia de tres grupos de contaminantes emergentes en aguas: pesticidas, fármacos y surfactantes.

TABLA 10
Procesos comerciales de oxidación avanzada

Proceso/Empresa	Descripción
Ultrox® Advanced Oxidation Process Ultrox International/U.S. Filter	Esta tecnología se basa en la aplicación conjunta del peróxido de hidrógeno, la radiación ultravioleta y el ozono. Esta tecnología es eficaz para tratar sustancias orgánicas en concentraciones menores del 1%, en matrices de baja turbidez y baja concentraciones de carbonatos. Los costes de puesta en marcha y operación son similares a los de una instalación de adsorción. El coste de inmovilizado para el tratamiento de un efluente fenólico en una planta de madera en Denver (Colorado, EE.UU) fue de 200.000 \$ y el coste de operación de unos \$10,92 por 1000 galones de agua tratada.
Rayox® Calgon Carbon Oxidation Technologies	La tecnología Rayox® es un sistema ex-situ para el tratamiento, mediante UV, en combinación con peróxido u ozono y en ocasiones catalizador férrico/ferroso, de un buen número de compuestos orgánicos volátiles. No es adecuado para altas concentraciones por el alto coste de los reactivos, pero es muy competitivo para un amplio rango de contaminantes en las concentraciones adecuadas. El coste de operación es en torno a 2 y 3 veces mayor que el carbón activo, una opción adecuada para concentraciones inferiores a 10 ppm. Los costes de operación del Rayox® son muy bajos. A modo de ejemplo el operador de agua de Salt Lake City (Utah, EE.UU) dispone de una instalación de 360 KW para el tratamiento del tratacloroetano, con un coste de operación de 0,20 \$ por 1000 galones de agua tratada.
Perox-Pure® Calgon Carbon Oxidation Technologies	Este sistema se basa en la combinación de UV y peróxido de hidrógeno. Es eficaz para el tratamiento de compuestos como COVs, aromáticos policíclicos, pesticidas, entre muchos otros, a concentraciones menores de 500 mg por litro. Se puede utilizar en combinación con otras tecnologías como el air-stripping. Los costes de operación son altos, aumentando con factores como la turbidez o los tiempos de retención. Esta tecnología se ha utilizado principalmente para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas. Así, en el tratamiento de aguas con presencia de pentaclorofenol de una industria en el Estado de Washington se ha estimado un coste de 3,90 \$ por 1000 galones de agua, resultante de los costes de electricidad (2,57 \$), del peróxido (0,87 \$) y de mantenimiento (0,46 \$).
Cav-Ox® Magnum Water Technology	Este proceso combina cavitación hidrodinámica con el peróxido y la radiación ultravioleta. La disminución de la presión a temperatura ambiente provocada en el sistema forma interfases gaseosas. El método es muy bueno para tratar sustratos volátiles, ya que la combustión se realiza directamente dentro de las burbujas, donde se producen reacciones de pirolisis y radicalarias, entre otras. Es eficaz en la eliminación total de contaminantes como los disolventes orgánicos, los compuestos fenólicos, PCBs o microorganismos patógenos. Se estima que el coste es aproximadamente la mitad que el resto de tecnologías de oxidación avanzada y mucho menor que el del carbón activo.
HiPOx	Desarrollado por Applied Process Technologies (California) utiliza el sistema O ₃ /H ₂ O ₂ para oxidar compuestos orgánicos en agua empleando oxígeno para generar ozono, consiguiéndose concentraciones de 8-10%, lo que mejora la transferencia de materia.



Proceso/Empresa	Descripción
WPO	Desarrollado por IDE y el INSA (Francia), es un proceso derivado del método Fenton. Utiliza como oxidante peróxido de hidrógeno y como catalizador Fe(II) en un medio ácido pudiéndose recuperar mediante precipitación elevando el pH. Se han instalado varias unidades de demostración en Francia y España.
Zimpro/ Oxidación húmeda/	Este es un proceso de oxidación húmeda, donde el efluente se mezcla con aire (o oxígeno) a temperaturas entre 150 y 325 °C y presiones entre 2069 y 20,690 kPa. Es el oxígeno presente en el medio el que genera los radicales hidroxilo. Se pueden tratar mediante esta tecnología desde efluentes contaminados en alta carga (hasta 20.000 mg L ⁻¹) a lodos de depuradora, pasando por la regeneración del carbón activo. Las condiciones de operación son más restrictivas que en otras tecnologías ya que no se puede aplicar directamente a efluentes orgánicos debido a que la baja solubilidad del oxígeno hace que el efluente deba ser previamente diluido. Además la presencia de haluros, sulfuros en el efluente puede producir gases o corrosión en el equipo. Entre las ventajas destacan que no utiliza reactivos costosos y opera a presiones y temperaturas menores que la Oxidación Supercrítica (374 °C y 22,1 mPa). Pueden utilizarse peróxido o catalizadores para mejorar la eficacia del proceso.
OHP® (Oxidación Húmeda con Peróxido)/ FMC-Foret	Este proceso es también una oxidación húmeda derivada del reactivo Fenton, trabajando a altas temperaturas (110–120 °C) y presiones (1–2 bares), que se ha desarrollado especialmente para efluentes de carácter industrial. Son numerosos los ejemplos de esta tecnología los que se encuentran implantados en el Estado español, con especial presencia en industrias químicas, farmacéuticas, vertederos (lixiviados) o refinerías, en el tratamiento de fenoles, aromáticos policíclicos y clorinados y un buen número de compuestos recalcitrantes. Hay referencias reales muy significativas como la eliminación del 95% de un efluente de 25 g L ⁻¹ de DQO de una industria de la fundición, o de la eliminación total del color después del tratamiento de un efluente de una industria de tintado (4,5 g L ⁻¹), entre muchas otras.

Fuente: Alonso et al. ⁴⁰

El proyecto se desarrolló durante el periodo 2012-2014, siendo los objetivos específicos del mismo los siguientes:

- Identificación y descripción de la problemática asociada a los contaminantes emergente en aguas.
- Desarrollo y optimización de las metodologías de análisis multi-análito basadas en tecnologías cromatográficas avanzadas acopladas a espectrómetros de masas de última generación para la determinación de una selección de pesticidas y fármacos de destacado interés en aguas.
- Diseño y evaluación de metodologías de tratamiento de aguas basadas en AOPs, orientadas a la reducción de la concentración y toxicidad de los CE seleccionados, así como al incremento de la biodegradabilidad del agua que los contiene.

Una vez haya finalizado este proyecto, los participantes pretenden haber adquirido el conocimiento que les permita **diseñar alternativas para la identificación y tratamiento de contaminantes emergentes en aguas**.

⁴⁰ Alonso, J. S., Alonso, J. I. L., & de Luis Álvarez, A. M. (2013). "Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias". *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 70(561), 24-32.



3. Tratamiento de aguas residuales

Las principales tendencias de manera general en el tratamiento de las aguas residuales están enfocadas a:

- Reducción de caudal de vertidos y control de su calidad
- Procesos de tratamiento más eficientes y compactos
- Tecnologías de membranas y tratamientos avanzados
- Recuperación de recursos: Agua y Energía
- Aumento de la reutilización

En base a estas tendencias se están desarrollando nuevas invenciones y mejorando las ya existentes para satisfacer las necesidades actuales. A continuación realizaremos una revisión de dichas tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

3.1. Aguas residuales domésticas

Medina et al. (2012)⁴⁴ realizaron un análisis de las tendencias actuales en el campo del tratamiento de las aguas residuales de las pequeñas aglomeraciones urbanas, haciendo repaso tanto a las tecnologías de depuración ya consolidadas como a las tecnologías emergentes y a las que se encuentran aún en fase de experimentación y desarrollo. España cuenta con un gran número de pequeñas poblaciones, como pone de manifiesto el hecho de que de los 8.111 municipios existentes el 72% presenta una población inferior a los 2.000 habitantes, elevándose a 3.800 (47%) los municipios menores de 500 habitantes.

En la forma de abordar el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, cabe distinguir tres etapas diferenciadas a lo largo del tiempo. En un primer momento (previo a la década de los 80), las tecnologías de depuración que se aplicaban a las pequeñas aglomeraciones eran mera reproducción, a menor escala, de las que se aplicaban en las grandes urbes, con un amplio predominio de la tecnología de aireación prolongada. Por sus elevados requisitos energéticos y técnicos, un elevado número de estas instalaciones fueron quedando fuera de servicio.

En la década de los 80 hacen su aparición las tecnologías extensivas. Diseños inadecuados, deficiencias constructivas, tamaños de población excesivamente grandes, etc., provocaron que no se alcanzasen los resultados esperados, lo que se tradujo en un rechazo generalizado de este tipo de tecnologías.

En la actualidad, se comienza a tomar conciencia de que la depuración en pequeñas aglomeraciones requiere otro enfoque más exigente, tanto desde el plano técnico como desde la gestión, que dé respuesta a las causas que provocaron los anteriores fracasos, planteándose todo un abanico de posibles tecnologías (intensivas, extensivas y mixtas), todas ellas válidas en función de las características concretas de la aglomeración, cuyas aguas residuales se vayan a tratar, y de las exigencias de vertido.

⁴⁴ Medina, Y. F., de Miguel, E. O., & Rodríguez, J. J. S. "Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas" (2012). Ingeniería civil, (168), 131-143.



En el artículo los autores clasificaron las tecnologías en extensivas e intensivas, atendiendo fundamentalmente a los requerimientos de superficie de cada una de ellas ($\approx 1 \text{ m}^2/\text{habitante equivalente}$ y $\approx 1 \text{ m}^2/\text{habitante equivalente}$, respectivamente).

3.1.1. Tecnologías Extensivas

La situación actual de las tecnologías extensivas, que se puede considerar como clásicas, (Lagunaje, Filtros de Turba y Filtros Verdes), es la siguiente:

1. **Lagunaje:** En la actualidad su aplicación **se encuentra en regresión**, debido a los **bajos rendimientos que se alcanzan y a la variabilidad temporal en la calidad de los efluentes tratados**. Ambos factores tienen su origen en la elevada presencia, en estos efluentes, de biomasa algal. Recientemente, el hecho de que **la biomasa algal producida en sistemas de lagunaje**, que hasta hace poco era un subproducto indeseable, **comience a ser considerada como un sustrato con valor energético⁴²**, está haciendo que se comiencen a **instalar nuevos lagunajes**, que potencian, mediante diseños diferentes, el desarrollo de esta biomasa, lo que puede considerarse como una *“nueva oportunidad”* para esta tecnología.
2. **Filtros de Turba:** Los bajos rendimientos alcanzados son la principal causa del actual declive de esta tecnología de tratamiento. No obstante, se ha comprobado que operando con cargas similares a las que se emplean en los humedales de flujo vertical y en los filtros intermitentes de arena, los rendimientos que se alcanzan con los Filtros de Turba se incrementan notablemente.
3. **Filtros verdes:** En la actualidad, y tras la aprobación del Real Decreto 1620/2007, de Reutilización de las Aguas Depuradas, se ha llegado al consenso generalizado de que los Filtros Verdes **no pueden concebirse como una tecnología aplicable al tratamiento de aguas residuales brutas**, sino como algunos de los usos que se contemplan en el citado Real Decreto, y que exigen que las aguas reciban un tratamiento previo antes de su aplicación al suelo.

Entre las tecnologías extensivas que en la actualidad experimentan un mayor grado de implantación a nivel nacional destacan los:

4. **Humedales artificiales:** Son sistemas de depuración en los que se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en las zonas húmedas naturales. La depuración de las aguas residuales tiene lugar al hacerlas circular a través de estas zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar, de forma simultánea, procesos físicos, químicos y biológicos.

Los Humedales artificiales se clasifican en dos tipologías, en función del modelo de circulación del agua:

- Humedales Artificiales de Flujo Superficial, o Flujo Libre, (Surface Flow Wetlands, SFW, o Free Water Surface Wetlands, FWS), el agua a tratar circula por encima del sustrato.
- Humedales artificiales de Flujo Subsuperficial (Subsurface Flow Wetlands, SSFW, o Vegetated Submerged Beds, VSB), el agua recorre el humedal de forma subterránea, a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante.

⁴² Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25, 294-306.

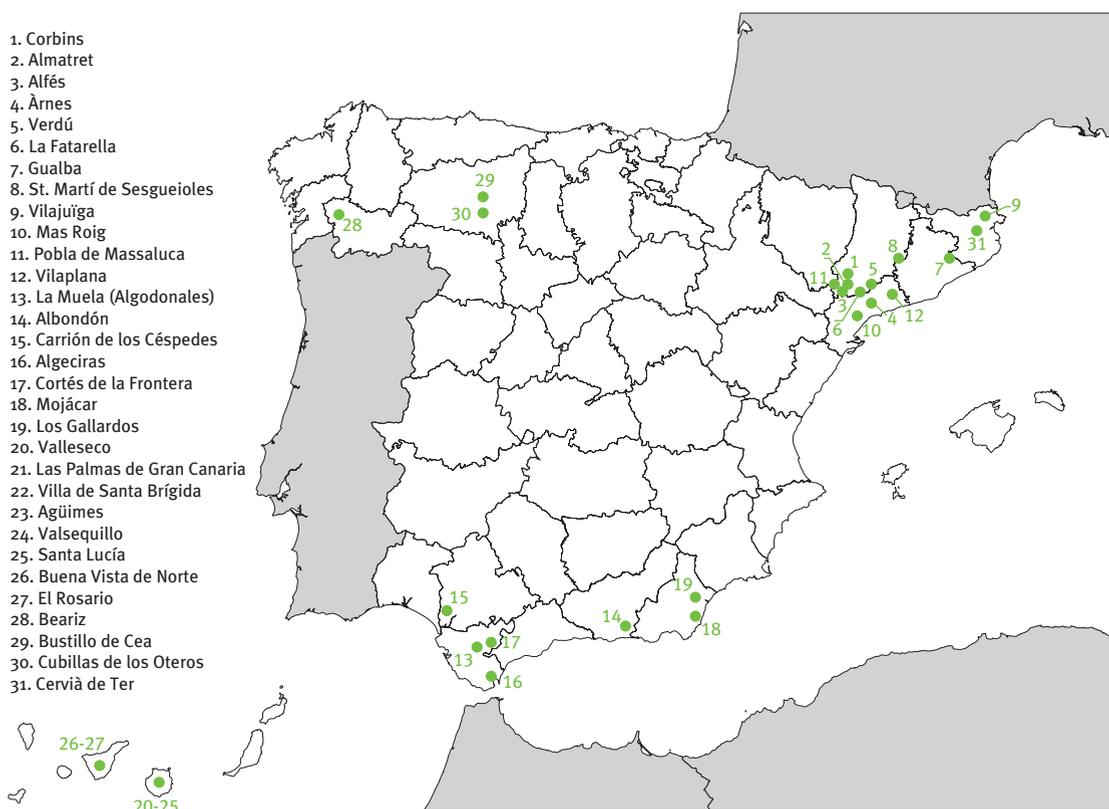


En la actualidad, los Humedales artificiales se aplican para el tratamiento de las aguas residuales (tanto urbanas, como industriales), en sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), en deshidratación de fangos y para la restauración y creación de ecosistemas acuáticos. La tecnología de humedales artificiales de flujo subsuperficial puede considerarse como una tecnología relativamente reciente en España, en comparación con otros países europeos, en las que las instalaciones se cuentan por centenares (Véase Figura 18). Un inventario llevado a cabo en el año 2007 puso de manifiesto que más del 80% de la treintena de humedales existentes, se habían construido en los últimos cinco años.



FIGURA 18

Distribución geográfica de los humedales artificiales de flujo Subsuperficial



Fuente: Medina et al. (2012)⁴³

Como actuaciones más recientes deben mencionarse las actividades llevadas a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente, en el marco del programa A.G.U.A., para el desarrollo sostenible de La Albufera de Valencia. Dentro de estas actividades cabe destacar la rehabilitación del Tancat de la Pipa (2009), antigua zona de cultivo de arroz, como Humedales de Flujo Superficial, de 40 hectáreas de superficie, para depurar las aguas procedentes de La Albufera, con las que se alimenta a los humedales.

⁴³ Medina, Y. F., de Miguel, E. O., & Rodríguez, J. J. S. "Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas" (2012). Ingeniería civil, (168), 131-143.



Otros de los usos de los humedales artificiales es su empleo para la deshidratación de los fangos en exceso generados en las estaciones de tratamiento de las aguas residuales urbanas. En esencia se trata de humedales de flujo vertical, plantados generalmente con carrizo y que se alimentan, de forma dosificada, con fangos. Los lixiviados retornan de nuevo a cabecera del tratamiento.

5. **Macrofitas⁴⁴ en flotación:** Las plantas emergentes toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en suelos encharcados, al contar con canales internos, o zonas de aireación, que facilitan el paso del oxígeno desde las partes aéreas hasta la zona radicular. Las zonas radiculares y rizomáticas se entrelazan de forma natural, formando un manto que se mantiene suspendido en el interior de una balsa, canal o laguna, por la que circula el agua residual, que baña completamente dicho manto. La microfauna aerobia, que coloniza las raíces y los rizomas, es la responsable de la degradación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar.

Se han desarrollado diversos sistemas para la fijación de las plantas en su fase inicial de plantación. Estos sistemas mantienen las plantas en posición vertical y favorecen la formación del manto radicular. La tecnología de fitodepuración utilizando plantas emergentes convertidas en flotantes, tales como las enneas, comenzó a desarrollarse por el Grupo de Agroenergética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), al principio de los años 90.

El desarrollo de este sistema dio como consecuencia la presentación, por parte de la UPM, de una primera patente del sistema, conocida como **FMF (Filtro de Macrofitas en Flotación)**, en el que el manto flotante está compuesto, exclusivamente, por las bases de los tallos, los rizomas y las raíces de las macrofitas, y flota libremente sobre la superficie del agua.

Actualmente el sistema FMF está siendo comercializado por la empresa Hidrolution S.L., que ha desarrollado unos soportes plásticos especiales, para la fijación de las plantas. En la actualidad existen más de un centenar de instalaciones del sistema FMF, principalmente en pequeñas poblaciones de Castilla la Mancha (62), Castilla y León (38) y Madrid (15).

Con posterioridad, la UPM ha desarrollado y patentado un nuevo sistema de fitodepuración en flujo libre con plantas emergentes, cuya principal diferencia con el sistema FMF radica en la formación del tapiz vegetal (se realiza en el fondo del canal, con la ayuda de una red de polietileno), y la localización final de éste, en posición intermedia entre la superficie y el fondo del canal, con el objetivo de aumentar la oxigenación del agua, debido al intercambio de oxígeno con la atmósfera a través de la superficie del agua que queda libre (solamente atravesada por los tallos que emergen del manto sumergido). Este nuevo sistema se conoce como **FHS (Filtro de Helofitas Semisumergido)** y ha sido comercializado principalmente por la empresa Essentium.

Los fabricantes de ambos sistemas aseguran que se pueden alcanzar **rendimientos de depuración superiores al 90% en eliminación de DBO₅⁴⁵ y de Sólidos en Suspensión.**

⁴⁴ Plantas acuáticas

⁴⁵ La **demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, **disuelta o en suspensión**. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅) y se expresa en **miligramos de oxígeno por litro** (mgO₂/l).



3.1.2. Tecnologías Intensivas

En las tecnologías intensivas, en función de cómo se encuentre la biomasa responsable de la degradación de los contaminantes, se distingue entre procesos con biomasa en suspensión (procesos de fangos activos) y procesos con biomasa adherida (procesos de biopelícula). En el grupo de los procesos de fangos activos el proceso más experimentado y extendido es el de **Aireación Prolongada**. Menos frecuente, en este rango de población, son los **Reactores Secuenciales** (*Sequential Batch Reactor*, SBR) cuya implantación se encuentra actualmente en expansión.

En los últimos años se están introduciendo también los **Biorreactores de Membranas** (Membrane Bio-reactor, BRM), pero fundamentalmente en el ámbito de las urbanizaciones o centros vacacionales con capacidad para asumir la complejidad de explotación de esta tecnología y sus altos consumos energéticos.

Durante la última década, los **biorreactores de membrana** han dado pasos significativos **hacia la excelencia energética**. Los fabricantes, han mejorado los diseños de los módulos de membranas, y sus estrategias de operación, enfocándose en la **reducción del consumo energético**. La aparición de un elevado número de proveedores también ha derivado en unos costes de inversión muy competitivos frente a las tecnologías convencionales.

Las innovaciones más recientes destacan una notable **mejora de los sistemas de aireación para la limpieza de las membranas**, que hasta ahora podía suponer entre un 20-40 % del consumo total de un sistema MBR. Adicionalmente, gracias a las **mejoras en el diseño de reactores, y en técnicas de control y operación**, hoy día se observan consumos específicos que reducen un 50 % los de hace una década.

En el ámbito de los procesos de biopelícula, las tecnologías más empleadas y contrastadas vienen representadas por los **Lechos Bacterianos y los Contactores Biológicos Rotativos** (*Rotating Biological Contactors*, RBC). Como tecnologías con un desarrollo más reciente en el ámbito de las pequeñas aglomeraciones se encuentran los Lechos Aireados Sumergidos (*Submerged Aerated Filter*, SAF) y los Procesos Híbridos (*Integrated Fix-film Activated Sludge*, IFAS), que combinan procesos de biopelícula con procesos de biomasa en suspensión.

Todos los procesos intensivos pueden diseñarse y construirse en obra civil, con sus diferentes unidades separadas, o bien de forma compacta, mediante el empleo de equipos prefabricados. Cuanto más pequeño es el tamaño de población, más frecuente es la segunda opción, que resulta más económica, pero que dificulta la accesibilidad de los operarios, necesaria para llevar a cabo las operaciones de mantenimiento.

Además, en estas pequeñas plantas compactas no siempre es posible el cumplimiento de los parámetros de diseño habitualmente recomendados. Para asegurar que este tipo de depuradoras permiten alcanzar y mantener un efluente de calidad, se ha desarrollado a nivel europeo el mercado CE (norma UNE-EN 12566-3), si bien es aplicable únicamente a plantas de menos de 50 habitantes equivalentes. Se describe a continuación la situación actual de las tecnologías mencionadas.

1. **Aireación prolongada:** Es la tecnología más implantada actualmente en el rango de las pequeñas poblaciones, pese a que su aplicación a pequeña escala presenta complicaciones, principalmente relacionadas con la etapa de clarificación, que debe hacer frente a las fuertes variaciones de caudal



que experimentan a lo largo del día las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas. Estas variaciones dan lugar a sobrecargas hidráulicas, que provocan la fuga de fangos en los efluentes depurados, con la consiguiente pérdida de calidad de los mismos. Otro hándicap de esta tecnología es su elevado consumo energético, situado entre 2 y 2,5 kWh/kg DBO₅, superior al de otras tecnologías intensivas. Consumo que podría optimizarse mediante sistemas de regulación del aporte de oxígeno, pero que no suelen instalarse en las pequeñas unidades de tratamiento, en las que se tiende a simplificar, tanto a nivel de equipamiento como de control.

2. **Reactores secuenciales:** El empleo de estos reactores está especialmente indicado para el **tratamiento de aguas residuales generadas de forma discontinua, o irregular** lo que justifica **su aplicación, cada vez mayor, en el rango de las pequeñas aglomeraciones urbanas.**

Los SBR operan a baja carga y se caracterizan porque las fases de depuración del agua residual y la de separación del fango transcurren en el mismo depósito, extrayéndose el agua tratada del reactor de forma discontinua. Por ello, **son más compactos que los sistemas de Aireación Prolongada**, al integrar la etapa de decantación, lo que no hace necesario el bombeo de recirculación de fangos al reactor. Otra ventaja adicional estriba en que los SBR aseguran **una decantación hidráulicamente estable.**

El SBR puede trabajar con alimentación continua o intermitente y con una sola unidad o varias en paralelo. En pequeñas poblaciones se suele trabajar con alimentación intermitente, por lo que es necesario disponer de más de una línea de tratamiento, o de un depósito previo de almacenamiento. De esta forma se alimentan los reactores de forma más controlada y se mejora el régimen hidráulico de alimentación, separándose mejor las distintas etapas del proceso. En pequeñas aglomeraciones **se suele trabajar con un único ciclo de duración total constante**, que puede modificarse, de forma manual, en base a las analíticas realizadas y los cambios previstos en el agua residual, pues de lo contrario se requeriría de personal altamente cualificado en la planta y de un sistema de control adecuado.

Cataluña es una de las regiones en las que más se ha implantado esta tecnología en pequeñas poblaciones. Actualmente, la Agencia Catalana del Agua tiene en explotación aproximadamente 30 instalaciones, la mayoría de ellas de tipo compacto prefabricadas, que dan servicio a poblaciones menores de 2.000 habitantes equivalentes.

En varios estudios se ha observado **un elevado rendimiento en eliminación de fósforo en sistemas secuenciales de alimentación continua**, con concentraciones en el efluente final inferiores a 1 mg/l, por lo que convendría estudiar estos sistemas con mayor profundidad así como el potencial existente para la eliminación de este nutriente en sistemas de alimentación discontinua. Las investigaciones que la actualidad se llevan a cabo sobre la tecnología SBR se enfocan principalmente a:

- Mejorar la eficiencia en eliminación de fósforo.
- El tratamiento conjunto de aguas residuales e industriales.

3. **Lechos bacterianos:** Constituyen **la tecnología de biopelícula más extendida**, contando con una larga tradición en el campo de la depuración de aguas residuales y que, con la aplicación como relleno de nuevos materiales plásticos, ha solventado antiguos problemas de colmatación del sustrato filtran-



te. En aquellos casos en que se requiera eliminar nitrógeno, se puede alcanzar una desnitrificación parcial pero que implica un elevado consumo eléctrico. Los Lechos Bacterianos tienen un consumo energético inferior al de los procesos de fangos activos (0,6-0,9 kWh/kg DBO₅), presentando una buena tolerancia a sobrecargas hidráulicas y orgánicas puntuales. Además, como el resto de procesos de biopelícula, **son más adecuados que los procesos de fangos activos para el tratamiento de aguas residuales diluidas.**

4. **Contactores biológicos rotativos (RBC):** El empleo de materiales adecuados (tanto en los ejes, como en el material soporte) ha permitido resolver los antiguos problemas mecánicos asociados a esta tecnología, que cuenta con instalaciones repartidas por todo el territorio. En la actualidad, varias casas comerciales ofrecen este tipo de diseños, pero aún no han sido suficientemente estudiados en España. El consumo energético de los RBC es ligeramente inferior al de los Lechos Bacterianos (0,3-0,7 kWh/kg DBO₅).
5. **Lechos aireados sumergidos (SAF):** En este tipo de reactores la biopelícula se desarrolla sobre un soporte sumergido y, en la mayoría de los casos fijo, sin movimiento alguno. El aire se introduce por la parte inferior, normalmente mediante el empleo de difusores de membrana. Requieren de una decantación primaria previa y una secundaria posterior. El agua puede introducirse en el reactor por la parte inferior, o superior (sistemas co-corriente o contracorriente). A diferencia de los biofiltros, no requieren operación de contralavado, y el control del crecimiento de la biopelícula se consigue mediante el rozamiento y el burbujeo provocados por la aireación.

Es inevitable que, tras un largo periodo de funcionamiento, la calidad del efluente se deteriore, debido al atascamiento del lecho, o al desprendimiento de biopelícula en exceso, que debe ser eliminada mediante retrolavado con aire, durante aproximadamente entre 10 y 20 minutos.

Los SAF presentan una elevada tolerancia a las fluctuaciones en la cantidad y calidad de los influentes a tratar, su mantenimiento es simple y baja su generación de fangos. Además son sistemas compactos y robustos, por lo que **resultan especialmente apropiados para el tratamiento de las aguas residuales generadas en pequeñas aglomeraciones**⁴⁶.

En Galicia existen varias instalaciones que disponen de esta tecnología, caso de la EDAR de Quenllo (2.000 habitantes equivalentes) y la de Abegondo (200 habitantes equivalentes). El seguimiento durante un año de esta última instalación dio como resultado un 90%, de media, de eliminación de DBO₅ y un 75% de eliminación de nitrógeno total, trabajando en un rango de carga orgánica de 0,25-1,4 kg DBO₅/m³.d, siendo el valor de diseño de 0,5 kg DBO₅/m³.d. El consumo energético se optimizó mediante el empleo de aireación intermitente, pasando de 1,6 kWh/kg DBO₅ a 0,2 kWh/kg DBO₅.

⁴⁶ Novoa, R., Molina, J., Jácome, A., Suárez, J., Ferreiro, S. 2012. *Removal of carbon and nitrogen of municipal wastewater with submerged filters. Experience from a full scale plant.* Libro de Actas. X Reunión Mesa Española de Tratamiento de Aguas. Almería, 4 a 6 de octubre. 295-298. ISBN: 978-84-15487-33-3.



- 6. Procesos híbridos (IFAS): El sistema híbrido de Biomasa Fija sobre Lecho Móvil combinado con Fangos Activos, ha sido empleado por Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (NILSA) en varias de sus instalaciones.** La ampliación de plantas ya existentes y con falta de espacio, constituye **una de las aplicaciones más interesantes de estos procesos.**

La EDAR de Isaba en Navarra, con capacidad de 230 m³/d, fue ampliada mediante el uso de esta tecnología. Inicialmente, la EDAR constaba de un sistema de biodiscos, que únicamente eliminaba materia orgánica. La adición de un reactor híbrido (IFAS), con recirculación a cabecera de parte de los fangos decantados, ha mejorado la calidad del efluente final, en el que se reduce no sólo materia orgánica, sino también nitrógeno total. Además, la conversión del antiguo decantador primario en un reactor anaerobio en cabecera del proceso, al que se envían los fangos recirculados, favorece la eliminación parcial del fósforo.

3.1.3. Combinación de tecnologías de tratamiento

En determinadas ocasiones, la aplicación de una tecnología aislada no permite alcanzar la calidad exigida al efluente final. En estos casos, es posible optar por la combinación de dos o más tecnologías, o de algunas de sus etapas, al objeto de aprovechar los puntos fuertes que presente una tecnología para solventar las deficiencias y carencias de otra y, de esta manera, crear sinergias. La **combinación de tecnologías**, además de permitir el vertido conforme de las aguas depuradas al medio ambiente, también puede perseguir otros fines, como:

- Simplificar y abaratar la gestión de los fangos.
- El vertido de los efluentes depurados al terreno cuando no existe cauce próximo.
- Desinfectar y almacenar los efluentes depurados.
- Homogeneizar la calidad del vertido final.
- Aprovechar infraestructuras existentes (reciclado de instalaciones obsoletas).
- Eliminar nutrientes.

Entre las combinaciones de tecnologías más frecuentes cabe destacar:

- La implantación de una etapa anaerobia en cabecera del sistema de tratamiento para facilitar la gestión de los fangos en exceso.
- El empleo de sistemas de aplicación al terreno para el vertido de aguas depuradas.
- El uso de lagunas de maduración como tratamiento de desinfección.
- Combinaciones con filtros de turba (empleo de los filtros de turba como tratamiento previo; empleo de los filtros de turba en sustitución de la etapa de decantación secundaria; empleo de los filtros de turba para la deshidratación de fangos).
- La aplicación de humedales artificiales de flujo superficial como tratamiento terciario.
- El empleo de humedales artificiales de flujo vertical en sustitución de la etapa de decantación secundaria.



3.1.4. Tecnologías actualmente en fase de experimentación y desarrollo

En la actualidad, entre las tecnologías en fase de experimentación en el campo del tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, se encuentran:

- La **aplicación de técnicas de fotocátalisis solar para la desinfección y eliminación de contaminantes emergentes** (Proyecto FOTOREG www.ual.es/Proyectos/FOTOREG/index.htm).
- El **empleo de nanomateriales naturales, o modificados, en tecnologías de tratamiento de aguas residuales basadas en procesos de filtración.** (Proyecto NANOWAT, www.nanowat.eu).
- La **aplicación de técnicas bioelectrogénicas.** La bioelectrogénesis es un novedoso proceso por el cual determinadas bacterias pueden oxidar materia orgánica y transferir directamente los electrones generados a una superficie sólida conductora como, por ejemplo, el grafito. De esta forma se puede obtener y almacenar energía limpia. (Proyecto AQUAELECTRA, www.aquaelectra.es).

Por otra parte, en cuanto a la aplicación de manera general, en instalaciones de diferentes tamaños, de acuerdo con el informe “*Water sector: Change on the horizon*” (2013) realizado por Economics Research India Pvt. Ltd (ERIL), **las tendencias prevalecientes en el tratamiento de las aguas residuales son:**

- **El crecimiento en el uso de plantas de tratamiento descentralizadas de las cuales el reciclado de agua es una característica integral del diseño.**
- **Creciente dependencia de plantas satélites de recuperación de agua que eliminan los costos de infraestructura elevados típicos del tratamiento central de aguas residuales.**
- **Tecnologías de separación mediante membranas usando tecnologías de ósmosis inversa, microfiltración o ultrafiltración para permitir que el agua vuelva a utilizarse.**
- **Uso de biorreactores de membrana y los sistemas de cero líquidos de descarga** por parte de los administradores de tratamiento de aguas residuales industriales.
- **Extracción de aceites y grasas de las aguas residuales para su conversión a biodiesel.**
- **Uso de sistemas de cogeneración usando biogás como combustible en instalaciones de tratamiento de aguas residuales.**
- **Uso de metano proveniente de la deshidratación de lodos en celdas de combustible de energía.**
- **Uso de bombas de calor de fuente de agua.** Las bombas de calor de fuente de agua se utilizan en Japón para **extraer energía del calor residual de las aguas residuales**, después del tratamiento y antes de la descarga a los emisarios. Una tecnología de extracción de calor similar se está desarrollando para la **extracción de calor de las aguas residuales en las tuberías cloacales.** Las temperaturas de las aguas residuales son de un promedio de alrededor de 16 grados centígrados y este calor puede utilizarse como un recurso energético.



3.2. Aguas residuales industriales

Por otra parte, el **tratamiento de aguas residuales industriales tiene ciertas diferencias con el tratamiento de aguas de uso doméstico o de zonas urbanas**. Se consideran aguas residuales industriales aquellas que son vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años. Pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales. En la tabla 11 se presenta una clasificación de los tratamientos convencionales en función de los contaminantes presentes en el agua residual industrial. Como ya se ha comentado son técnicas clásicas de tratamiento químico, físico y/o biológico.

En cuanto a los tratamientos emergentes, se pueden considerar 2: Oxidación y membranas (Véase Tabla 12). Los procesos de oxidación ya se comentaron en el apartado 5.2. *Calidad del agua* y a continuación se realizará una breve descripción de las diferentes membranas utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales.

 **TABLA 11**
Tratamientos convencionales del agua residual industrial

Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión	Tratamientos para la eliminación de materia disuelta	Tratamientos biológicos
<ul style="list-style-type: none">• Desbaste• Sedimentación• Filtración• Flotación• Coagulación-Floculación	<ul style="list-style-type: none">• Precipitación• Procesos Electroquímicos• Intercambio Iónico• Adsorción• Desinfección	<ul style="list-style-type: none">• Procesos biológicos aerobios• Procesos biológicos anaerobios• Procesos biológicos de eliminación de nutrientes

Fuente: *Elaboración propia*

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Esto permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.



TABLA 12
Tratamientos emergentes del agua residual industrial

OXIDACIÓN	MEMBRANAS
<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación Química • Procesos avanzados de oxidación (AOP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Membranas microporosas • Membranas densas • Membranas cargadas eléctricamente • Membranas anisótropas

Fuente: *Elaboración propia*

La rápida expansión, a partir de 1960, de la utilización de membranas en procesos de separación a escala industrial ha sido propiciada por dos hechos: la fabricación de membranas con capacidad para proporcionar elevados flujos de permeado y la fabricación de dispositivos compactos, baratos y fácilmente intercambiables donde disponer grandes superficies de membrana. Las membranas se pueden fabricar con materiales poliméricos, cerámicos o metálicos. Atendiendo a su estructura física se pueden clasificar en:

3.2.1. Membranas microporosas

Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Las membranas que se encuadran en este grupo tienen una distribución de diámetros de poro de 0.001mm – 10mm. Los procesos de depuración de aguas que utilizan estas membranas, microfiltración y ultrafiltración, se basan en impedir por exclusión el paso a través de la membrana de aquellos contaminantes de mayor tamaño que el mayor diámetro de poro de la membrana, siendo parcialmente rechazadas aquellas sustancias cuyo tamaño está comprendido entre el mayor y el menor de los diámetros del poro. En este tipo de membranas la fuerza impulsora responsable del flujo de permeado a través de la membrana es una diferencia de presión.

3.2.2. Membranas densas

Estructuras sin poros donde el paso de las sustancias a través de la membrana sigue un modelo de solución-difusión, en el que los componentes de la solución se disuelven en la membrana y posteriormente se difunden a través de ella. La diferente solubilidad y difusividad de los componentes de la solución en la membrana permiten la separación de sustancia del tamaño de moléculas e iones. Debido a las fuertes presiones a las que tienen lugar estos procesos las membranas son de tipo anisótropo. La **ósmosis inversa** y la **nanofiltración** son procesos que utilizan este tipo de membranas.

3.2.3. Membranas cargadas eléctricamente

Pueden ser porosas o densas, con restos aniónicos o catiónicos fijados en la estructura de la membrana. La separación es consecuencia de la carga de la membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana. La separación también depende de la carga y concentración de los iones de la solución: los iones monovalentes son excluidos menos eficazmente que los divalentes, así mismo, el proceso de separación es menos efectivo en soluciones de elevada fuerza iónica. Estas membranas se utilizan en los procesos de electrodiálisis.



3.2.4. Membranas anisótropas

Las membranas anisótropas son estructuras laminares o tubulares donde el tamaño de poro, la porosidad o la composición de la membrana cambia a lo largo de su espesor. Están constituidas por una delgada película (densa o con poros muy finos) soportada en otra más gruesa y porosa, de tal forma que la primera es la responsable del proceso de separación y la segunda aporta al sistema la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones de trabajo. La película responsable del proceso de separación y la que aporta la resistencia mecánica pueden estar fabricadas con el mismo material (membranas de Loeb-Sourirajan) o con materiales diferentes (membranas de tipo composite).

Debido a que la velocidad de paso de las sustancias a través de la membrana es inversamente proporcional a su espesor, las membranas deberán ser tan delgadas como sea posible. Mediante la fabricación de membranas anisótropas (asimétricas) es posible conseguir espesores de membranas inferiores a 20 mm, que son los espesores de las membranas convencionales (isótropas o simétricas). **La mejora en los procesos de separación, debido a este tipo de membranas, ha hecho que sean las de elección en los procesos a escala industrial.**

La naturaleza de la membrana modificará las velocidades de paso de las sustancias disueltas en el agua, a través de ella, consiguiendo de esta forma un flujo de permeado con una concentración de contaminantes que cumpla las normativas del uso que se le pretenda dar.

En función de los parámetros del agua a tratar y de los tipos de membranas existe una amplia gama de aplicaciones. Las tecnologías más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales industriales se pueden agrupar atendiendo a la fuerza impulsora responsable del flujo de permeado (*Véase tabla 13*).



TABLA 13

Tecnologías de tratamiento de aguas residuales

Tecnologías	Fuerza impulsora
Microfiltración (MF) Ultrafiltración (UF) Ósmosis inversa (RO) Nanofiltración (NF)	Diferencia de presión transmembrana
Electrodialisis	Diferencia de potencial eléctrico transmembrana

Fuente: Madrid+D

En la **microfiltración y la ultrafiltración** las membranas actúan como tamices moleculares. La relación tamaño de sustancias contaminantes/distribución de tamaño de poros permite la exclusión de contaminantes en el permeado. Así, las sustancias mayores que el mayor tamaño de los poros serán totalmente rechazadas por la membrana, y las sustancias cuyo tamaño esté comprendido entre el mayor y menor tamaño de poros serán parcialmente rechazadas. Cada una de estas tecnologías se utiliza para la eliminación de unos componentes determinados:



- **Microfiltración (MF):** Clarificación de soluciones coloidales y turbias. Eliminación de partículas, bacterias, etc. de aguas de proceso para industria química, alimentaria y farmacéutica.
- **Ultrafiltración (UF):** Eliminación de virus, bacterias, pirógenos, etc. de aguas de proceso para las industrias.

Los costes de capital y de operación de la ultrafiltración son todavía demasiado altos para que pueda aplicarse como única tecnología de tratamiento de grandes caudales de agua residual, pero si tiene ya un importante campo de aplicación, en combinación con otras tecnologías, como es el caso de los reactores biológicos de membrana o como pretratamiento en los procesos de Ósmosis Inversa.

El proceso de **Ósmosis inversa (RO)** consiste en generar, mediante una membrana permeable al agua, una solución acuosa con bajo contenido en sal a partir de otra con alto contenido en sal. Es la tecnología utilizada para producir agua desalada a partir de agua de mar (*Véase 5.1. Desalinización*). Igual que en MF y UF, la causa que genera la fuerza impulsora para lograr la separación de la sal es una diferencia de presión transmembrana. Sin embargo, en la RO el proceso de separación se debe a las diferentes solubilidad y difusividad en la membrana de los componentes de la solución acuosa.

Los **objetivos de las plantas de RO instaladas** se distribuye de la siguiente forma: 50 % en desalinización de agua de mar y agua salobre; 40 % en la producción de agua ultrapura para las industrias electrónica, farmacéutica y de producción de energía y **10 % como sistemas de descontaminación de aguas urbanas e industriales**. Esta última aplicación de la RO está limitada por los altos costes de operación debido a los problemas de ensuciamiento de las membranas.

En cuanto a la **Nanofiltración (NF)**, las prestaciones de esta tecnología son intermedias entre la UF y RO. Se aplica para el tratamiento de aguas con una concentración salina de 200 mg/L – 5000 mg/L con presiones de trabajo de 7bar – 14 bar, de ahí que también se denomine ósmosis inversa de baja presión. Se utiliza en el tratamiento de aguas de consumo en pequeñas comunidades, eliminación de la dureza del agua y como pretratamiento para la obtención de agua ultrapura.

A la vista de las principales aplicaciones de **RO/NF**, **resulta evidente que las calidades del agua obtenida son suficientes para poder ser reutilizadas en las condiciones más exigentes**. Para que estos procesos sean competitivos y tengan una mayor presencia en el tratamiento de aguas urbanas e industriales, será necesario un mayor desarrollo del sector con el fin de fabricar membranas más baratas, que permitan menores presiones de trabajo y reduzcan los problemas de ensuciamiento.

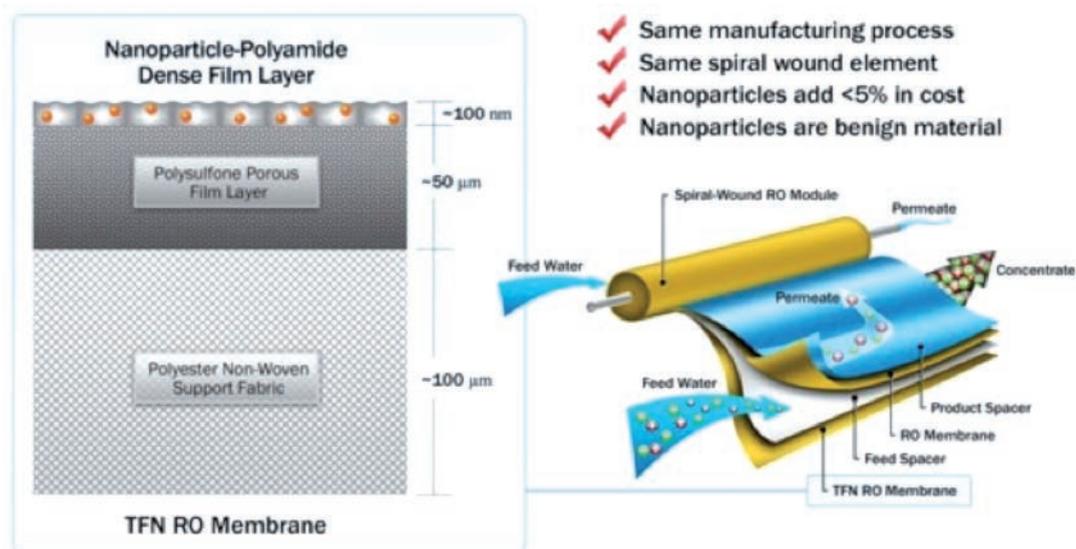
Una alternativa para mitigar, y si se puede prevenir, el ensuciamiento de las membranas es la fabricación de un nuevo tipo de éstas, denominadas **membranas nanocompuestas**. Es el caso de las desarrolladas por el Grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid). Esta nueva clase de membranas se fabrican a partir de dopar a las tradicionales membranas poliméricas con materiales inorgánicos de escala nanométrica (*Véase Figura 19*).

Dichas nanopartículas aportan un carácter hidrófilo adicional a este nuevo material con vistas a mitigar las posibles interacciones entre los contaminantes orgánicos y la superficie de las membranas. Las ventajas directas que aportan estos materiales dopantes son numerosas: incremento del flujo, aumento de



la calidad del agua y en algunos casos, en dependencia del material dopante seleccionado, proporcionan a las membranas de propiedades antimicrobianas.

FIGURA 19 Membranas nanocompuestas desarrolladas por el Grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid)



Fuente: Madrid+D

Prever o mitigar el ensuciamiento de las membranas disminuye la demanda de energía que requerida para la obtención del producto (agua), así como reduce el uso de productos químicos para la limpieza de la membrana. Ambos factores generan una importante disminución de costes, política que se antoja hoy en día de vital importancia.

Por último, los procesos de separación basados en la **electrodiálisis utilizan membranas donde se han incorporado grupos con cargas eléctricas**, con el fin restringir el paso de los iones presentes en una solución acuosa. En estos procesos la “*fuera impulsora*” responsable del flujo de los iones, a través de la membrana, es una diferencia de potencial eléctrico.

La electrodiálisis necesita energía eléctrica continua, luego **la economía del proceso se basa en optimizar la energía eléctrica consumida en la separación del concentrado y el efluente desalinizado.**

El mantenimiento del nivel desarrollo de los últimos años, como lo demuestra la **aplicación de las membranas en nuevos procesos de separación**: pervaporación, reactores de membranas, piezodialisis, aplicaciones médicas, etc.; junto con la **aparición de nuevos materiales que permitan, además de la depuración del agua, la recuperación de sustancias valiosas**, hacen prever unas buenas perspectivas de futuro para estos procesos.



En las plantas de tratamiento avanzado de aguas residuales para usos de regeneración ambiental (reinyección de acuíferos, barreras de intrusión salina, etc.) o para usos de reutilización potable indirecta (RPI) y directa (RPD), la configuración multibarrera es la más extendida. **El enfoque multibarrera para la regeneración de aguas debe visualizarse como un sistema secuencial de procesos que previenen la contaminación a través de diferentes tratamientos (barreras) hasta asegurar un agua de excelente calidad.**

La integración de las tecnologías de filtración por membrana en los tratamientos multibarrera aumenta la robustez y eficacia del tratamiento, así como la sostenibilidad del proceso a largo plazo. En particular, **tecnologías como los bioreactores de membranas (MBR) y la ósmosis inversa (OI), acoplados a otros procesos de oxidación avanzada (POA), están en una posición inmejorable para ofrecer importantes beneficios en la reutilización, sobretodo comparado a los tratamientos terciarios convencionales.** Los MBR son más eficaces en la eliminación de compuestos orgánicos, nutrientes, e incluso los llamados contaminantes emergentes (CEs). También obtienen un agua idónea para su alimentación directa a un sistema de OI, la cual asegura la separación casi absoluta de sales, materia orgánica y patógenos de manera constante. Por último, los POA llevan a cabo la oxidación final de aquellos contaminantes persistentes, produciendo un agua de calidad superior a la requerida para usos potables.

Los beneficios y ventajas de los tratamientos basados en membranas acoplados a procesos de oxidación avanzada para la regeneración de agua están ampliamente validados en sistemas en operación. Las tecnologías de membranas ofrecen cada vez una mayor capacidad de rechazo frente a contaminantes peligrosos, y costes cada vez más competitivos. Las innovaciones en los POA con nuevos oxidantes, catalizadores y sistemas, sugieren que la eliminación de los contaminantes emergentes también es posible con menor impacto económico y medioambiental.

4. Eficiencia en el uso del agua y la energía

Agua y energía son dos bienes cada vez más escasos que se encuentran íntimamente ligados. Se requiere energía para captar el agua, transportarla, potabilizarla, distribuirla, tratarla, reutilizarla, etc. y a su vez, se necesita agua para generar electricidad en las centrales hidroeléctricas, para refrigerar turbinas de centrales térmicas, así como para extraer petróleo, para cultivar biomasa o biocombustibles, para producir hidrógeno, entre otros usos. En este apartado se tratarán dos áreas importantes para la eficiencia en el uso del agua y la energía, como son la gestión del agua de riego y la eficiencia energética en instalaciones de tratamiento de agua.

4.1. Gestión del agua de riego

La escasez de agua representa un problema grave que es necesario solucionar. Las redes de información meteorológica, de medida y control del agua, proporcionan gran cantidad de información para realizar una adecuada gestión y planificación de los recursos hídricos.



La principal característica de los recursos hídricos en España es la diversidad. Las precipitaciones no sólo son escasas en gran parte del territorio, sino que además se distribuyen de forma irregular anualmente. Como compensación, debe buscarse una reducción de esta vulnerabilidad mediante una gestión adecuada de los recursos hídricos.

Tradicionalmente, los sistemas de gestión de redes de riego en parques, jardines y municipios venían vinculados a costosos equipamientos en los que un potente computador a través de un software analizaba las innumerables variables introducidas o recibidas a través de una estación meteorológica. Datos que a su vez debía supervisar un técnico municipal, preocupado no sólo por las incidencias meteorológicas de su municipio sino por atender múltiples demandas ciudadanas, dar respuestas adecuadas y en tiempo y forma a su concejal y, en su tiempo libre, diseñar jardines públicos.

Los principales sistemas de riegos existentes en las zonas verdes urbanas en España se basan principalmente en el riego por aspersión o difusión, riego por goteo o riego subterráneo. Cada uno de estos tipos de riego se aplica en función del elemento vegetal a regar, así el riego por aspersión o difusión se utiliza para praderas cespitosas en un porcentaje de hasta el 30% con una eficacia media de hasta el 60%, el riego por goteo se aplica a los macizos arbustivos de parques y jardines lo que supone una aplicación sobre todas las zonas verdes ajardinadas del 60%, con una eficiencia hídrica de hasta el 80%, por último el riego subterráneo se aplica para el aporte hídrico del arbolado de alineación, con una eficiencia igual o superior al de riego por goteo.

Para conseguir una gestión sostenible del agua en las áreas verdes, es clave afrontar, desde las diferentes perspectivas – ambiental y tecnológica - los siguientes objetivos estratégicos:

- Perspectiva ambiental-socioeconómica: tendrá una vital importancia la búsqueda de soluciones que permitan una mejor adaptación al cambio climático; la generalización en el uso de las aguas regeneradas en las áreas verdes.
- Perspectiva tecnológica: Los esfuerzos irán encaminados en las siguientes líneas de actuación: Actuaciones de mejora tecnológica sobre los sistemas actuales; la gestión a tiempo real de los sistemas de riego a través de tecnologías de telecontrol; fuentes alternativas para la obtención de recursos hídricos.

Hoy en día, las posibilidades de intervenir de manera activa sobre la gestión de redes de riego se han multiplicado. Desde el control del riego dependiendo de la temperatura, de la lluvia o de la humedad del suelo mediante diferentes sensores o estaciones meteorológicas conectadas a los controladores, que permiten a estos últimos no actuar si no es necesario, hasta la posibilidad de reducir o incluso detener los programas de riego en invierno o estaciones lluviosas con un solo botón.

A ellas se les une también la posibilidad de ajustar la cantidad de agua empleada dependiendo del tipo de césped a regar y de la dimensión de éste, usando sistemas de aspersión o de spray, incluso recurriendo a **sistemas de microrriego o de programación de goteo para gastar el agua estrictamente necesaria en zonas pequeñas o para regar exclusivamente las raíces de algunas plantas**. Éstas y otras aplicaciones pueden integrarse en el diseño del sistema, estricto y cuidadoso, y programarse de tal manera que se tenga en cuenta no sólo el riego en sí, sino también las distintas posibilidades que ofrece cada fabricante.



Desde un punto de vista agrícola, con el objetivo de reducir la complejidad conceptual de definir en cada momento los requerimientos de agua de un cultivo, en los últimos años han cobrado un especial interés las **investigaciones tendentes a recurrir al propio cultivo como indicador de sus necesidades de riego, evaluando de forma directa su estado hídrico**. De entre las diversas tendencias existentes, cobran una especial relevancia aquellas **basadas en la utilización de sensores en las plantas capaces de informar, de forma automática y en tiempo real, del estado hídrico de las mismas**, evitando otras alternativas, más laboriosas, y que obligan a realizar frecuentes desplazamientos al campo.

En este sentido, recientes investigaciones han demostrado que usando **sensores LVDT (*linear variable displacement transducer*) para el registro de las fluctuaciones diarias del diámetro del tronco, y más concretamente su máxima contracción diaria (MCD), es posible conocer el estado hídrico del árbol y programar el riego**.

Por otra parte, en grandes espacios (municipalidades, parques públicos, zonas verdes de ciudades...) se están empezando a implementar **sistemas inteligentes de telegestión**. No sólo permiten controlar el riego en todo momento, sino que sirven también para auditorías del gasto del agua y de la electricidad, avisos de posibles fallos en el sistema o indicadores de eficiencia. El responsable de mantenimiento y gestión de los espacios verdes puede, en todo momento, desde su puesto y por medio de un software de control, monitorizar y controlar el uso razonable del agua, tanto si se trata de grandes zonas como incluso de ciudades enteras.

Otra de las tendencias es la utilización de la **teledetección**, que permite, entre otras funciones, realizar estimaciones sobre la evapotranspiración, determinar la humedad de los suelos, evaluar la calidad de las aguas superficiales o localizar aguas subterráneas.

Por otra parte, las **redes de medida de disponibilidad y calidad del agua** están orientadas a desarrollar una óptima planificación global de los recursos hídricos. A la hora de diseñar redes para la medida y control del agua destinado a los diferentes usos o aplicaciones, lo primero es definir los requisitos que deben cumplir las estaciones medidoras, de modo que sean capaces de proporcionar información útil a los usuarios.

Un ejemplo de la implantación de este tipo de sistemas es el “*Sistema SKYgreen*” que ha sido puesto en marcha por las empresas Regaber y Casper, en colaboración con la Concejalía de Medio Ambiente de la ciudad de Segovia (España), y se caracteriza por ser totalmente inalámbrico, lo que facilita la programación del riego a distancia, minimizando el mantenimiento y mejorando su eficacia, al poder detectar averías y roturas, y gestionar el consumo de agua en tiempo real.

Entre las principales ventajas del sistema de telegestión SKYgreen destacan:

- Gestión automática y remota del riego con información en tiempo real.
- Coste de comunicaciones bajo o nulo (opción WiFi).
- Herramienta de gestión de tareas, notificaciones, averías... compartida entre los gestores de la red riego, facilitando el mantenimiento y minimizando el coste asociado.
- Programación y configuración de los equipos de forma remota, evitando desplazamientos.
- Paro del riego automático en función de variables meteorológicas, facilitando un óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos.

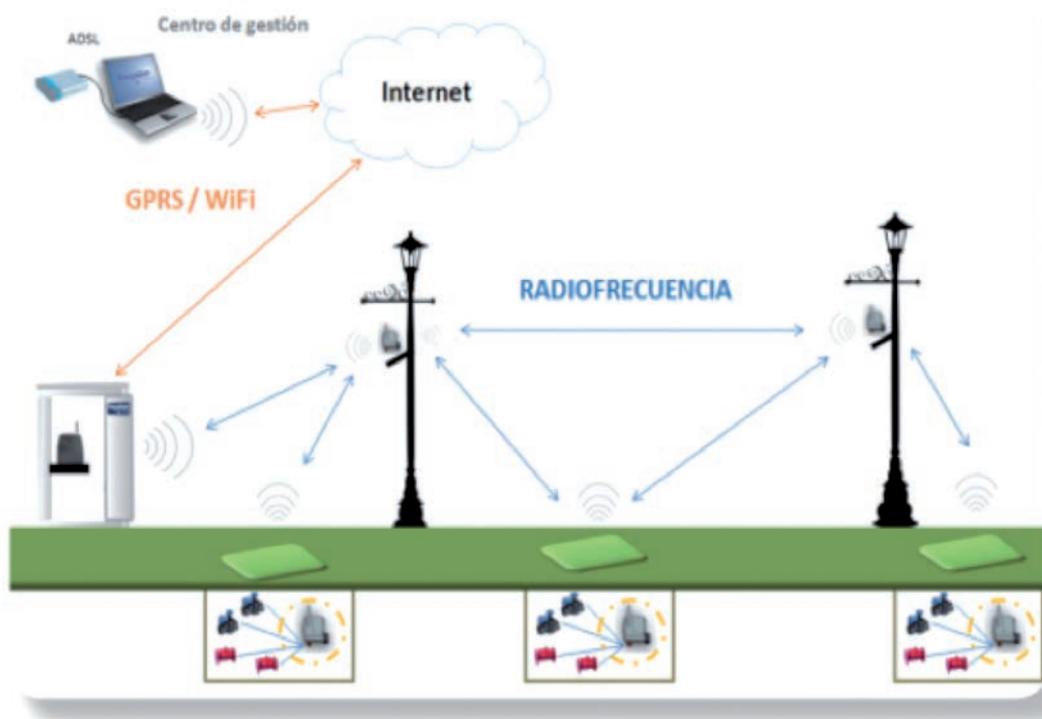


- Fácil diagnóstico y rapidez de respuesta ante incidencias.
- Adaptabilidad a cualquier red de riego sin necesidad de cambiar los dispositivos de riego ya instalados.

El sistema es totalmente inalámbrico y se compone de 4 elementos principales:

- **Máster:** gestiona el intercambio de información del sistema con el software de gestión.
- **Secundarios:** equipos encargados de realizar la apertura/cierre de las electroválvulas, lectura de contadores y gestión de todo tipo de sensores.
- **Router:** elemento encargado de encaminar la señal de los secundarios al máster.
- **Software de gestión con acceso web:** permite gestionar toda la red de riego en tiempo real.

FIGURA 20
Sistema SKYgreen



Fuente: www.regaber.com

Además, se trata de un sistema que puede reducir los costes en recursos hidráulicos, ya que se prevé que permita ahorrar hasta un 45% del consumo de agua, con respecto a otros sistemas de riego convencionales, así como **maximizar la utilización de estos recursos hídricos y humanos**.

Otro ejemplo de sistema avanzado de telecontrol de riego aplicado a la agricultura en España es **“aquAr-son”**, realizado por el Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, Neiker-Tecnalia, junto a la empresa vasca de ingeniería Arson. En 2011 desarrollaron este sistema de telecontrol de riego que permite



ahorrar hasta un 20% de agua en cada cosecha respecto a los métodos tradicionales. Con esta tecnología se **controlan de manera centralizada la programación de los turnos de riego y los consumos de cada regante, permitiendo una gestión basada en criterios hidráulicos y energéticos que incrementan la eficiencia del uso del sistema de riego.**

Adicionalmente, los datos proporcionados por el telecontrol aquArson son aprovechados para detección de averías hidráulicas y para el manejo agronómico de las fincas. La avanzada tecnología del sistema aquArson permite la formación de una **red de unidades remotas, tendidas a lo largo del sistema hidráulico, conectadas mediante comunicaciones inalámbricas por radiofrecuencia con un Centro de Control de Riego, que contiene una aplicación para el control y la gestión del sistema de riego.**

Una de las medidas para conseguir una gestión adecuada de los recursos hídricos en la agricultura es la automatización y telecontrol de los sistemas de riego. Se trata de registrar y repartir de un modo adecuado las cantidades de agua que se manejan en riego, utilizando diversas herramientas tecnológicas proporcionadas por la electrónica digital.

La avanzada tecnología de aquArson permite formar una red de unidades remotas comunicadas con radiofrecuencia que, conectadas a un software de gestión y control central, mandan la orden de riego a los hidrante y recogen la información de los riegos ejecutados y del funcionamiento hidráulico de la instalación. La orden de riego se envía desde una aplicación de gestión y control desarrollada expresamente para el fin de manejar el sistema de riego, instalada en un ordenador ubicado en la oficina de la comunidad de regantes. De esta forma se controlan los puntos de riego de cada parcela, en tiempo real, desde la oficina de la comunidad de regantes.

El sistema de telecontrol aquArson, instalado cuenta con 20 equipos de comunicación remota, distribuidos en 40 terrenos de cultivo. Cada dispositivo tiene autonomía para poder controlar más de una parcela y, además de ejecutar la orden de riego, permite extraer información precisa de cada punto de cultivo.

El equipo dispone de unidades remotas con comunicación inalámbrica instaladas en cada unidad hidrante-toma de agua que proporciona el caudal adecuado para abastecer a la parcela-, que se comunican vía radiofrecuencia con el ordenador ubicado en la sede central de la comunidad de regantes. El sistema ayuda a flexibilizar la gestión de los regadíos, sujetos a estrictos turnos semanales, ya que los 20 equipos colocados en puntos clave de las fincas sirven para controlar “*on line*” la cantidad de agua suministrada a los terrenos.

Desde el centro de control se emite la orden que activa los puntos de riego de cada parcela, controlada mediante un avanzado software configurado en función de los criterios agronómicos de los profesionales. A la hora de decidir cuándo y qué cantidad de agua se suministra, **se tiene en cuenta las necesidades hídricas del terreno en ese momento, la cuota de suministro asignada a la comunidad, así como la tarifa del agua.**

Actualmente esta tecnología se encuentra instalada en diferentes comunidades de regantes⁴⁷ de Andalucía, Aragón, Murcia y Castilla y León:

⁴⁷ Las comunidades de regantes son corporaciones de derecho público que agrupan a los usuarios de agua para regadío y que se constituyen por ley para velar por el buen orden y uso racional del agua



Andalucía

- Comunidad de regantes de Valle Interior de Guadalquivir (Sevilla)
- Comunidad de regantes del Hundido (Sevilla)
- Comunidad de regantes de Valdezorras (Sevilla)
- Comunidad de regantes Margen Derecha del Bembezar (Sevilla)
- Comunidad de regantes Margen Izquierda del Bembezar (Sevilla)
- Comunidad de regantes de Pichardo de Bancos (Sevilla)
- Comunidad de regantes de Huerca Overa (Almería)
- Comunidad de regantes de Cairos Zabala (Almería)
- Comunidad de regantes de Cuevas de Almanzora (Almería)
- Comunidad de regantes de Almonte Marismas (Huelva)
- Comunidad de regantes de Valdemaría (Huelva)

Aragón

- Modernización del regadío del sector VIII y parte del sector IX del Canal de Flumen (Huesca)
- Comunidad de regantes de Fraga, Velilla de Cinca y Torrente de Cinca (Huesca)
- Comunidad de regantes Cuesta Falcón (Huesca)
- Comunidad de regantes Mas de la Punta (Huesca)
- Comunidad de regantes La Efesa-Escatrón (Huesca)
- Comunidad de regantes Dehesa de los Ganaderos (Zaragoza)

Murcia

- Comunidad de regantes de Blanca (Murcia)
- Comunidad de regantes Jesús del Perdón (Murcia)
- Comunidad de regantes de Santomera (Murcia)

Castilla y León

- Comunidad de regantes Junta de Valdemudarra (Valladolid)

Entre los aspectos aportados por esta pionera tecnología, destaca la posibilidad de combinar diferentes métodos de comunicación de modo transparente al uso. El sistema es capaz de establecer sus comunicaciones combinando GPRS, radiofrecuencia y cables (entre otros) para adaptarse a las necesidades de cada instalación de acuerdo al tipo de manejo necesario, al tamaño de la zona a regar y a su orografía.

El telecontrol aquArson permite instalar **sensores situados en puntos clave del sistema que transmiten información al Centro de control de Riego** para desempeñar diversas funciones, entre ellas: **detectar posibles roturas en tuberías, controlar factores climatológicos que pueden influir en el riego como son vientos fuertes o la precipitación de lluvia**, entre otros.

Entre las ventajas más destacadas se encuentra un ahorro en la cantidad de agua empleada por operación, que puede llegar a situarse entre un 15 y un 20%, en comparación a otros sistemas más convencionales.



Específicamente en Murcia, la **Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena** posee un **sistema de gestión integral del agua**. Las tecnologías que aplican han permitido un gran ahorro de agua, y un aprovechamiento de los recursos hídricos procedentes del Trasvase Tajo-Segura de manera eficiente, equitativa y transparente. Las herramientas utilizadas son sistemas de información geográfica (SIG)⁴⁸, Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)⁴⁹ y aplicaciones (apps) para web y telefonía móvil que permiten gestionar una superficie de regadío de más de 40.000 hectáreas de forma completamente automatizada, optimizando al máximo cada gota de agua.

4.2. Eficiencia energética de las instalaciones

Una buena gestión energética proporciona una mejora de la competitividad y sostenibilidad de estos procesos, una reducción de consumo energético y por ende de las emisiones gases de efecto invernadero y finalmente una reducción de los costes de producción, tratamiento y distribución del agua.

La eficiencia energética representa la relación entre el resultado de un proceso (producción de bienes y/o servicios, transformación de la energía) y la energía utilizada para realizar el proceso en cuestión. Existen factores tecnológicos y económicos que influyen en dicha eficiencia energética como la disponibilidad y el coste de la tecnología, su viabilidad, implantación, etc. (Véase Tabla 14).

 **TABLA 14**
Factores influyentes en la eficiencia

Factores Tecnológicos	Factores Económicos
Disponibilidad de tecnología	Precio de la energía
Viabilidad y/o madurez de la tecnología	Coste de la tecnología
Masa crítica para poder optar por una solución tecnológica	Coste de la implantación
Grado de dificultad de implementación	Tiempo del retorno de la inversión
Grado de dificultad de operación y mantenimiento	Ciclo de la inversión, amortización de los equipos
	Costes de operación y mantenimiento
	Coste del proyecto

Fuente: ingeagua

En la IV JORNADAS TÉCNICAS DE TELECONTROL DEL CICLO INTEGRAL DEL AGUA que tuvo lugar en Granada (España) el 11 y 12 de Abril de 2013, los responsables de la consultora de ingeniería INGEAGUA presentaron

⁴⁸ Un **Sistema de Información Geográfica** (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

⁴⁹ SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia



un “Manual de buenas prácticas de eficiencia energética para empresas gestoras de agua”, en el cual se resaltaban las principales tendencias del área, entre las que destaca:

- **Prioridad en el desarrollo de nuevas tecnologías en la recuperación de energía frente al uso de los vertederos**, que actualmente continúa siendo la más extendida.
- Aprovechamiento de la energía obtenida de los residuos, a través del desarrollo de combustibles alternativos: biocombustibles, y de combustibles líquidos a partir de residuos sólidos industriales.
- **Sistemas de valorización y recuperación de energía contenida en las emisiones gaseosas.**
- Implantación o mejora la fiabilidad de sensores para el control de procesos.
- Empleo de la lógica difusa en el control de procesos.
- **Células de combustible microbianas** (*Microbial Fuel Cells*, MFC) para convertir materia orgánica en electricidad.
- **Tipología y eficiencia de equipos de aireación en depuración de agua.**
- Mejorar la biodisponibilidad de los fangos.
- Reducir el consumo energético de la eliminación de nutrientes.
- **Tecnología de depuración con microalgas.**
- Tecnologías para la valorización energética de los fangos en húmedo.
- Actuar sobre el Factor de Potencia: optimización de los equipos a los puntos de operación, correcto mantenimiento de Grupos Moto-Bomba, Reducción de pérdidas por efecto Joule y optimización de cargas en las conducciones.
- Ahorrar energía ahorrando agua: **control de presiones y caudales, reducir pérdidas y mejorar la eficiencia hidráulica.**

Todas estas medidas bien implementadas pueden suponer un ahorro de coste no sólo económico sino a nivel de recursos energéticos e hídricos, de manera que se obtenga esa deseada eficiencia en la gestión de dichos recursos.



DISCLAIMER





Se desea indicar que la clasificación internacional de las patentes se realiza en base a criterios objetivos. No obstante, la interpretación de documentos siempre implica un cierto grado de subjetividad, y el hecho de que la clasificación la realicen distintos Examinadores, procedentes de diferentes sectores técnicos y países de origen (y, por tanto, diferentes idiomas), deja un cierto margen a la subjetividad e interpretación de algunos conceptos. Por ello, siempre se debe tener en cuenta que hay que aceptar cierto margen de error.

Durante las investigaciones sólo se pueden detectar aquellos expedientes (sea patentes o modelos de utilidad) que ya han sido publicados. En España (como en la mayoría de los países), las solicitudes de modelos de utilidad no se publican hasta un mínimo de 6 meses desde la fecha de solicitud, y las patentes hasta un mínimo de 18 meses desde la fecha de solicitud. Por ello, las solicitudes de modelo de utilidad presentadas en los últimos 6 meses y las de patente de los últimos 18 meses no son “detectables” durante las investigaciones. En algunos países, las solicitudes de patente no se publican hasta que no se conceden, por lo que en tales casos, el periodo durante el cual no son detectables es de 2-3 años o incluso más. En otros países, como Italia (y algunos países de América Latina), existe un retraso enorme en la Oficina de Patentes, y las solicitudes de patente pueden tardar varios años en publicarse. De cualquier forma, se debe señalar que es conveniente tener en cuenta que las solicitudes de patente no se publican, en la mayoría de los casos, hasta pasados 18 meses desde la fecha de solicitud o de la fecha de prioridad (si se reivindica).

informe de vigilancia tecnológica

tendencias en tecnologías del agua



EOI MADRID

Avda. Gregorio del Amo, 6
Ciudad Universitaria
28040 Madrid
informacion@eoi.es

EOI ANDALUCÍA

Leonardo da Vinci, 12
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
infoandalucia@eoi.es

EOI MEDITERRÁNEO

Presidente Lázaro Cárdenas del Río,
esquina C/Cauce
Polígono Carrus
03206 Elche (Alicante)
Tel: (+34) 96 665 81 55

con la cofinanciación de



"Una manera de hacer Europa"

