



Título: Economía circular y reutilización de aguas residuales

Autores y e-mails: Amelia Díaz^{1,3}, Miquel Salgot^{1,3}, Pedro Simon^{2,3}
adiaz@ub.edu; salgot@ub.edu; pedro.simon@esamur.com

Departamento: 1 Grupo consolidado de investigación HIDROSEC; 2 ESAMUR (Entidad Regional de Saneamiento y Depuración Región de Murcia); 3 Proyecto Reagric/Rousseau (AEI CTM2017-89767-C3-2-R)

Universidad: 1 Universitat de Barcelona

Área Temática: *La gestión del agua en el contexto de la economía circular*

Resumen:

El último Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos se dedica precisamente al tema de la Economía Circular, bajo el título “Aguas residuales: el recurso desaprovechado”. En dicho Informe se afirma que la mejora del tratamiento de aguas residuales, el aumento de la reutilización de agua regenerada y la recuperación de otros subproductos útiles apoyan la transición hacia una Economía Circular al ayudar a reducir las extracciones de agua y la pérdida de recursos en los sistemas productivos y en las actividades económicas, aparte del hecho mismo del reciclado. La aparición del paquete de Economía Circular en las políticas transversales de la Unión Europea y la mención en él de la potenciación de la reutilización de aguas residuales forzó el inicio de los trabajos previos para la implantación de una normativa común de reutilización en el marco de la UE.

Para ello, los encargos de la Comisión desembocaron en la publicación de varios trabajos intentando establecer por una parte el estado de la cuestión en Europa y por otra fijar un marco legal para desarrollar la práctica. Revisando dos de los documentos principales generados, se puede apreciar que no se han considerado los trabajos de varios años de muchos equipos europeos, incluso financiados por la propia Comisión, y que existen ciertas incoherencias en su calidad técnica. En ambos documentos se olvida prácticamente la posible incidencia social de la reutilización, que desde luego influye en la consideración de sus aspectos económico-financieros.

En este trabajo se revisarán los conceptos desarrollados por encargo de la UE y se evaluará su posible incidencia en términos económicos, sociales y sanitarios en la Unión.

Palabras Clave: *Economía circular, reutilización de aguas, aspectos sociales y Sanitarios*

Clasificación JEL: Q25; H7



1. Introducción

La definición de Economía Circular que indica la Agencia Ambiental Europea (2018) es “una economía restaurativa y regenerativa por diseño. Pretende mantener la utilidad de productos, componentes y materiales, y retener su valor”.

Aunque esto es aplicable a numerosos aspectos ambientales de la sociedad, lo es especialmente al ciclo del agua, en el que este concepto, bajo diversos apelativos, ha sido desarrollado desde hace muchos años. Aunque se suele mencionar que el agua forma parte de un ciclo antrópico se debería definir más bien como un uso lineal en muchas ocasiones.

No obstante, en la gestión del agua en la sociedad se ha podido constatar desde hace milenios una de las prácticas propuestas por la iniciativa de la Comisión Europea, la reutilización de las aguas residuales (Paranychianakis et al., 2015). Esta actividad puede emplear aguas residuales sin depurar, parcialmente depuradas o tratadas adecuadamente para poder ser reutilizadas con plenas garantías sanitarias, lo que se conoce como regeneración y reutilización de las aguas residuales.

En una parte importante de la Unión Europea (UE) el agua es un recurso limitado, especialmente en los países del sur de la Unión. En estos países el desarrollo económico y la urbanización creciente, además de la agricultura y la industria, aumentan progresivamente la presión sobre los recursos de agua, lo que conduce en muchos lugares a la sobreexplotación de los cuerpos de agua, creando tensiones entre los diversos usuarios. Los problemas se derivan de la necesidad de disponer de agua en calidad y cantidad suficientes creando más de un reto para Europa en el futuro próximo.

Los países del sur de Europa, y en concreto España, basan una parte importante de su economía en la exportación de productos agrícolas. El desarrollo de la agricultura se basa en la existencia de condiciones adecuadas para que sea rentable. Se requiere un sustrato adecuado para el crecimiento de las plantas, un clima (sol y temperaturas) adecuado durante una gran parte del año y la cantidad suficiente de agua. Aunque las dos primeras condiciones se cumplen en el Mediterráneo, el problema que subsiste es el



de la escasez de agua, necesaria para que los sistemas SPAC (continuo suelo, planta atmósfera) tengan la productividad adecuada.

La regeneración de aguas residuales y su posterior reutilización presentan varias posibilidades, pero la que se desarrolla legalmente es la denominada directa y planificada. Es decir, aquella en la que el agua depurada no pasa por el medio natural y se ha planificado la reutilización por parte de las autoridades competentes.

La reutilización planificada en España arrancó con un hecho poco conocido, cuando en Reus en el año 1932 se constituyó una Comunidad de Regantes que usaba para el riego agua residual decantada (Salgot, 2018). También en Valencia, la Acequia del Oro hace muchos años que usaba en el siglo pasado aguas residuales sin depurar para regar cuando no había bastante agua del río para ello; aunque actualmente recibe las aguas regeneradas de la depuradora de Pinedo (Valencia ciudad). En este último caso, se trata de reutilización indirecta, pero en cierto modo planificada o “conocida”.

Posteriormente hay pocas noticias de la reutilización planificada en España, hasta que en los años 70 se volvió a impulsar la depuración y recuperación del agua residual en la Costa Brava, potenciada por la necesidad que el agua de mar fuera limpia para que los turistas se pudieran bañar sin problemas (Salgot, 1981). Otros lugares en la península desarrollaron programas de reutilización que se han ido implantando con los años (Madrid, Vitoria, Pamplona, ...) principalmente para usos agrícolas, aunque también para recuperación de cuerpos de agua naturales o usos urbanos (Salgot et al., 2010). En la actualidad, la reutilización del agua depurada es casi total en numerosas zonas del levante, como Murcia.

No obstante, no se puede olvidar que en muchos lugares se continuaba usando a finales del siglo pasado agua residual depurada o sin depurar antes o después de ser vertida al medio. Desde principios de los 80, la reutilización en Cataluña y en el resto de España ha ido implantándose a bandazos, con periodos en que la abundancia de lluvias casi la ha detenido y otros en que los episodios de sequía la han hecho avanzar a buena velocidad. Se puede decir que la reutilización ha estado sujeta a la climatología, pero



también a la voluntad política, o quizá podríamos decir a la carencia de voluntad política, para implantarla seriamente y prever posteriores problemas de escasez de agua.

Las consecuencias del cambio climático, aún no totalmente definidas, parecen definirse en parte en la zona mediterránea como una variación de los modelos de distribución de la precipitación a lo largo del año. Esto puede requerir que en muchos casos deba recurrirse a cambios de planteamiento en la gestión de los recursos hídricos, que debería ser más holística e incluir los diversos recursos de agua disponibles en una zona. Entre estos destaca, evidentemente, el agua residual regenerada.

La sobre-abstracción, en particular para riego agrícola pero también para el uso industrial y el desarrollo urbano, es una de las amenazas principales al entorno de agua de la UE, mientras la disponibilidad de agua de calidad apropiada es una condición crítica para el crecimiento de sectores económicos dependientes del agua y de la sociedad en general. Los impactos globales en la economía debido a la sequía de 2003 fueron estimados en un mínimo de 8,7 mil millones de euros (principalmente en países mediterráneos, Francia y Reino Unido), medidos como las pérdidas directamente resultantes de la sequía (CE, 2007). Los efectos inmediatos de las sequías, como los daños a la agricultura y las infraestructuras, así como efectos más indirectos, como las dudas para invertir en un área de riego, pueden tener un impacto económico importante que puede ser contrarrestado por la reutilización.

2. El plan de acción de la Comunidad Europea en Economía Circular

Una economía circular busca aumentar la proporción de recursos renovables o reciclables y reducir el consumo de energía y materias primas en la economía, mientras, al mismo tiempo, protege el entorno reduciendo las emisiones y minimizando las pérdidas materiales. Las aproximaciones sistémicas, incluyendo el ecodiseño, los recursos compartidos, la reutilización, las reparaciones, la restauración y el reciclado de los productos y materiales existentes, pueden tener una función significativa en el mantenimiento de la utilidad de productos, componentes y materiales, manteniendo su valor (EEA, 2016).



La CE lanzó el “Paquete de Economía Circular” en 2015 (EC, 2015a), definiendo la economía circular como una economía en la que el valor de productos, materiales y recursos se mantiene mientras sea posible y en la que la generación de residuos se minimiza. Los objetivos del “paquete” de políticas son cerrar ciclos de materiales a través del reciclado y reutilización de productos. Esto reducirá la dependencia de materias primas “vírgenes” así como las presiones ambientales asociadas con el uso de materiales, que dan como resultado co-beneficios económicos y ambientales.

Dentro de este paquete, la comunicación de la Comisión “Cerrar el círculo - Un plan de acción de la UE para la economía circular” (EC, 2015a) pone el énfasis en acciones relacionadas con la producción, consumo, administración de residuos, estimulación del consumo de materias primas secundarias y reutilización de agua. Esto proporciona incentivos para el diseño y generación de productos “circulares” y para estimular el consumo de productos con impactos ambientales más bajos. Las cinco áreas de prioridad del plan de acción son: plásticos, residuos alimentarios, materias primas críticas, residuos de construcción y escombros, y biomasa y productos “bio-basados”. También hay un foco de innovación, inversión, y control y medidas horizontales.

Esta comunicación del 2015 se refiere claramente al “roadmap” de 2011 hacia una Europa Eficiente en Recursos (EC, 2011). Tanto la comunicación de 2015 como el “roadmap” forman parte de la historia de las estrategias de política europea que se centran en una mejor gestión de los residuos y recursos, como son las estrategias temáticas de prevención de la generación de residuos y recursos, y en la gestión sostenible de los recursos naturales.

El “Paquete de Economía Circular de 2018” incluye, entre otros, un Marco de Control del progreso hacia una economía circular en la UE y a nivel nacional (EC, 2018a). Está compuesto por un conjunto de diez indicadores clave que cubren aspectos relacionados por ejemplo con la generación de residuos, los residuos alimentarios, reciclaje, comercio, materias primas, inversiones y empleo.

La introducción a la economía circular según la UE no contiene ideas novedosas, más bien se trata de agrupar en un concepto global varias ideas dispersas y que recibían



nombres diversos. En el campo de la reutilización, concretamente, muchos de los conceptos y mecanismos aplicados a la regeneración y reutilización serán los mismos. La gran ventaja es que, al provenir de las instancias más elevadas en Europa del mundo del agua, se crea una cierta obligación de emplear la nueva terminología y aplicar de una vez y conjuntamente las viejas ideas o desarrollos a la realidad agrícola.

A partir de aquí se desarrollarán los conceptos del mundo de la reutilización con la idea directriz de la aplicación de la economía circular, que teóricamente debe permitir la aplicación de todos los conceptos fundamentados de la regeneración y reutilización de aguas residuales en España.

3. El Real Decreto español

El Real Decreto 1620/2007 español y sus derivados (Guía y Plan, publicados por el Ministerio en 2008 y 2009 respectivamente) han sido muy criticados a lo largo de sus años de vigencia, a causa de las numerosas contradicciones que contienen, así como por varios errores técnicos y científicos que aparecen a lo largo de sus páginas. Hay que destacar, además, que es un decreto de aplicación cara, básicamente por un exceso de dogmatismo y de tareas analíticas obligatorias, dejando aparte la burocracia que requiere y la dificultad para interpretarlo. La realidad de la Guía del Ministerio fue que todavía complicó más la aplicación del Real Decreto al no tener cobertura legal, aparte de ser de pago, no aclarar los aspectos más complicados y difíciles de entender y no ser de cumplimiento obligatorio, aunque en el texto se sugiera que sí lo es. La Asociación de Empresas de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS) publicó un manual (AEAS 2012) de reutilización para facilitar a los usuarios la aplicación de agua residual depurada para los usos indicados sin contravenir la ley.

Posteriormente, y ya desde el primer año de su vigencia, se ha intentado muchas veces, por parte de los usuarios del agua regenerada y de los otros colectivos implicados, que hubiera una revisión del RD o cuando menos una fe de errores, pero sin ningún éxito. Cuando parecía que se había logrado un consenso suficiente a los casi 10 años de publicado para enmendarlo o cambiar algunas de sus indicaciones, apareció la iniciativa de la UE sobre economía circular en la que se establecía la necesidad de reutilizar agua



en Europa y las actuaciones que ha forzado esta iniciativa. Como consecuencia, se dejó de pensar en modificar el RD, que todavía sigue vigente en su totalidad, a pesar de que la posible normativa europea se ha atrasado.

4. El draft de la UE

Los diversos borradores de la iniciativa de la UE sobre reutilización en el marco de la economía circular, que han aparecido en los últimos tres años, tampoco son un prodigio de calidad en términos técnicos, y no han tenido en cuenta las numerosas actividades e investigaciones en reutilización que se han hecho en Europa en los últimos 20 años. Se trata de un documento que se ha limitado a copiar (sin demasiado éxito) muchas de las indicaciones de Australia y de los Estados Unidos, sin ninguna adaptación a las circunstancias europeas e indicando la necesidad de hacer estudios de riesgo con parámetros de control poco habituales y bastante caros. El último borrador (diciembre de 2017) parece que ha corregido parte de los errores detectados, pero sigue sin ser un documento que genere unanimidad de los actores sobre su bondad, más bien al contrario.

En el caso de esta iniciativa europea se planteaba inicialmente la reutilización en agricultura y recarga de acuíferos. Esta última aplicación, la recarga, ha desaparecido finalmente, al menos de momento, y estaba previsto que durante el año 2018 apareciera finalmente el reglamento (no una directiva) que gobierne la reutilización agrícola de agua regenerada, si bien aún no ha aparecido.

La realidad europea es muy compleja y, como es habitual, no hay un consenso claro en cuanto a la reutilización entre países del norte del continente (consumidores) que reciben los cultivos y los productores (mayoritariamente del sur) en cuanto a la agricultura; con un planteamiento similar en España. De hecho, lo que preocupa de la nueva normativa europea es que siga las iniciativas de los países del sur, que han impulsado normativas muy pobres técnicamente y que se han desarrollado sin contar con la experiencia y conocimientos de los expertos europeos. Esto ha sido así a pesar de que Malta y España han liderado varios trabajos en relación con la nueva regulación, pero el desarrollo se ha hecho desde las instituciones europeas.



5. Desarrollos de la reutilización en España

A partir de 1970, la introducción de la depuración en España se hizo principalmente a través de Cataluña, con las actuaciones del Consorcio de la Costa Brava, y también se extendió a otros lugares de España, como Madrid y Mallorca, Vitoria, etc. Esto permitió que pudiera surgir la reutilización, potenciada en años sucesivos por los determinantes asociados al incremento de la demanda de recursos hídricos.

Coincidiendo con los primeros lugares donde hubo depuración, se inició la reutilización, fundamentalmente para uso agrícola, por ejemplo, en la Costa Brava, en Girona, o en el Pla de Sant Jordi en Mallorca. Evidentemente se trata de reutilización planificada, porque la no planificada o ilegal se ha hecho en toda la península ibérica y en otros muchos lugares del mundo, durante siglos.

Considerando la realidad, se ha afirmado durante décadas, incluso desde la OMS, que cualquier cultivo regado con agua residual o fertilizado con estiércol tiene un aspecto mejor que los cultivos regados con agua de río o subterránea y fertilizados con productos químicos o sin abonar. En estos momentos en que se está viviendo un cambio de paradigma con la industrialización de la agricultura esto puede parecer no tan cierto. Se ha pasado de trabajar siempre en suelos que se deben mantener fértiles de una manera eficiente a sustratos que tan solo sirven para sostener físicamente las plantas. Por ejemplo, las grandes explotaciones intensivas de algunas zonas de Murcia o Almería trabajan con suelos compactados, tapados por plástico, y la planta aparece por un agujero, el mismo que se ha hecho para plantar la semilla. Se ha llegado a extremos de sofisticación insospechados, como añadir ozono a las capas inferiores de los suelos para evitar la asfixia radicular en sistemas suelo/planta en que hay anaerobiosis en la zona de las raíces y mantener la fertilidad al máximo posible.

En esta agricultura ultra tecnificada, la disponibilidad de agua es básica para obtener grandes producciones varias veces al año en zonas con climas adecuados. Los nuevos paradigmas agrícolas han creado nuevas herramientas en relación con el agua, y la competencia creciente por los recursos entre los diferentes usuarios hídricos (ciudades, agricultura, industria y ocio, básicamente) ha hecho que el recurso agua se considere de



forma diferente. El concepto de seguridad del agua, entendido respecto a la calidad y a la cantidad, se extiende actualmente a todas las actividades con un retorno económico importante y al abastecimiento público. Han empezado a caer tabúes de forma continuada, y lo que hasta hace poco era impensable, la reutilización directa para agua de bebida, ya se acepta, al menos teóricamente, sin problemas excesivos. De todas maneras, el concepto de seguridad se irá extendiendo progresivamente a todo el ciclo antrópico del agua.

Esto implica que cualquier recurso puede utilizarse para cualquier uso, siempre que se disponga de la capacidad económica suficiente para el tratamiento adecuado del agua y para hacer la analítica correspondiente. Dependiendo de la disponibilidad de recursos, estos se pueden ir cambiando a lo largo del crecimiento del cultivo y ajustar las cantidades de agua a las necesidades de la planta, incluso llegando a plantear y efectuar riegos deficitarios.

Así, en determinadas áreas de cultivo en Murcia se pueden utilizar aguas regeneradas, subterráneas, superficiales, de trasvase y desalinizadas de mar o de acuíferos salobres, mezcladas según la disponibilidad y las necesidades de calidad del cultivo a lo largo de su periodo vegetativo. Se intenta también hacer desaparecer las pérdidas por evaporación, consideradas inútiles, mediante la compactación de los suelos y tapando la superficie de los suelos cultivados con plástico. Raramente los usuarios saben explicar el motivo de estas prácticas, tan solo comentan que ahorran agua y que venden el cultivo a los mercados que lo esperan.

Desde los inicios de la reutilización en España y hasta la época actual han ido cambiando los objetivos de la investigación sobre el tema, lo que ha hecho evolucionar los objetivos de investigación y se ha reflejado también en la evolución de los proyectos que se han llevado a cabo en el grupo de trabajo, siguiendo la evolución técnica y científica.

En España, la reutilización comenzó desde cero, por lo que fue necesario inicialmente definir la calidad de las aguas regeneradas e ir desarrollando los métodos en función de los avances en analítica tanto química como microbiológica.



Estos avances se han traducido en la legislación, a medida que ésta ha ido incluyendo nuevos parámetros y modificando algunos de los existentes. También han influido en los cambios las mejoras analíticas y la legislación de aguas potables. En el aspecto químico ha habido una evolución de los parámetros desde los metales pesados en la década de los setenta del siglo XX hasta los PPCP (Medicamentos y Productos de Higiene Personal), pasando por los disruptores endocrinos.

6. Tecnología

Una vez resuelta la analítica, el tema siguiente es el del tratamiento adicional del agua residual depurada. Los sistemas de depuración secundaria ya eran fiables a finales de la década de los setenta y habían sido incorporados a las características del país con algunas dificultades. A partir de aquí se presentaban dos necesidades: los tratamientos avanzados y la desinfección. También fue preciso considerar qué tecnologías eran las más adecuadas para instalaciones pequeñas y medianas, y en cuanto a las tecnologías duras los Biorreactores de Membrana (BRM) y los biodiscos son bastante adecuados, entre otros, para generar agua de calidad adecuada. Un caso aparte son las grandes instalaciones, que han de tener la capacidad de generar volúmenes importantes de agua con una calidad constante y cumpliendo los requisitos legales, aunque tienen la ventaja de la economía de escala, que puede reducir en gran manera el coste del agua regenerada.

Hay que mencionar las tecnologías denominadas naturales, en contraposición a las tecnologías intensivas en energía y espacio. En este sentido cabe recordar que los costes de la energía son uno de los principales componentes de regeneración de las aguas residuales con tratamiento secundario.

A pesar de los numerosos años de experiencia internacional en los sistemas de lagunaje, incluso con grandes instalaciones como las que existieron en Tel-Aviv (Israel), este sistema ha sido poco empleado en España y se desvirtuó con la tecnología de los lagunajes aireados. Otras tecnologías como la infiltración-percolación (IP) o las zonas húmedas (ZH) no han acabado de encontrar su lugar en nuestro país, quizás porque ofrecen una posibilidad de beneficios limitada o porque a los explotadores no les



convencen por causas diversas. De todas maneras, en los últimos 10 años, siguiendo en cierto modo las corrientes internacionales, los humedales verticales, horizontales e híbridas han conseguido un cierto mercado. Una y otras (IP y ZH) han padecido copias mal planteadas, pero han encontrado quién ha creído en ellas en las administraciones y se pueden encontrar en algunos lugares del país, con tecnologías que en ocasiones se venden como fiables y eficientes sin serlo demasiado.

La desinfección se puede considerar como uno de los puntos críticos en la regeneración y reutilización de las aguas residuales. Dejando aparte los problemas analíticos, especialmente microbiológicos, que ya se han comentado, la dificultad radica en el campo de aplicación de cada tecnología o lo que debería ser lo mismo, la adaptación de la tecnología a la calidad del agua requerida y la necesidad de que esta se mantenga durante todo el proceso de reutilización.

Se requieren tecnologías preparatorias para eliminar sólidos en suspensión o inhibidores de los reactivos o procesos de desinfección. Las más empleadas son las diversas tecnologías de membrana u otras tecnologías de filtración de forma independiente o después de una coagulación-floculación. En este campo algunas de las tecnologías naturales de depuración pueden ser útiles dado su bajo coste energético, aunque pueden requerir en algunos casos una filtración adicional.

La desinfección se puede llevar a cabo mediante métodos físicos (membranas, filtros de arena, radiación), químicos (varios reactivos químicos, especialmente derivados del cloro) o biológicos (competencia, predación). Las tecnologías más empleadas y defendidas en los últimos años han sido la cloración (con sus diversas variantes), la radiación ultravioleta y los bio-reactores de membrana como secundarios (que muy a menudo no requieren pasos previos adicionales a la desinfección). Parecen estar ganando adeptos el ácido peracético y el ozono, aunque el primero parece ser caro y el segundo requiere una tecnología complicada. A menudo, la elección depende del tamaño de la depuradora y cada vez más se combinan tecnologías, por ejemplo, la radiación ultravioleta seguida de una cloración o el peróxido de hidrógeno combinado con radiación UV.



Retornando a los comentarios analíticos, la comprobación de la efectividad de la desinfección requiere una mejora de las técnicas analíticas microbiológicas adecuadas, especialmente en cuanto a la detección de la mejora de la calidad del agua depurada y regenerada, es decir la evaluación de las tecnologías. En algunos casos se requiere el análisis de *Legionella*, lo que también crea ciertas dificultades en relación con el límite de detección requerido.

En la legislación española, para determinados usos en reutilización se requiere en algunos puntos “ausencia de patógenos”, lo que es otro error técnico del mencionado Real Decreto, que en otros lugares solicita cero o inferior al límite de detección para el parámetro *E. coli*.

Algunas reutilizaciones, especialmente para usos potables o determinados usos industriales, exigen tecnologías específicas para eliminar contaminantes muy concretos. Es el caso, por ejemplo, de algunos micro contaminantes orgánicos o de las sales. Aquí encuentran su campo las filtraciones por membrana (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis inversa, ...) y otras tecnologías muy específicas.

También hay que indicar que los últimos casos de contaminación descritos son parte de los que ocupan actualmente a los investigadores, con un peso bastante específico del contenido de micro contaminantes inorgánicos de muchos tipos y su incorporación al ciclo natural del agua y después cómo se pueden eliminar.

Por todo lo que se ha indicado parece evidente que la depuración tiene unas bases y unos resultados que se pueden interpretar según los fundamentos físicos, químicos y biológicos de las tecnologías. Las bases físicas y químicas son suficientemente conocidas, y en cierto modo son fácilmente interpretables. Se trata de reacciones o influencias de las que se conocen los detalles y se pueden avanzar los resultados, siempre que se mantengan unas condiciones determinadas.

De todas maneras, en el momento en que aparecen los componentes biológicos en forma de microorganismos y biopelículas, las certezas dejan de serlo y se producen cambios que hay que interpretar en términos bioquímicos, en los que la linealidad de las



reacciones químicas deja de existir y se tiene que recurrir a determinar las velocidades de modificación de los componentes de manera diferente, a menudo empírica.

En este sentido, la interpretación de los rendimientos de los sistemas naturales (IP, zonas húmedas, lagunajes) es relativamente compleja y hay que hacerla combinando los conocimientos físicos, químicos y biológicos, especialmente con aquellas moléculas que pueden ser degradadas por microorganismos. Aquí entran también las moléculas difícilmente degradables y los xenobióticos, por lo que hace falta desarrollar soluciones de depuración. No solo actúan las bacterias, sino que también se describen las acciones de protozoos, hongos y otros organismos, que depuran en función de la temperatura, concentraciones, etc.

Se puede trabajar con las depuradoras, o bien con los ecosistemas; es decir, después o alternativamente el agua se aplica a un ecosistema o a uno de sus componentes. Suelos, plantas, y obviamente organismos micro o macro pueden actuar sobre los contaminantes que contiene el agua. Hay que decidir qué parte de la depuración se hace a través de las tecnologías de depuración y qué parte la hacen los sistemas naturales. Cuando se trabaja con parte de los ecosistemas es relativamente sencillo determinar los resultados, pero cuando se trata de sistemas complejos se hace más difícil al tener que interpretar conjuntamente acciones diversas.

En cuanto a aspectos sociales y económicos, una vez los problemas técnicos han sido resueltos es preciso considerar la componente económica, es decir los costes de los tratamientos de depuración (cubiertos por el canon de saneamiento, allí donde se aplica) y de analítica, y analizar el resto de las preocupaciones de los usuarios tanto finales como administrativos.

Tampoco hay que olvidar que las economías de escala son absolutamente reales en los procesos de tratamiento avanzado y desinfección.

7. Aspectos económicos y sociales

Hasta aquí se ha hablado casi únicamente de tecnología o técnicas, dejando de lado otras necesidades en relación con la reutilización y que se han ido desarrollando en paralelo a la tecnología; por ejemplo, los aspectos económicos y sociales relacionados



con la reutilización. Últimamente también se está poniendo énfasis en los programas de formación en reutilización, que están mucho más en relación con las ciencias sociales.

Tampoco hay que olvidar la aproximación legal, no tan sólo en cuanto a las normas de reutilización, sino que también hay que proceder a una aproximación en términos de impacto ambiental y de otras características marcadas por las normativas de todo tipo.

Durante mucho tiempo, se ha aceptado como doctrina de fe que los usuarios finales (por ejemplo, los agricultores o los industriales) querrían utilizar el agua residual regenerada sin ningún tipo de problema; es decir, la reutilización no tenía contestación posible y se podía imponer/sugerir desde arriba (autoridades del agua) sin que hubiera ninguna duda ni rechazo por ninguna de las partes. La sorpresa apareció al negarse algunos posibles usuarios a emplear agua regenerada. Las razones son variadas, desde la negativa a aceptar un recurso impuesto o el miedo a perder las concesiones existentes, hasta los problemas que podrían aparecer si los compradores de producto final (cadenas de supermercados extranjeras para la fruta) supieran que se ha regado con agua “residual”. En algún sitio quedan también las reticencias causadas por varias aproximaciones políticas a la reutilización, especialmente en el supuesto de que aparezca obra pública por en medio.

Una de las discusiones recurrentes cuando se ha intentado analizar la reutilización es el origen de los proyectos. En teoría, en un estado de derecho y avanzado, un proyecto de reutilización tiene que ser emprendido desde las instancias de planificación. No obstante, en la práctica esto no siempre es así. Como ya se ha citado, la planificación de la reutilización en Cataluña y en el resto de España no ha sido un ejemplo de buen hacer. De nuevo, hace falta no olvidar que la última palabra sobre la aprobación o no de un proyecto de reutilización la tienen las autoridades sanitarias, con su informe vinculante.

Dejando aparte las implicaciones políticas y administrativas, hay otros aspectos que contemplar y que se relacionan con la aceptación del recurso ya comentada o la mejora de los conocimientos sobre las características de éste. En principio, hay que emprender programas de formación y educación dirigidos a los implicados de todo tipo, desde los



funcionarios hasta el usuario final. Otro de los sujetos de discusión enconada es a quién se considera usuario final. Por ejemplo, en el caso del cultivo de lechugas o tomates, la cuestión del usuario final hay que decidirla entre el agricultor que riega con agua regenerada o el consumidor de los productos cultivados. También interviene aquí la legislación al definir los puntos de entrega a la salida de la instalación de regeneración y marcar en este punto el reparto de responsabilidades.

No tan solo hacen falta programas de formación, sino que también son necesarios los programas de comunicación. También se tiene que decidir hasta qué punto se comunican las actuaciones y a quién va dirigido un programa, ya sea de formación o de comunicación, y las obligaciones legales sobre el tema.

Estos aspectos, relativamente nuevos en el campo de la reutilización, deben ser tratados con precaución, puesto que a menudo son imprescindibles para el éxito de los nuevos programas o para que los existentes se desarrollen adecuadamente desde todos los puntos de vista.

Las consideraciones económicas pueden incluirse dentro de los aspectos sociales o bien tener entidad propia. Las describiremos brevemente incluyendo algunos ejemplos.

Al comparar la agricultura de secano y la de regadío se detectan importantes diferencias. Considerando que el resto de condiciones son las mismas (*ceteris paribus*), hay cambios en las necesidades de gestión agrícola, como por ejemplo en cultivos, en la gestión de las cosechas y de los circuitos de comercialización (desde la mejora de las comunicaciones y el acceso a los mercados hasta la necesidad de almacenes frigoríficos, etc.). Es evidente que esto requiere unas inversiones y una financiación que no siempre están disponibles. También hay que decir que el nivel de vida de los agricultores de secano y de regadío es bastante diferente y hay que plantear cuáles son las nuevas demandas sociales de los que han cambiado de condiciones económicas para mejorar (por ejemplo, los servicios a ciudadanos con más dinero disponible).

Se usan herramientas económicas diversas para cuantificar las inversiones y decidir si se emprenden o no los proyectos. En el caso de la reutilización en agricultura, la herramienta es relativamente fácil de aplicar y la forma de hacer los cálculos está



bastante bien establecida. Se trabaja normalmente con cálculos coste-beneficio y con periodos de retorno de la inversión (pay-back). En algunos casos no es tan sencillo fijar la metodología, por ejemplo, en la creación de nuevos paisajes donde la herramienta (precio hedónico) no es tan sencilla de aplicar.

Otro de los problemas recurrentes relacionados con los aspectos económicos es quién se hace cargo de los gastos asociados con la reutilización, el usuario final o todos los que se benefician de la reutilización.

Cada una de las actividades de reutilización tiene sus características específicas que hacen que se deba plantear el problema de forma diferente. Por ejemplo, no es comparable en términos económicos el riego agrícola con el riego de campos de golf, tanto por lo que respecta a los beneficios como al periodo de retorno de la inversión. La valoración de la seguridad de abastecimiento tampoco es sencilla.

No tan solo se trata de desarrollar temas de economía tradicional, sino que también intervienen nuevas aproximaciones, como son la evolución de los mercados de consumidores de los productos generados (incluyendo aquí, por ejemplo, los cultivos, los campos de golf, la madera producida o la mejora de la alimentación del ganado). Lo que se intenta en todos los casos es que el resultado favorezca a todos los que participan en los proyectos de reutilización.

También tienen una consideración o una incidencia económica los tipos de legislación y las posibilidades de vender nuevos productos en nuevos mercados, por ejemplo.

Hasta hace pocos años, el mercado de la regeneración y reutilización estuvo olvidado por los grandes industriales del mundo del agua. Los cambios de circunstancias, con el aumento de las necesidades analíticas y el aumento de la implicación de actores como la OMS y la FAO, sin olvidar que el mercado clásico del agua, bastante maduro, está saturado, llamaron la atención de las grandes empresas, que en muchos casos se han ido introduciendo de varias maneras en el mercado. Al crecer también los volúmenes de agua a reutilizar (la materia prima), después de haberse construido la mayor parte de depuradoras grandes y medianas, el mercado pasó a ser más atractivo para unas empresas que no siempre han tenido los conocimientos técnicos o la experiencia



necesarios para gestionarlo. Esto ha propiciado una serie de errores fácilmente evitables que en algunos casos han comprometido el éxito de los proyectos.

No hay que olvidar aquí, como factores relevantes, el uso y el precio de la energía relacionados exclusivamente con la práctica (de regeneración y reutilización). Cada vez se hace más evidente la estrecha relación entre agua, energía y alimentación. De hecho, tanto los precios de la energía, como los del, agua si se paga, han sido discutidos y señalados por los sindicatos agrícolas como causa de muchos de los problemas económicos de los agricultores.

Hasta aquí se han comentado usos principalmente en riego, pero no hay que olvidar los usos industriales que están empezando a ser relevantes por ejemplo en Cataluña con el proyecto que se desarrolla en el polígono industrial de Tarragona. No deja de ser curioso que una práctica común durante muchos años en el extranjero ahora se venda en Cataluña como una gran novedad. En efecto, el uso del agua regenerada en refrigeración industrial o como agua de proceso ha sido práctica común desde los años 70 del siglo pasado en los USA, Canadá, etc.

La recarga de acuíferos también ha sido común en muchos lugares del mundo, como en Estados Unidos y en Australia. De nuevo, se ha hecho aparecer en Cataluña como la gran novedad para luchar contra la intrusión de agua de mar en el acuífero del delta del Llobregat cuando desde los años 70 del siglo pasado hay descripciones de esta práctica en muchos lugares del mundo, no tan solo contra la intrusión sino como una forma de almacenar recursos hídricos para épocas de sequía e incluso para transportar el agua regenerada o hacer disminuir las pérdidas por evaporación durante el almacenamiento. Es una forma de incrementar los recursos disponibles a nivel de cuenca con unos gastos no demasiado relevantes y unos impactos ambientales mínimos. No obstante, si la recarga se lleva a cabo por inyección directa los costes pueden ser importantes.

8. Conexión con la Economía Circular

En el contexto de una economía circular, en la que el desarrollo económico se equilibra con la protección de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental, las aguas residuales representan un recurso valioso y abundantemente disponible.

De hecho, en el marco de la economía circular existe un amplio consenso acerca de la necesidad de impulsar la reutilización de las aguas residuales urbanas e industriales, definiendo una economía circular del agua con una plena utilización de las aguas regeneradas. (Figura 1).

Figura 1: Reutilización de las aguas residuales en la economía circular



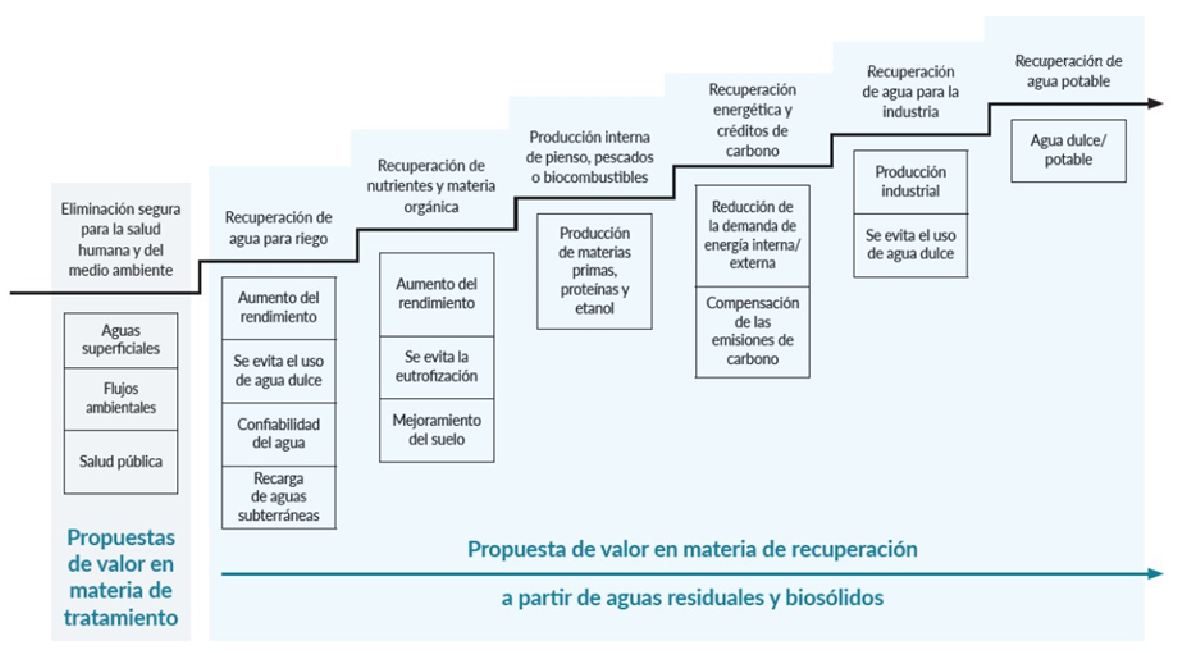
Fuente: <https://blogs.worldbank.org/>

El uso de las aguas residuales puede añadir nuevos flujos de ingresos al tratamiento de las aguas residuales, en particular en condiciones de escasez de agua recurrente o crónica. La recuperación de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y energía puede añadir nuevos e importantes valores para mejorar la propuesta de recuperación de costes

Además de mejorar la seguridad alimentaria, la reutilización del agua para la agricultura puede tener beneficios significativos, incluyendo una mejor nutrición. (WWAP, 2017).

La posibilidad de recuperar varios productos de las aguas residuales genera nuevas oportunidades, mejora los ingresos y posiciona al negocio en un mejor nivel de la escala de propuestas de valor económico, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Escala de propuestas de valor en aumento para la reutilización con mayores inversiones en la calidad del agua o cadena de valor



Fuente: WWAP, 2017

En relación al agua como eje de la economía circular, Europa apuesta por la reutilización de las aguas residuales tratadas en condiciones seguras y rentables y medidas de eficiencia hídrica, como soluciones a impulsar para garantizar el suministro de agua y reducir la presión sobre unos recursos hídricos ya sobreexplotados en la UE.

Según los informes de los Estados miembros, las inversiones en las aguas residuales urbanas han aumentado y se han estabilizado entre 19.000 y 25.000 millones de euros al año. Las inversiones en este sector representan un promedio de entre 38 y 50 euros por habitante y año. (CE, 2017).



De acuerdo con la información de la Comisión Europea, a la hora de hablar del sector de las aguas residuales en conjunto, incluidas las exportaciones, es importante destacar su contribución significativa a la economía europea. Este sector genera unos rendimientos de explotación de aproximadamente 96.000 millones de euros al año y un valor añadido de alrededor de 41.000 millones de euros al año. Además, genera en torno a 600.000 empleos equivalentes a tiempo completo.

La iniciativa de la economía circular marca claramente la necesidad de reutilizar el agua residual, y para ello es imprescindible tener en cuenta los avances tanto teóricos como prácticos. En términos reales, los proyectos de reutilización se tienen que plantear considerando como herramienta de base la determinación del riesgo asociado a la práctica de la reutilización, con toda una serie de herramientas secundarias incluidas. Algunas son bastante útiles e inteligibles por los usuarios finales, pero otras son muy difícilmente utilizables, tanto en términos de interpretación como de coste analítico y las tienen que usar especialistas para que sean útiles y comprendidas.

Es evidente que en cualquier proyecto son imprescindibles los cálculos económicos y la integración del recurso agua depurada/regenerada en la gestión a nivel de cuenca, se trata de una gestión holística de los recursos. Lo que se ha hecho hasta ahora en España y también en Cataluña, la importación e implantación acríticas de prácticas y normas extranjeras, no es la más adecuada. Esto ha causado no pocos problemas en la práctica y puesto que se ha seguido el mismo procedimiento es posible que también los cause a nivel europeo. La lucha contra esta actitud ha sido y será bastante difícil y no hay garantías de éxito por razones bastante diversas.

La base de la reutilización debería ser la planificación adecuada de los procesos de regeneración y reutilización. En España se comenzó a elaborar un documento (que no pasó de la fase de versión preliminar) y algunas autonomías también han desarrollado planificaciones pertinentes. Uno de los problemas es que los documentos de planificación se publicaron al principio o poco antes de la última crisis económica, por lo que sus previsiones no se cumplieron excepto en algunos casos de iniciativa privada, como fue el caso de la reutilización industrial en el polígono petroquímico de



Tarragona. En los lugares en los que la falta de agua amenazaba el desarrollo económico (por ejemplo, en Murcia o Andalucía), la reutilización llegó para quedarse.

En general, en Cataluña y en el resto de España hay un déficit de visión de futuro en lo que se refiere a los recursos de agua, que debería cambiar con la iniciativa de la economía circular, aunque todavía coexisten con las circunstancias actuales las ideas de finales del siglo XIX. Concretando esta afirmación en el campo de la reutilización, y esto se puede extender a Europa en estos momentos, en vez de plantear soluciones propias e innovadoras, adaptadas o creadas para el país o para Europa, se ha recurrido, como ya se ha mencionado, a importar ideas extranjeras actuando, como tantas otras veces, con la idea que todo lo que viene de fuera es mejor.

9. Desarrollos necesarios/conclusión

La aplicación de la economía circular a los sistemas de reutilización de aguas residuales implica:

- a) Considerar que la economía y la capacidad en el campo de la reutilización de aguas residuales regeneradas deben ser básicas en las políticas ambientales.
- b) Una voluntad política de potenciar la reutilización como herramienta para cumplir adecuadamente con la Directiva Marco del Agua y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para que la economía circular tenga éxito en relación con la reutilización agrícola de agua regenerada en la Unión Europea deberían cumplirse determinados requisitos, entre los que se pueden citar:

- Una aplicación uniforme de los criterios que se establezcan en la nueva normativa prevista para 2018.
- Una formación e información adecuadas de lo que significa la economía circular, muy especialmente en términos económicos y de agua residual, lo que entra de lleno en el concepto de nexus agua/energía.



- Para reducir los riesgos, considerar las barreras y no solo las tecnológicas, sino las sanitarias, económicas, legales, ecológicas y de otros tipos que deben aplicarse en la reutilización.

Para un desarrollo más completo del concepto de economía circular en el campo de la reutilización, sigue siendo necesario aclarar/investigar diversos puntos débiles, entre los que se encuentran:

- a) Solucionar los problemas asociados a la depuración de las pequeñas comunidades, de forma que se obtengan recursos distribuidos en el territorio, a un coste asequible.
- b) Encontrar tratamientos sostenibles para la eliminación de contaminantes emergentes.
- c) Trabajar en el nexus agua/energía en el campo de la regeneración.
- d) Implantar los sistemas de análisis de riesgo en el campo de la regeneración y reutilización, considerando:
 - La realización de análisis de riesgo con los datos analíticos empleados habitualmente
 - La aplicación a la realidad de los desarrollos académicos
- e) La implantación de proyectos de formación/información en el campo de la reutilización de manera que se mejore la aceptación del recurso.
- f) Considerar de forma conjunta los diferentes tipos de reutilización que impliquen riego, y no únicamente la agricultura (paisaje, golf, parques y jardines, bosques, recarga en superficie, ...).
- g) Implicar a los funcionarios en el desarrollo de la reutilización, de manera que no constituyan una barrera difícilmente salvable.
- h) Mejorar las capacidades analíticas, lo que implica mejorar los tiempos de reacción a episodios de mal funcionamiento y mejorar las capacidades de interpretación de datos. En este contexto hay que definir también:
 - Cómo se puede obtener el máximo de información con el mínimo de análisis (eficiencia).
 - Si los indicadores actuales ofrecen suficiente información para desarrollar los proyectos con un riesgo aceptable.



- Cuáles son las implicaciones de los análisis de micro contaminantes (orgánicos, nanopartículas, medicamentos, drogas ilegales, cócteles de sustancias, etc.).
 - El papel que deben jugar los desarrollos en Toxicología/Ecotoxicología en este contexto.
- i) El estudio de las aproximaciones ecológicas a la reutilización (impactos ambientales positivos y negativos, adecuación a la DMA y a la economía circular).
- j) La relación con la epidemiología y con los datos históricos de enfermedades de origen hídrico.

Aparte de la analítica in situ o de laboratorio, existe una serie de controles que se deberían efectuar, y que requieren una aproximación diferente. Este sería el caso, por ejemplo y siguiendo la DMA, de las determinaciones del estado ecológico de los lugares donde se aplica agua residual. Es cierto que hay modificaciones en los ecosistemas donde se aplica agua regenerada, ya sean agrícolas, de ocio, naturales, etc. Hay que definir si se trata de cambios en el sentido positivo o en el negativo.

En resumen:

- Se modifica el modelo de presencia de agua en el punto de aplicación, así como la productividad de los ecosistemas naturales o antrópicos, lo que genera cambios de flora y fauna.
- Se debe decidir cuál es el objetivo de los proyectos de reutilización de aguas residuales regeneradas considerando en muchos casos si se requiere volver a las condiciones “naturales” de un sistema o si se aceptan los cambios originados por la mayor presencia de agua.
- La capacidad económica (de inversión, de mantenimiento, de efectuar cambios o de controlar) es fundamental para el éxito de cualquier proyecto de reutilización. El agua regenerada se reutilizará allá donde haya escasez o donde la Administración responsablemente decida que para salvaguardar recursos (por ejemplo, sobreexplotación de acuíferos) hay que promover e incentivar (incluso económicamente) la reutilización.



- Es importante señalar que con la reutilización se garantiza que el agua está sometida a un control, a diferencia del resto de aguas que se utilizan para riego que se consideran “limpias” pero pueden haber estado en contacto con aguas peor tratadas y que, por tanto, tienen peor calidad.
- La disponibilidad de agua hace que haya cosechas que se puedan desarrollar en nuestro país y no tengan que irse a otros países.
- Es importante también destacar la necesidad de que los controles exigidos a los países europeos se exijan también a todos los países que vendan a Europa.

10. Bibliografía

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) (2012) *Manual de buenas prácticas de aguas regeneradas*

European Environment Agency (2018) *The circular economy and the bioeconomy. Partners in sustainability*. EEA, Luxembourg.

EC (2011) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee of the Regions – Roadmap to a resource efficient Europe*, COM (2011) 571 final

EC (2015a) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee of the Regions – Closing the loop – An EU action plan for the circular economy*, COM (2015) 614 final

EC (2017) *Noveno informe sobre el estado de ejecución y los programas para la aplicación (conforme al artículo 17) de la Directiva 91/271/CEE del Consejo sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas*, COM (2017) 749 final

EC (2018a) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on a monitoring framework for the circular economy*, COM (2018) 29 final.

EEA (2016) *Circular Economy in Europe: Developing the knowledge base*. EEA Report No 2/2016, European Environment Agency, Copenhagen.



Paranychianakis, N.; Salgot, M.; Snyder, S.A.; Angelakis, A.N. (2015) “Water reuse in EU states: necessity for uniform criteria to mitigate human and environmental risks”. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45: 1409 – 1468

Salgot, M. (2018) *Discurso de la sesión inaugural del año 2018: Agua, Energía i Alimentació*. Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya. Barcelona, 2018

Salgot, M. (1981) *Contribución al estudio de la reutilización de aguas residuales depuradas*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), (2017) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.