

## AHORRO, RECICLAJE Y DESCENTRALIZACIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO. ALGUNOS ANÁLISIS ACADÉMICOS

*Joaquim Lloveras Macià*

*Dto. Ingeniería de Proyectos y de la Construcción. ETSEIB (prof. jubil.)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).*

### RESUMEN

Este es un artículo divulgativo sobre el agua, su obtención y uso, y su escasez en períodos de sequía. Se relacionan proyectos y diseños, hechos con grupos de estudiantes de varias especialidades de ingeniería industrial en Barcelona, y doctorandos de la UPC.

Se exponen unos procesos de desalinización de agua de mar. Uno de ellos, la ósmosis inversa, es el que más crece en todo el mundo, pero consume mucha energía, y su residuo es problemático. Se proponen unas mejoras, y se mencionan otras aportaciones.

Finalmente, se opina sobre diversas actuaciones prioritarias para asegurar el suministro: ahorro de agua; reciclaje y potabilización de aguas usadas; y la descentralización de parte del sistema hídrico. Con la tecnología actual y gastando energía, nunca faltará el agua, pero habría que optimizar procesos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Algunos datos sobre el agua: por lo que se sabe, la molécula de agua  $H_2O$  es una de las más abundantes del universo. Al agua inicial de la Tierra se le añadió el agua proveniente de meteoritos ricos en hielo que llenaron los mares. Actualmente, cerca del 71% de la superficie del Planeta es agua de mar, pero este porcentaje irá subiendo con el Cambio Climático. El agua dulce en la Tierra es solo del orden del 3% y el resto es agua salada de mar. La salinidad de agua de mar, por procesos todavía no del todo conocidos, se mantiene en unos: 35g de sales (principalmente cloruro de sodio) por kg de agua, cosa que, por el continuo lavado de la tierra por la lluvia, haría que se incrementase su salinidad.

El Sol es el motor del Ciclo del Agua en la Tierra; evapora cantidades ingentes de agua de mar y de los continentes, que al subir por la atmósfera se enfrían y forman las nubes que están hechas de micro-gotas de agua. Las nubes se desplazan con los vientos y en determinadas condiciones, las micro-gotas se juntan y forman las gotas de lluvia. El ciclo se cierra cuando el agua, en parte recogida por los ríos, retorna al mar. Este ciclo influye mucho en el clima.

Todas las moléculas de agua de la Tierra se considera que han realizado desde unos pocos hasta muchísimos ciclos del agua, y en cada ciclo, el agua renace pura. En este artículo se denominará simplemente: “agua” al agua dulce, y al agua salada del mar: “agua de mar”.

Un caso paradigmático es la Estación Espacial Internacional, o “International Space Station”, (ISS, 2022). Es evidente que los astronautas que lo habitan consumen agua y que llevar agua al espacio es costoso. Así que, su sistema hídrico realiza un reciclaje de todas las aguas usadas, que regeneran

con una serie de procesos, y finalmente las potabilizan para poder usarlas de nuevo, por ejemplo: rehacer alimentos deshidratados, o beberla. En esta nave, se utilizan tecnologías que logran prácticamente cerrar el ciclo del agua. La repotabilización de agua usada es un éxito tecnológico, en el que han colaborado numerosos especialistas.

El agua disponible no está repartida uniformemente en la Tierra, y cada vez se torna más escasa en algunos lugares, por ejemplo: en el clima Mediterráneo, y por causa del Cambio Climático (IPCC, 2020), las estadísticas muestran claramente la correlación entre el incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico, su efecto invernadero, y el aumento de temperatura. La tendencia indica que habrá más olas de calor y períodos de sequía. Si a esto se le añade un posible aumento demográfico, con un mayor nivel de vida, se necesitará aún más agua, por lo que, especialmente en épocas de sequía, el sistema hídrico actual se tornará cada vez más insuficiente.

La sequía y varias olas de calor de este verano de 2022, han sido notorias en buena parte de Europa, en el Oeste de Norteamérica o en amplias zonas de China (Cerrillo, 2022). En el caso de España los embalses no llegan al 40% de su capacidad media. En el año 2008, hubo restricciones de agua en Barcelona, y una solución de emergencia fue el trasvase agua potable en grandes barcos cisterna. Desde entonces, se han mejorado algunas infraestructuras, especialmente: riegos controlados en el sector agrícola; regeneración de aguas usadas; y se construyó alguna gran desalinizadora de agua de mar, pero aún no es suficiente. También se propusieron proyectos de trasvases de ríos caudalosos, pero no se concretó nada.

## **2. CAPTACIÓN DE AGUA**

Las principales maneras para captar directamente agua son los ríos (y sus embalses), lagos, y fuentes. También por medio de pozos, o directamente de la lluvia. Dependiendo de la pureza con que se capta el agua, puede ser usada directamente, o necesitar algún tipo de tratamiento físico y/o químico, para su consumo.

### **Ríos, Lagos, Fuentes, y Pozos**

La civilización ha crecido junto a ríos, lagos, fuentes, o pozos. Con el avance de la civilización, se realizaron canalizaciones para distribuir el agua y regar cultivos, y con el paso del tiempo, se han hecho grandes presas o embalses para regular el caudal de los ríos y tener reserva de agua para cuando se necesite. En España se realizaron en el siglo XX grandes presas, necesarias para tener un suministro constante de agua a lo largo del año. Pero estos embalses también son grandes obras de construcción, que transforman el territorio y sus usos; que modifican la vida en los ríos, y que frenan las aportaciones de sedimentos hacia las tierras bajas y su delta. Los grandes embalses forman parte de un sistema hídrico, de tipo centralizado.

### **Captación directa de agua de lluvia**

El aprovechamiento de agua de lluvia ha sido una constante en la historia de la civilización, y se recogía a nivel de una casa o de un poblado. Actualmente la lluvia que llega a los tejados normalmente no se aprovecha y va a la red de aguas pluviales. Si la lluvia se aprovechara directamente, una vez desechada la primera agua que arrastra suciedad, y filtrada, puede ser apta, por ejemplo, en una vivienda: para la lavadora, la ducha, el lavado del coche, etc. Se hizo un diseño de un aparato de descarte automático de la primera agua sucia de lluvia y se presentó una patente (ES2416581).

*Estudio de autosuficiencia de agua en una casa unifamiliar*

Un grupo de trabajo de la asignatura de Proyectos de Ingeniería, realizó un estudio sobre la autosuficiencia en el consumo de agua, que podrían tener varias personas en una casa unifamiliar. Como datos se fijaron: una cantidad de lluvia media anual de 690 litros/m<sup>2</sup>, una superficie de captación de la lluvia de 150 m<sup>2</sup>, y un consumo de 99 litros de agua por persona y día. Se calculó un porcentaje de reaprovechamiento de las aguas grises que equivalía a 43 l/persona y día. Con estos datos, y los correspondientes sistemas de purificación y de potabilización, podían ser autosuficientes cinco personas, y aún sobraba algo de agua. (Lloveras et al., 2014).

### *Diseño para la distribución equitativa de agua de lluvia en casas de pisos*

En Barcelona y en otras ciudades, la mayoría de casas de pisos tienen azotea plana, y si se quisiera aprovechar el agua de lluvia que cae, habría que repartirla igualmente entre todos los vecinos. Se hizo un Proyecto Final de Carrera y se patentó un sistema distribuidor equitativo de agua de lluvia recogida (Pagès et al., 2015). Esta solución, consiste en una pieza plana hecha con pequeños canales y pequeños resaltes que obliga a distribuir el agua de forma equitativa en un área, desde donde salen los tubos bajantes que van a los depósitos de cada vivienda.

### **El agua de la humedad atmosférica**

Se puede extraer agua de la humedad de la atmósfera. Hay ejemplos en los que se hace de forma pasiva, sin consumo de energía, como en las trampas de condensación de nieblas (Atrapanieblas, 2022), que actúan provocando el rocío en sus mallas, y recogiendo en su base el agua. O de forma activa: con materiales absorbentes como el silicagel, o el carbonato cálcico, que, aunque desecan el ambiente de forma pasiva, han necesitado energía para su obtención y también para quitarles la humedad absorbida y volverlos a utilizar. También con aparatos eléctricos para extraer la humedad de un local, que hacen pasar el aire húmedo por su serpentín frío, donde condensa la humedad, quedando más baja la humedad relativa del local.

Este principio también puede ser usado a la inversa, es decir, con la intención de obtener agua de la humedad ambiente. Por ejemplo, se diseñó un aparato eléctrico para condensar el agua del aire de una vivienda, y utilizarla para regar las plantas de manera automática, siendo especialmente útil en caso de ausencia. El aparato aprovechaba el “efecto Peltier” (Efecto Termoeléctrico, 2022), y se presentó una patente.

### **Proyectos diversos para la captación de agua**

#### *Transvase de agua a Barcelona*

Ha habido diversos proyectos de trasvase de aguas sobrantes del río Ebro, para las necesidades de agua de boca en Barcelona. También se han hecho propuestas para traer agua del río Ródano francés. Una propuesta mejorada, del trasvase del Ródano, fue llevar su agua a través de un tubo submarino. Pero, los trasvases presentan problemáticas de construcción, son costosos, y presentan conflictos sociales y políticos. Por lo que no se han llevado a la práctica.

#### *Investigaciones en la provocación artificial de lluvia*

Provocar la lluvia cuando pasa una nube adecuada, es otra forma de captar agua en el lugar deseado, y varios países investigan cómo hacerlo. Para provocar la lluvia artificial, se siembran de partículas las nubes. Partículas como el yoduro de plata, o la sal, que tienen la propiedad de juntar las micro-gotitas de agua en suspensión, para formar gotas más grandes, que caen en forma de lluvia. Para dicha siembra, se usan avionetas, cohetes, o fuegos en el suelo. La efectividad de la provocación de lluvia todavía no es concluyente. Estas prácticas pueden, por ejemplo, beneficiar que llueva en tierra

antes de que se pierda en el mar. Pero también pueden generar conflictos entre países, o entre regiones, ya que unos podrían temer por una reducción en sus precipitaciones, o ver afectado su ecosistema.

### *Proyecto de investigación en la captación de agua de la Riera de Arenys*

Los torrentes o rieras típicas de la zona Mediterránea, llevan mucha agua solo cuando llueve cantidad. En una lluvia torrencial, el agua baja con fuerza arrastrando piedras, gravas, arenas y tierras. Debido a estas malas condiciones, el agua de estos torrentes no se aprovecha.

Un grupo de seis estudiantes de Proyectos (Aragonés et al., 2013), presentó un primer trabajo para el aprovechamiento del agua de la riera de Arenys de Munt, de la cuenca de Arenys, en el corredor del Montnegre, en la zona del Maresme, cerca de Barcelona. En este trabajo se consideraba captar parte del agua torrencial, filtrando los arrastres de mayor a menor. El agua se recogía en depósitos o balsas y se dejaba reposar. Se extraían fangos por decantación y el agua limpia, podía regar por gravedad, la zona de cultivos de Arenys de Mar.

## **3. PRODUCCIÓN DE AGUA POR DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR**

Existen diversas técnicas para desalinizar el agua de este inmenso reservorio que es el mar. Las dos más usadas son: por evaporación y por ósmosis inversa. Tanto en el proceso de evaporación como en el de ósmosis inversa se necesita aplicar gran cantidad de energía. Otra técnica que está en investigación es la desalinización por congelación, o crio-separación, que requiere menor consumo de energía. En cualquier caso, el subproducto es la salmuera, que normalmente se devuelve al mar, pero que antes de diluirse, crea una zona de agua muy salada que afecta al ecosistema. Probablemente en el futuro, el exceso de salmuera deberá tratarse hasta dejar la sal sólida para almacenarla.

### **Desalinización de agua de mar por evaporación**

Para obtener agua pura por el proceso de evaporación, se necesita una fuente de calor, por ejemplo: el Sol. Existen otros procesos que combinan vacío y calor. En general, son costosos en energía.

### **Desalinización de agua de mar por ósmosis inversa (OI)**

El proceso de ósmosis inversa (Osmosis, 2022), es el que más se ha desarrollado industrialmente en todo el mundo. Para obtener agua pura, se filtra previamente el agua de mar dejándola libre de toda impureza, y se le aplica una alta presión para que pase a través de una tupida membrana semipermeable, que solo deja pasar las moléculas de agua y retiene las sales. Es un proceso que resulta caro, pues consume mucha energía, al que se suma el precio de las membranas y su mantenimiento. Además, estas desalinizadoras producen un rechazo del orden del 50% del agua entrante, y esta salmuera, se tira al mar creando problemas en su ecosistema.

Una Tesis doctoral hecha en la UPC muestra que, si se producen “vórtices de Dean” (Numero de Dean, 2022), en el agua de mar cuando va a pasar por los poros de la membrana semipermeable, tiene dos efectos positivos: rebajar la presión para pasar la membrana, y efectuar una cierta limpieza de la misma que le alarga su vida útil. Para obtener ese efecto de crear “vórtices de Dean”, se diseñó un aparato que se patentó (Lechuga et al., 2017).

### **Desalinización de agua de mar por congelación**

El hielo que se forma por el frío en la superficie del agua de mar, por ejemplo, en los polos de la Tierra, con el tiempo va exudando salmuera, quedando menos salado que el agua de mar que le rodea. A nivel microscópico, al aplicar frío al agua de mar, se forman pequeños cristales de agua pura y sobre su superficie quedan cristales de sal exudados, o gotas de salmuera concentrada. Estas

impurezas en la superficie de los cristales de agua pura, se pueden eliminar parcialmente con un lavado con agua. Este sistema del lavado, tendría que sacar la mayor parte de la sal, con el menor desgaste del cristal de hielo.

El agua de mar tiene una temperatura más cercana a 0°C, que a 100°C, por lo que energéticamente costará menos, pasarla a 0°C. También el calor latente que requiere el cambio de fase de líquido a hielo, en la congelación, es mucho menor que de líquido a vapor. El calor latente para la congelación es de 334.000 julios/kg, mientras que se necesitan 2.260.000 julios/kg para la vaporización, casi 7 veces más (Calor Latente, 2022). Así, desde el punto de vista energético, el proceso de congelación requiere menos energía que el de evaporación.

Se empezó una investigación aplicada, en colaboración con el laboratorio de Termotecnia de la ETSII de Barcelona (UPC), en la que, por una placa de acero inoxidable, colocada verticalmente y enfriada por una máquina de frío, se hacía pasar una corriente de agua salada. El agua salada en contacto con la placa se congelaba y el hielo formado era lavado por la misma cascada de agua salada que eliminaba parte de la sal exudada del hielo, repitiéndose este proceso. Pero enseguida esta investigación, tuvo que derivar hacia la obtención de productos concentrados por eliminación de agua, por este mismo proceso de congelación.

Buscando fuentes de frío, para el proceso de desalinización de agua de mar por congelación, se consideró aprovechar el frío, de la regasificación del gas natural licuado, que llevan los barcos metaneros a la terminal de regasificación de Barcelona, a -160°C, y que se disipa en el mar (Lloveras et al. 2000). Otra fuente de frío que también se propuso, fue el efecto magnetocalórico de ciertos materiales, donde se enfrían gracias a un movimiento mecánico que atraviesa campos magnéticos. Se diseñó y patentó un aparato (Lloveras et al. 2001).

Para la desalinización por congelación, algunos autores, dan una conversión del orden del 40% del agua de mar en agua pura. Es una investigación que aún necesita encontrar una tecnología mejor, pero que podría ser exitosa, al necesitar menos energía que la OI.

#### **4. NUEVAS PRIORIDADES PARA EL SISTEMA HÍDRICO EN ZONAS CON SEQUÍA**

Hay una insuficiencia de la infraestructura hídrica actual, que se manifiesta en períodos de sequía. Si bien se pueden mejorar infraestructuras de captación y distribución del agua, habría que cambiar las actuales estrategias, pues crece la demanda de agua, y la lluvia es la que es. Disponer de agua, tiene un coste diferente para cada proceso, y antes que buscar nuevas fuentes de agua más lejos, o de obtenerla por costosos procesos, habría que aprovechar mejor la existente, incluso reaprovecharla. Bajo esta premisa, las prioridades que habría que aplicar para disponer de más agua, serían: *ahorrar* agua en sus usos, especialmente en el sector agrícola, *reciclar* el agua usada, y *descentralizar* el sistema hídrico.

##### **Ahorro de agua**

###### *Ahorro de agua en el sector Agrícola*

Es el sector que, con diferencia, gasta más agua. Actualmente se cifra en un 70% del total del agua disponible. El método tradicional es el riego por “inundación” que consume mucha agua y es poco eficiente. Para disminuir drásticamente el consumo de agua, sin minorar la producción, existen las tecnologías del riego gota a gota, y del riego por aspersión, que ya se usan, pero que habría que generalizar más. Hay otras soluciones como el control del cultivo en invernaderos. La hidroponía (Hidroponía, 2022), en que se sustituye la tierra por una corriente de agua con nutrientes, que pasa directamente por las raíces y que se recircula.

Relacionado con el consumo de agua, hay estudios que dan la cantidad de agua que se ha necesitado para obtener un kilo de carne, de diferentes animales de granja. Esta cantidad de agua es mucho mayor que la que se necesita para una cantidad equivalente de comida vegetal. Diversos estudios dietéticos actuales, aconsejan tomar una dieta variada, y comer menos carne y más vegetales. Por tanto, si se generalizase dicha dieta, también sería un buen ahorro de agua.

#### *Ahorro de agua en el sector Industrial*

No hace mucho, era normal que las aguas usadas en cualquier proceso industrial, se vertiesen sin ningún tipo de depuración, al río, o al mar, a pesar del daño ecológico que infringían. Poco a poco, las razones ecológicas se impusieron en el mundo occidental, y la presión normativa y el control, hizo que las fábricas depuraran las aguas de sus procesos de fabricación, y en muchos casos se reutilizaran. Pero cuando esto se logró en occidente, China empezó a fabricar productos a gran escala. Copiaban diseños, tenían la mano de obra muy barata, y no seguían ninguna norma ecológica, lo que abarataba mucho el precio del producto, y hacía la competencia imposible. Aquí se cerraron muchas fábricas. Más adelante, China incrementó su acatamiento a las normas internacionales, mejoró su calidad de fabricación y actualmente realizan algunas fabricaciones con tecnología propia y de calidad.

Uno ejercicio básico de proyectos, fue: Diseño e instalación de un sistema de tratamiento de agua pluvial, industrial y sanitaria (Benito et al, 2013), de una empresa de limpieza exterior e interior de camiones cisterna. Aprovechaba y recirculaba el agua tratada, con un ahorro del 80% de agua.

Un trabajo relacionado, fue una tesis doctoral sobre la concentración de aguas negras de purines, así como la concentración de alimentos de base acuosa, por el proceso de eliminación de agua por congelación (Rodríguez, 2015), proceso comentado antes. Al concentrar estos productos, disminuía el volumen y el precio del transporte. En el caso de los líquidos alimentarios, al concentrarse por frío, conservaban sus propiedades organolépticas y vitamínicas. Así el concentrado se transportaba con más facilidad, ocupaba menos espacio en las estanterías del supermercado, y era más manejable para el comprador. El agua que sobraba en dicho proceso, podía ser usada para otros fines.

#### *Ahorro de agua en el sector Servicios y en particular, el Domestico*

El ahorro de agua empieza por una sensibilización de los usuarios en la valorización del agua. El agua será cada vez un bien máspreciado en nuestro entorno, pues se encarecerá por su creciente escasez y dificultad de obtención. Ello favorecerá la vigilancia del gasto de agua.

En la sequía de 2008, Barcelona tuvo un consumo de agua de sólo unos 100 litros por persona y día, siendo uno de los consumos más bajos de toda Europa, pues hubo una respuesta ciudadana notable. Se ahorró agua, por ejemplo: al ducharse en lugar de bañarse; cerrar el grifo mientras se lavan las manos, los dientes, o en la ducha; realizar la descarga del inodoro, o regar con agua aprovechada de otros usos; usar el lavavajillas en lugar de limpiar los platos a mano; ajustar adecuadamente el programa de la lavadora, y en caso de tener macetas o jardín, poner plantas que necesiten poco riego, etc.

Un tipo de grifo que puede ayudar a ahorrar agua es el electrónico, que se abre/cierra sin contacto directo. Están pensados para la comodidad, la higiene y el ahorro de agua, pues solo consume cuando las manos, o alguna cosa, está bajo el caño del grifo. Su uso se ha extendido en los lavabos públicos de aeropuertos, hospitales, etc. En la UPC se diseñaron varios grifos electrónicos y se patentaron: algunos con células fotovoltaicas, con regulación del caudal, o de temperatura, o ambos a la vez, (Lloveras et al., 1994).

#### **Reciclaje del agua usada. Cerrar el ciclo del agua**

El agua usada se clasifica en: gris, si está poco contaminada y es fácil tratarla; y en aguas negras, cuando son muy contaminadas, por ejemplo: por grasas de la cocina, o las fecales. Ambas, van a las depuradoras o Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP).

Como se ha comentado, la Estación Espacial Internacional (ISS), tiene el ciclo del agua prácticamente cerrado. El caso contrario, sería un ciclo de agua totalmente abierto, donde el agua usada se vierte al río o al mar sin ningún reaprovechamiento. La situación actual es de reciclaje parcial del agua usada, pero habría que cerrar mucho más el ciclo del agua, reciclándola en mayor cantidad, para darle nuevos usos. La implantación de la tecnología de reciclaje de agua tiene mucho camino por recorrer, aquí y en todo el mundo. Ya hace unos años que parte del agua usada que va a las depuradoras de Barcelona, se regenera y se usa para el riego de parques y jardines o para limpieza de calles, así, se dispone de más agua de boca.

Un sistema que cierra mejor el ciclo, es verter las aguas usadas, y parcialmente depuradas en la ETAP, aguas arriba de la captación de la depuradora, para que se mezclen con el agua del río y sigan un tramo de depuración natural. Después es captada y tratada de nuevo en la depuradora hasta su potabilización, para reinyectarla en la red.

Existen pequeñas estaciones de tratamiento de depuración de las aguas grises de una vivienda, incluyendo, en su caso, el agua de lluvia.

### **Descentralización del sistema hídrico**

El sistema hídrico actual tiene, en general, una infraestructura centralizada, especialmente en las grandes ciudades. Así, la distribución de agua potable y la recogida y tratamiento de las aguas usadas, tiene ventajas por la economía de escala, pero es más vulnerable, por ejemplo: a grandes averías, o actos terroristas, ya que podrían afectar a mucha gente.

El suministro de agua potable podría tener su origen, al menos en parte, en la lluvia, en pozos, o en fuentes locales.

Actualmente, la retirada de aguas usadas, que hace un largo recorrido hasta la gran central depuradora, y que, en caso de su repotabilización, podrían volver de nuevo al punto de partida. Este trasiego de aguas, necesita buenos diámetros de tuberías, bombas de circulación y consumo energético, etc., pero se reduciría en buena parte, si la infraestructura fuese descentralizada.

En el caso ideal de descentralización, el tratamiento se haría en el mismo punto donde se usó, y buena parte del agua podría volver a usarse. Esta descentralización, haría que se redujese la infraestructura del sistema hídrico, abarataría los costos de dicho trasiego, y habría más seguridad frente a actos vandálicos. La parte negativa es que el usuario, o un operario, tendría que controlar el sistema hídrico a nivel local.

## **5. CONCLUSIONES**

Se ha expuesto brevemente una visión general del agua y su ciclo en la Tierra, donde hay algunas zonas con una creciente necesidad hídrica, por el aumento de su población y nivel de vida, y también por causa del Cambio Climático. En estas zonas, sus infraestructuras están quedando insuficientes, especialmente en períodos de sequía.

Se han descrito brevemente las tecnologías de captación de agua, y de producción por desalinización de agua de mar. Y sobre estas tecnologías se han expuesto algunos proyectos o diseños, como ejercicio o investigación académica en la ETSEIB de la UPC. También se han analizado algunos pros y contras de algunas tecnologías hídricas.

Debido al probable futuro escenario de escasez y encarecimiento del agua, los consumidores la valorarán más, y en este escenario, se reaprovechará más el agua gris y el agua de lluvia, en el propio

sitio o en sus inmediaciones. Ello cambia el paradigma del sistema de agua centralizado, a un sistema más descentralizado. La estrategia será el aprovechamiento y regeneración en el lugar, y se necesitará menos agua de red. Aunque ello requerirá una mayor actuación de mantenimiento a nivel local. Según lo expuesto, las acciones prioritarias a realizar serían:

- Regar por aspersión, o por el gota a gota, en el sector agrícola. Cambiar a cultivos más adaptados a la sequía. Aumentar los cultivos controlados en invernaderos.
- Cerrar el ciclo de agua en el sector Industrial. Ampliar y mejorar los sistemas existentes.
- Reducir las fugas del sistema de distribución de agua potable.
- Cerrar mejor el ciclo de agua en el sector doméstico. Aprovechar las aguas grises y las de lluvia, que, tratadas, sirvan para usos secundarios, o incluso para repotabilizarlas.
- Las grandes depuradoras de las ciudades, lleguen a volver a potabilizar buena parte del agua usada, para reinyectarla de nuevo en la red de agua potable.
- Usar las aguas pluviales recogidas en grandes depósitos de regulación de las ciudades, o de la red de pluviales, para reaprovecharlas en usos secundarios, o re-potabilizarlas.
- Investigar y proyectar el aprovechamiento del agua de algunos torrentes importantes.
- Sólo en casos extraordinarios utilizar tecnologías de desalinización de agua de mar. Por ejemplo: por evaporación, usando energía Solar. Seguir investigando el proceso de desalinización por ósmosis inversa, con generación de “vórtices de Dean”; o la desalinización por congelación, ya que teóricamente es la que gasta menos energía.

En todo caso, con las tecnologías actuales, si se dispone de mucha energía, siempre se podrá tener agua, pero hay que optimizar el sistema. Resumiendo: si en todos los sectores se ahorrara agua, especialmente en Agricultura, y se cerrara más el ciclo del agua, no habría escasez de agua. Un sistema descentralizado sería más seguro y eficaz.

Por último, sirva este trabajo para los curiosos, o los interesados en estos temas, y que, a algunos, les inspire para obtener nuevas y mejores soluciones.

## 6. REFERENCIAS

- ARAGONÉS, A., ESCAYOLA, M., FEMENIA, C., GATIUS, C., GENÍS, I., MEDINA, V.: Aprofitament d'Aigües Torrencials al Maresme (Aprovechamiento de aguas torrenciales en el Maresme). *Propuesta Final. Asignatura de Proyectos*. ETSEIB, UPC. 12/12/2013
- ATRAPANIEBLAS (2022): (Acceso: 30/09/2022) <https://es.wikipedia.org/wiki/Atrapanieblas>
- BENITO PEÑA, C., CONCHELO CASES, A.J., DE L'HOTELLERIE DE FALLOIS ALBALAT, E., GARCÍA RODRÍGUEZ, C., LÓPEZ SÁNCHEZ, B., RODRÍGUEZ REY, D.: Diseño e instalación de un sistema de recolección y tratamiento de agua pluvial, industrial y sanitaria. Asignatura Proyectos Ingeniería Química, Diciembre 2013
- CALOR LATENTE (2022): (Latent Heat). (Acceso: 07/09/2022): [https://en.wikipedia.org/wiki/Latent\\_heat](https://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat)
- CERRILLO, A. (2022): Europa: La peor sequía en 500 años, *La Vanguardia*, Societat, Crisis Climática, 25 d'agost de 2022, pp. 16-17
- EFFECTO TERMOELÉCTRICO. Efecto Peltier. (Acceso: 27/09/2022) [https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_termoeléctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_termoeléctrico)
- EUROPA PRESS, Madrid: “Los embalses españoles están en un 39,2% de capacitat, la más baja en 27 años”. *Diario La Vanguardia*, 10 de Agosto de 2022. Societat, p. 18.
- HIDROPONIA: (Acceso: 29/09/2022) <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidropon%C3%ADa>
- IPCC (2022): Panel Intergubernamental del Cambio Climático. Acceso: 24/09/2022 [https://archive.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)
- ISS (2022): Estación Espacial Internacional. (Acceso: 24/09/2022) <https://www.estacionespacial.com>
- LECHUGA ANDRADE, J.A., LLOVERAS MACIÀ, J.: *Filter and method for the desalination of water by means of reverse osmosis of the centrifugal type, involving the generation of Dean*



- vortices*. Patent: US9573098 B2. Date of patent: Feb., 21, 2017. (Acceso: 24/09/2022)  
[https://lp.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20170221&DB=EPODOC&locale=es\\_LP&CC=US&NR=9573098B2&KC=B2&ND=4](https://lp.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20170221&DB=EPODOC&locale=es_LP&CC=US&NR=9573098B2&KC=B2&ND=4)
- LLOVERAS MACIÀ, J., DOMÉNECH CASTELLNOU, J.: *Sistema de suministro automático de líquido a temperatura regulable, con calentador instantáneo*. Titular: UPC. Patente: ES2114378 A1. Fecha prioridad: 06/05/1994. (Acceso, 25/09/2022)  
[https://lp.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=es\\_LP&FT=D&date=19980516&CC=ES&NR=2114378A1&KC=A1](https://lp.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=es_LP&FT=D&date=19980516&CC=ES&NR=2114378A1&KC=A1)
- LLOVERAS MACIÀ, J., GARCÍA CARRILLO, À., MUÑOZ, J.S. (2000): Escasez de agua potable en la cuenca del mediterráneo. Estudio de Desalinización de agua de mar en la terminal de regasificación de GNL de Barcelona. *V Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Lleida. CD-ROM: CB04. Ed. Universitat de Lleida. ISBN: 84-8409-075-2.
- LLOVERAS MACIÀ, J., GARCÍA CARRILLO, A. (2001): *Procedimiento para desalinización de agua salina por congelación que comprende el uso del efecto magnetocalórico*. Patente: ES2154564. Fecha prioridad: 2-10-98. (Acceso: 02/09/2022)  
[https://consultas2.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/15/45/ES-2154564\\_B1.pdf](https://consultas2.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/15/45/ES-2154564_B1.pdf)
- LLOVERAS MACIÀ, J., GARCÍA BLANH, E., GARCÍA GISBERT, A., PLANAS GISBERT, M., RODRÍGUEZ FARRE, A. (2014): Water self-sufficiency with separate treatment of household rainwater and greywater. *International Congress on Water, Waste and Energy Management (wwem)*. Ed.: Instituto Politécnico de Portalegre. 16-18 July, Porto (Portugal). USB memory: Water-006, 4p. ISBN: 978-989-95089-5-8. (Acceso: 25/09/2022)  
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/24707>
- NÚMERO DE DEAN (2022): Vórtices De Dean (Acceso 27/09/2022)  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Número\\_de\\_Dean](https://es.wikipedia.org/wiki/Número_de_Dean)
- OSMOSIS INVERSA (2022): (Acceso 27/09/2022) [https://es.wikipedia.org/wiki/Ósmosis\\_inversa](https://es.wikipedia.org/wiki/Ósmosis_inversa)
- PAGÉS FERRES, J., LLOVERAS MACIÀ, J., LLOVERAS MONSERRAT, A. (2015): *Sistema de distribución equitativa de agua de lluvia en casas de pisos*. Patent: ES2618371. Fecha Solicitud: 17-12-2015. (Acceso, 22/08/2022)  
[https://consultas2.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/61/83/ES-2618371\\_B2.pdf](https://consultas2.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/61/83/ES-2618371_B2.pdf)
- RODRÍGUEZ BARRAGUER, V.: “Millores en un criocentrador per plaques de pel·lícula descendent. Disseny de nous prototips per líquids industrials i residuals”. Tesis Doctoral. Director: Nacenta Anmella, J.M., Co-director: Lloveras Macià, J., Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, 22/12/2015. (Acceso: 25/09/2022).  
<https://www.tesisred.net/handle/10803/336390#page=1>