

ECONOMÍA CIRCULAR



IDIAGUA

Revista sobre tendencias en la I+D+i de la
Plataforma Tecnológica Española del Agua



Nº2.- Octubre 2020

www.plataformaagua.org

Edita

Plataforma Tecnológica Española del Agua (PTEA)
www.plataformaagua.org
secretariatecnica@plataformaagua.org

Diseño y maquetación
Ariema Energía y Medioambiente S.L.
info@ariema.com

Redacción
Sector Embarcaciones, 24, Local 5
28760, Tres Cantos
(Madrid)
Tel: 918045372

Deposito legal: M-22293-2020

ISSN: 2020081400441



Actividad financiada por la Agencia Estatal de investigación

Carta del Presidente de la PTEA. D. Antolín Aldonza Moreno.

Estimados lectores:

Las aguas residuales después de recibir un tratamiento terciario son aptas para ciertos usos, que por ahora no incluyen el consumo humano. Durante el proceso de depuración se generan productos residuales que se pueden y deben transformar en recursos para preservar los naturales y el medio ambiente, lo que nos lleva directamente al campo de la economía circular, que la Unión Europea a través de su Plan de acción de Economía Circular busca implantar en todos los sectores.



Desde la junta directiva queremos agradecer la colaboración de todos los que han hecho posible que este nuevo número de la revista haya visto la luz y, como no podía ser de otra manera, a nuestros lectores a quienes en definitiva va destinado.

Ha sido una labor gratificante, hecha con ilusión y entrega que esperamos satisfaga vuestras expectativas.

En su día, la junta directiva se comprometió a editar una revista que, en cumplimiento de los objetivos de la asociación, diera noticias de los avances científicos a través de artículos de índole técnica a cargo de sus asociados y abordara tribunas y entrevistas de personas relevantes del mundo del agua cuya gestión esta llamada a tener una gran influencia para el futuro del sector.

La revista, concebida como una actividad de la asociación llamada a difundir la actualidad del mundo de la I+D+i del agua, en este número, dedica varios artículos técnicos a la temática de la reutilización en distintas facetas y recoge las opiniones, siempre bien fundadas de algunos de los protagonistas de este sector; así unas reflexiones profundas sobre la economía circular, apoyadas en los instrumentos que, para conseguir una Europa climáticamente neutra ha diseñado y esta diseñando la Unión Europea, a cargo de Doña Lydia González Fernández, Representante ES Comité Programa H-2020 Reto Social 5, del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), una tribuna de Don Pedro Simón, Director técnico de la Entidad regional de Saneamiento y depuración de Aguas Residuales de Murcia (ESAMUR), que reflexiona sobre la nueva directiva y lo hace desde un profundo conocimiento de la cuestión y con un enfoque práctico y valiente y una entrevista con el Director General del Agua, Don Teodoro estrella Monreal, que ha tenido a bien contarnos los planes de desarrollo de su Dirección General a la que pertenecen las confederaciones hidrográficas, lo que sin duda tiene un alto interés, ya que no en vano es el órgano inversor por excelencia de la Administración General del Estado en materia de agua.

Es momento de dedicar nuestro emocionado recuerdo a todos los que ya no están con nosotros en esta vida a causa de la Covid-19, entre los cuales hay asociados, para ellos nuestra oración. Descansen en paz.

Con el ánimo siempre bien dispuesto, el deseo de que estiméis este número en correspondencia con la ilusión que en él han puesto todos los que lo han hecho realidad y nuestra gratitud para todos vosotros, os enviamos un cordial y afectuoso saludo.



Índice de contenidos

Pág.

Introducción	06	Porque no hay un planeta B... Lydia Fernández	08	La Reutilización y la Inclusión. Entrevista DGA Teodoro Estrela	16	Tribuna de Pedro Simón (ESAMUR)	
	Bloques Temáticos: El agua en la Economía Circular	20	Bloque 1 A: Nueva Directiva de reutilización de las aguas para uso agrícola	34	Bloque 1 B: Métodos de reutilización y sus implicaciones	48	La reutilización y las aguas subterráneas
		56	Aprovechamiento de los subproductos procedentes de los procesos de depuración y desalación	68	Nuevas formas de generación y optimización de la energía en los procesos de depuración y desalación	76	La reutilización del agua y la industria
Conclusión		84	Salir de la zona de confort: Hacia un ecosistema de colaboración	86			Conoce la PTEA Conoce la Plataforma Tecnológica del Agua y cómo contribuye al fomento de la I+D+i dentro del sector del agua

Porque no hay un planeta B

2050, necesitaremos recursos equivalentes a tres veces los de nuestro planeta. 2020, el modelo económico lineal de: extraer – producir – consumir – tirar, ahora mismo ya no es viable. A los impactos ambientales evidentes, hay que añadir la dependencia agravada del exterior, que hacen a nuestra economía más vulnerable y menos competitiva, (tanto a nivel europeo como en España).

La Unión Europea (UE) ha venido apostando por una serie de planes y estrategias cada vez más ambiciosas para lograr una economía y una sociedad más eficientes en el uso de los recursos naturales, manteniendo a la par la competitividad industrial y el crecimiento económico y el bienestar social.

En esta línea, la nueva Comisión Europea, presidida por Ursula von der Leyen, presentó entre sus prioridades el “EU Green Deal”, que busca conseguir que Europa sea el primer continente climáticamente neutro en 2050, protegiendo nuestro entorno y nuestra salud y bienestar, y llevando a nuestra economía y nuestra sociedad hacia un sendero de sostenibilidad y de crecimiento inclusivo. Este Pacto Verde Europeo es parte integral de la estrategia europea para implementar la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Asociado al Pacto Verde Europeo, la Comisión presentó un itinerario de actuaciones clave en ocho ámbitos principales. Una de ellas era el lanzamiento de un nuevo Plan de Acción de Economía Circular, presentado el 11/marzo/2020. Este plan busca ampliar la implantación de la economía circular en todos los sectores, contribuyendo al objetivo de neutralidad climática y desacoplando el crecimiento económico del uso de recursos (nuevos), mientras que se asegura la competitividad a largo plazo y sin dejar a nadie atrás. La transición hacia esta economía circular va de la mano de la nueva Estrategia Industrial de la UE, otra de dichas actuaciones clave identificadas.



Living well, within
the limits of our planet

7th Environment Action Programme

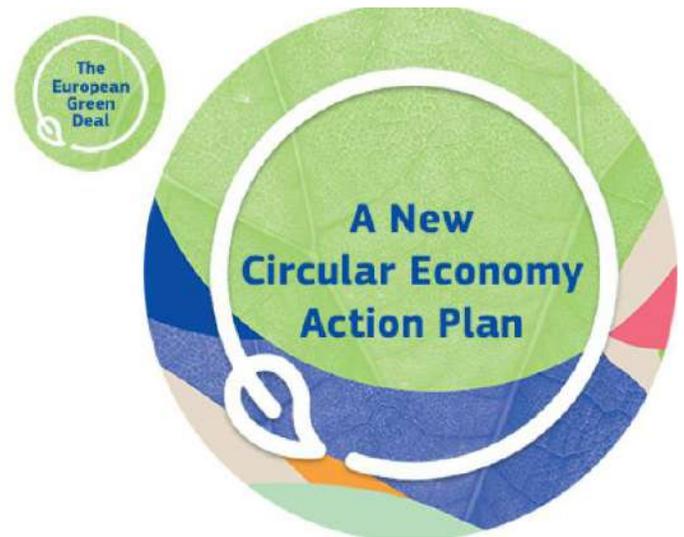
VII Programa General de Acción de la Unión Europea en materia de Medio Ambiente, (2013-2020).

Comisión Europea

Este nuevo Plan de Acción de Economía Circular consta de 35 acciones, actuando sobre el ciclo de vida completo de los productos, para: hacer que los productos sostenibles sean la norma en la UE (trabajando desde el diseño de productos y procesos); empoderar a los consumidores (“right to repair”) y compradores públicos; conseguir que haya menos residuos y, si se generan, transformarlos en recursos; que la economía circular trabaje para las personas (generación de empleo); y liderar el cambio a nivel global. Aunque se busca involucrar a todos los sectores, se han identificado algunos con un potencial de circularidad más alto, siendo, además, grandes consumidores de recursos: electrónica, vehículos y baterías, embalajes, plásticos, textiles, edificios y construcción y alimentación.

Algunos de estos temas ya se empezaron a abordar en el anterior Plan de Acción de Economía Circular (2015), y el nuevo se basa en los resultados y medidas que se pusieron en marcha como la Estrategia Europea de Plásticos, la Plataforma Europea de Economía Circular, la adopción de una metodología común para medir el desperdicio alimentario en la UE, la revisión de la legislación en materia de reutilización de aguas, y hasta un total de 54 acciones previstas que, en 2019, ya se habían completado o puesto en marcha.

La investigación y la innovación (tecnológica y no tecnológica) se identifican como herramientas clave, imprescindibles para lograr los objetivos marcados en estos planes, abordando todas las etapas de la cadena de valor, los diferentes sectores y la generación de nuevos modelos de negocio y de servicios. Es por ello que en Horizonte 2020, el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE (2014-2020), se van a destinar entre 2016-



Nuevo Plan de Acción de Economía Circular, para una Europa más limpia y más competitiva. Comisión Europea

2020, alrededor de 1.590 millones de € a “topics” de Economía Circular; y también habrá oportunidades dentro de la convocatoria del Pacto Verde prevista para septiembre/2020.

En el futuro Horizonte Europa (2021-2027) se sigue manteniendo un foco claro en la Economía Circular, tanto a nivel industrial, como en una aproximación más sistémica a este proceso de transformación.

En línea con las políticas europeas, España acaba de presentar la Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030. Con muchos puntos en común con las líneas y prioridades europeas, esta estrategia toma en cuenta nuestras características propias tanto a nivel de los sectores prioritarios (p.e. se incluye el turismo), como de las políticas transversales sobre las que actuar (con gran relevancia para el Agua).

Porque no hay un planeta B...,
economía circular.

Lydia González Fernández
Representante ES Comité Programa
H2020-Reto Social 5
lydia.gonzalez@cdti.es



Palabra clave:
Economía
Circular

“La Reutilización y la Inclusión”

Entrevista a Teodoro Estrela Monreal,
 Director General del Agua
 Ministerio para la Transición Ecológica
 y el Reto Demográfico



1. Nueva estructura de la Dirección General del Agua (DGA): objetivos, prioridades, y su vinculación a actividades de I+D+i.

En el Real Decreto 500/2020, de 28 de abril, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se ha acometido una importante reestructuración de la Dirección General del Agua.

Esta reestructuración se enmarca en un proceso más amplio de cambio de nuestra economía hacia un modelo productivo centrado en la protección de las personas y del medioambiente, y que se encuentre en línea con el “Pacto Verde Europeo” aprobado por la Comisión Europea el pasado diciembre de 2019.

La Dirección General del Agua se ha reorganizado en cuatro subdirecciones para el desarrollo de todas sus competencias.

En la Subdirección General de Planificación Hidrológica se coordinará el proceso de planificación hidrológica, que es el marco esencial de organización de las medidas a desarrollar para alcanzar y mantener el buen estado de las masas de agua, al tiempo que se atienden los usos del agua compatibles con esta protección y que garantizan un uso eficiente y sostenible del recurso. Se abordará también la elaboración y seguimiento de planes estratégicos, como el Plan DSEAR centrado en la priorización de las actuaciones de depuración, saneamiento y



reutilización, así como la coordinación de los planes de sequía de las demarcaciones. Además, será necesaria una coordinación más estrecha con las administraciones competentes en materia de depuración y saneamiento y en agricultura y ganadería, con el fin de dar mejor cumplimiento a nuestras obligaciones comunitarias derivadas de la Directiva de tratamiento de las aguas residuales urbanas y de la Directiva de nitratos.

En la Subdirección de Programación y Gestión Económica y Presupuestaria además de sus cometidos habituales, se trabajará en cuestiones de gran importancia como la elaboración de criterios de aplicación del régimen económico-financiero del Dominio Público Hidráulico, en el análisis de la viabilidad de las obras de interés general, en el estudio y determinación del valor económico de

los usos del agua y de los daños medioambientales en el Dominio Público Hidráulico, y también el impulso de las tecnologías de la información en la gestión del agua.

La Subdirección General de Dominio Público Hidráulico e Infraestructuras, con el fin de reforzar la gestión del Dominio Público Hidráulico, integra los aspectos de gestión y de control de los títulos que habilitan para realizar un uso privativo de las aguas con los proyectos y las obras que en él se realizan. Entre estos últimos, se priorizarán los proyectos que faciliten el ahorro, la gestión de la demanda, la recuperación ambiental de las masas de agua, la eficiencia energética, y la producción y utilización de energías renovables compatibles con los objetivos ambientales de las masas de agua. Mención especial merecen los proyectos destinados al fomento de la desalación y la reutilización de las aguas, especialmente en aquellas demarcaciones que se enfrentan a situaciones de sobreexplotación y deterioro ambiental de sus masas de agua. Por otro lado, serán también una prioridad las labores relacionadas con la inspección y el control de la seguridad de las infraestructuras hidráulicas, de manera que nuestro parque de infraestructuras hidráulicas y, en particular, las presas y embalses, puedan seguir prestando servicio en óptimas condiciones de seguridad y funcionalidad, y afrontando con seguridad los nuevos riesgos derivados de una realidad climática cambiante y adversa.

La nueva Subdirección General de Protección de las Aguas y la Gestión de los Riesgos tiene como objetivo sentar las bases para alcanzar el buen estado ambiental de las masas de agua, y en este sentido, los programas de seguimiento y control tendrán un importante papel en la evaluación de su estado, incluyendo el estudio de los contaminantes emergentes. Destaca el papel estratégico que tiene la protección y la recuperación de las aguas subterráneas en un contexto de cambio climático y de escasez de recursos hídricos. Otros ejes de actuación son el impulso a la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos y la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza, para que los ecosistemas puedan ejercer el papel ecológico que tienen

como defensa natural frente a las inundaciones. En línea con lo anterior, deberán desarrollarse las medidas necesarias para la puesta en marcha de las actuaciones de prevención y mitigación del riesgo, recogidas en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

Además, es preciso afrontar cambios en el marco legal y reglamentario que riga la protección y gestión de las aguas en España, para así dotarnos de unos instrumentos jurídicos modernos y acompañados a la realidad ambiental, social y económica del país. Ello permitirá a la Administración General del Estado articular una política de agua como bien público esencial, en un escenario complejo donde se entremezclan aspectos socioambientales, como la reducción de los recursos hídricos, el cambio climático y el aumento de los riesgos naturales, con otros socioeconómicos, como la necesidad de avanzar en el cambio de modelo energético.

Una línea de trabajo transversal de toda la DGA consistirá en reforzar los aspectos de gobernanza del agua, fomentando la participación, la transparencia, la comunicación y la concienciación en la sociedad sobre los procesos de planificación y gestión del agua, tanto en los procesos de toma de decisiones como en los procedimientos administrativos, facilitando la corresponsabilidad social. En este marco, se prevé la generación de espacios de discusión y participación pública, el impulso del voluntariado ambiental y la custodia del territorio, así como el fomento de las relaciones con el sector científico y las empresas del agua para incorporar la innovación y el desarrollo tecnológico existente en el desarrollo de las competencias de la DGA y apoyar al sector del agua en los procesos de Compra Pública de Innovación.

Todo lo anterior requiere, además, intensificar la coordinación con la Comisión Europea para la aplicación de la política europea del agua, así como disponer de una estrategia de carácter internacional que, en cooperación y coordinación con la acción exterior española, permita tener una presencia activa y con influencia en los convenios y procesos multilaterales en materia de agua, como la Agenda 2030 de Naciones Unidas, el Espacio

Europeo, el Espacio Iberoamericano o el Espacio Mediterráneo.

2. Programa de inversiones (soporte para la innovación de las empresas): plan DSEAR.

El objetivo del Plan DSEAR (Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización) es garantizar una gestión sostenible basada en el ciclo integral del agua y aportar transparencia a los escenarios de gestión, revisando las estrategias de intervención de los actuales Planes Hidrológicos para tenerlo en cuenta en la preparación de los planes del tercer ciclo. Así como estimular las actuaciones de saneamiento y depuración que se encuentran incursas en procedimientos de infracción de la UE y maximizar la eficiencia de los Fondos Europeos disponibles.

Para ello analizará y actualizará las actuaciones de los Planes Hidrológicos sobre depuración, saneamiento y reutilización, y establecerá los criterios económicos, sociales y ambientales que permitan estudiar su viabilidad y priorizar su ejecución.

Asimismo, permitirá avanzar en la aplicación del principio de quien contamina paga y en la recuperación de costes, definiendo criterios que permitan reasignar las medidas de depuración y saneamiento que financia la Administración General del Estado entre sus organismos, para mejorar la eficiencia del gasto público en protección del Dominio Público Hidráulico y política de aguas.

Es necesario incidir en algo importante y es que el Plan DSEAR es un Plan que tiene vocación de mejora de la Gobernanza. Los resultados del Plan DSEAR se integrarán en los mecanismos de planificación hidrológica formalmente establecidos trasladando a los organismos promotores de los planes propuestas concretas para la revisión de los programas de medidas de los planes del tercer ciclo. Se prevé iniciar la consulta pública del plan en septiembre de 2020 y su aprobación está prevista para finales de 2020 o comienzos de 2021.

Con relación a las futuras inversiones, nuestras actuaciones siempre siguen una hoja de ruta que

es la planificación hidrológica. Actualmente en los trabajos para aprobar el 3er ciclo de planificación hidrológica se actualizarán estos programas de medidas, incorporando nuevas medidas, descartando medidas que ya no se consideran necesarias y actualizando o modificando otras.

En el marco del Plan de recuperación económica en Europa, la DGA ha realizado una selección de actuaciones de competencia estatal que podrían materializarse en los próximos años en el marco de este programa de inversiones públicas y bajo los principios del Pacto Verde Europeo. Estas actuaciones se corresponden con las siguientes cuatro tipologías: saneamiento, depuración y reutilización, restauración hidromorfológica de ríos, recuperación ambiental de masas de agua subterránea, y digitalización y mejoras en la gestión y control.

También se está trabajando se está trabajando en la negociación del próximo período de programación de Fondos Europeos 2021-2027. La Comisión Europea ha dado a conocer la Propuesta de Reglamento que establecerá las disposiciones comunes del Fondo Europeo de Desarrollo Regional para este período, estableciendo los ámbitos de intervención que podrían financiarse para cada objetivo político. Por esto motivo, desde la DGA se está trabajando en una propuesta de actuaciones se enmarcan en las siguientes líneas de actuación marcadas en el la propuesta de reglamento: eficiencia energética, energías renovables, adaptación al cambio climático y prevención-gestión de inundaciones, sequías e incendios, provisión de agua de consumo humano, gestión del agua y conservación de los recursos hídricos, recogida y tratamiento de las aguas residuales y protección ambiental de la naturaleza y la biodiversidad.

La conclusión es que las medidas establecidas en la Planificación Hidrológica y las líneas estratégicas establecidas para la gestión del agua nos permiten estar preparados para impulsar desde este momento todas las actuaciones que podamos desarrollar con los mecanismos de financiación que tengamos disponibles.



3. Los planes hidrológicos de cuenca. El calendario de planificación.

La planificación hidrológica es el marco esencial de organización de las medidas a desarrollar para alcanzar y mantener el buen estado de las masas de agua, y atender los usos del agua. La revisión de los actuales Planes Hidrológicos supone una oportunidad para desarrollar una política de agua en el marco de la necesaria transición ecológica.

El exigente calendario que impone la legislación nacional y comunitaria obliga a preparar los borradores de los futuros Planes Hidrológicos en los próximos meses. Dicho proceso deberá quedar completado, siguiendo el calendario que señala la Directiva Marco del Agua, antes de finalizar el año 2021.

La primera fase para la revisión de los planes hidrológicos de cuenca, correspondiente a los Documentos Iniciales, se completó a lo largo del 2019.

El pasado mes de enero se inició la segunda fase, la consulta pública de los Esquemas Provisionales de Temas Importantes (EpTIs), que conlleva la exposición pública de los temas prioritarios a acometer en las demarcaciones hidrográficas y las distintas alternativas y medidas propuestas para su resolución. Esta consulta pública se tuvo que acomodar a la particular situación derivada del Estado de Alarma por la crisis del COVID-19, lo

que implicó la suspensión del plazo de consulta pública de los EpTIs y la celebración de actos presenciales. Sin embargo, esta interrupción no impidió la continuación de los trabajos. Durante los dos meses y medio en que las actividades presenciales y el cómputo de plazos estuvieron suspendidos, se realizaron diversas actividades para favorecer la consulta y participación en este proceso utilizando procedimientos telemáticos, entre las que pueden destacarse la celebración de trece seminarios virtuales por la Dirección General del Agua y los Organismos de cuenca con más de 3.000 participantes y la realización de encuestas telemáticas.

La situación actual sigue sin que sea recomendable la realización de reuniones presenciales, talleres u otras actividades participativas como las inicialmente previstas, además. Con el ánimo de favorecer al máximo las posibilidades participativas y tratando igualmente de no retrasar significativamente el exigente calendario de la planificación hidrológica, se ha ampliado el vigente plazo de consulta pública hasta finales de octubre.

Una vez consolidados los Esquemas de Temas Importantes (ETIs) tras los procesos de participación, se iniciará la tercera, y última fase, se elaborarán y someterán a consulta pública durante 6 meses los Planes Hidrológicos de las demarcaciones partiendo de las soluciones propuestas en los ETIs. Un aspecto fundamental de estos planes son los programas de medidas, que deben priorizar

las acciones que contribuyen a la adaptación al cambio climático, integrando las contribuciones que resulten de otros planes sectoriales, como las del Plan DSEAR.

4. Gestión de los riesgos: inundaciones y sequías.

El cambio climático provoca efectos negativos sobre la disponibilidad de recursos y la frecuencia de presentación de los sucesos hidrológicos extremos, como las sequías y las inundaciones. La gestión de estos riesgos requiere coherencia de las políticas en todos los sectores, como la adaptación al cambio climático, la gestión del agua y la reducción del riesgo de desastres. Y aunque la eliminación total de estos riesgos no es posible, por muchas medidas que se apliquen, es necesario involucrar a los ciudadanos en su gestión.

Las inundaciones son, año tras año, el fenómeno natural que causa más daños en España, tanto por la pérdida de vidas humanas como por las afecciones a los bienes y las actividades económicas. El riesgo de inundación ha sido definido como una amenaza a la seguridad nacional en la Estrategia Española de Seguridad Nacional.

La gestión del riesgo de inundación que trajo consigo la Directiva Europea de inundaciones y su efectiva implantación en el terreno mediante los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRIs) para cada demarcación hidrográfica constituye uno de los principales hitos de la política del agua en España en los últimos años.

Durante el primer ciclo de esta Directiva, con los primeros PGRIs, se ha conseguido ya que la ordenación del territorio y urbanismo tengan en cuenta la cartografía de zonas inundables en su desarrollo y estamos dando pasos importantes en la consecución de la ejecución de obras que mejoren el estado de los ríos y disminuyan el riesgo de inundación. Hemos desarrollado estudios de coste beneficio sobre las obras estructurales, y es momento ahora de consolidar estas labores en el segundo ciclo de la directiva de inundaciones y del tercer ciclo de la Directiva Marco del Agua coordinando ambas labores, impulsando la

recuperación ambiental de nuestros ríos, a la vez que fomentemos la adaptación al riesgo de inundación de los elementos vulnerables.

Por otra parte, es esencial realizar una gestión planificada de las sequías, que son un componente natural de nuestro clima, pero cuya frecuencia de ocurrencia se prevé mayor conforme avance el siglo XXI, de acuerdo con los escenarios de cambio climático. Los planes de gestión de sequías utilizan, desde 2019, un doble sistema de indicadores que permite diferenciar las situaciones de sequía prolongada, entendida como un fenómeno natural, de las de escasez, relacionadas con problemas coyunturales en la atención de las demandas. Ello permite por una parte determinar de una forma objetiva la situación de sequía prolongada y su incidencia ambiental, y por otro lado adoptar medidas de gestión de manera objetiva y progresiva que permitan evitar o retrasar la llegada de las fases más severas de la escasez, mitigando sus efectos negativos.

5. Planes e iniciativas normativas en curso en el MITERD. Como afectan a la gestión del agua: estrategia de la economía circular, plan nacional de adaptación al cambio climático y proyecto de ley del cambio climático y transición energética.

La Unión Europea se ha comprometido mediante el Pacto Verde Europeo a la descarbonización de la economía, la descontaminación de las masas de agua, la recuperación de los niveles naturales, la recuperación de los niveles naturales de los acuíferos, y al freno de la pérdida de biodiversidad.

España se encuentra comprometida ante estos retos, y para ello el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico está trabajando en el desarrollo de estrategias y planes en los que el agua juega un papel importante.

La Estrategia Española de Economía Circular (EEEC), conocida como "España Circular 2030", sienta las bases para superar la economía lineal e impulsar un nuevo modelo de producción y consumo en el que el valor de productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor

tiempo posible; en el que se minimice la generación de residuos y se aprovechen al máximo aquellos cuya generación no se haya podido evitar.

Uno de los objetivos de “España Circular 2030” es mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua en los ciclos productivos para reducir su demanda mediante los instrumentos de la política del agua, como la planificación hidrológica y la gestión sostenible de los recursos hídricos, pero también a través de los instrumentos propios de una economía circular. Y, de esta forma, abordar la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas acuáticos, evitar su contaminación y reducir los impactos asociados al cambio climático. Gran parte de la circularidad en el agua se logra a través de las mejoras en la depuración de las aguas residuales, lo que permite, simultáneamente, la recuperación de materiales en forma de nutrientes como nitrógeno, fósforo y magnesio en los procesos de deshidratación de los fangos digeridos procedentes de las EDAR para su posible posterior utilización como fertilizantes.

En aras de lograr este objetivo, el eje de actuación sobre el que se focalizarán las políticas e instrumentos de la Estrategia de Economía Circular y sus correspondientes planes de actuación será la “Reutilización y Depuración del Agua”.

Este eje se ha incorporado a la Estrategia Española de Economía Circular como un eje singularizado debido a la importancia que tiene el agua en la península ibérica. Siendo un elemento esencial, se ha decidido darle un tratamiento específico, más allá de la obtención de materias primas secundarias, por su especial incidencia en la economía española y por la posición de liderazgo de nuestro país en reutilización de agua.

El II Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), que cubre el horizonte temporal 2021-2030, tiene como principal objetivo establecer una hoja de ruta que dé respuesta a las crecientes necesidades de adaptación al cambio climático en España, con el fin último de evitar o reducir los riesgos económicos, sociales y ecológicos y favorecer una mejor preparación para la recuperación tras los impactos.



Este nuevo Plan incluye 81 ámbitos de trabajo a desarrollar por parte de los diferentes sectores socioeconómicos del país para construir una economía y una sociedad más seguras y menos vulnerables a los impactos y riesgos del cambio climático, anticipándose a lo proyectado por la Ciencia.

Entre estas 81 líneas de acción destaca la de agua y recursos hídricos, cuyos objetivos son evaluar los impactos y riesgos ecológicos y sociales derivados de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos, profundizar en la integración del cambio climático en la gestión y planificación hidrológica, dando especial prioridad a la gestión de eventos extremos (sequías e inundaciones), promover prácticas de adaptación sostenibles en materia de uso y gestión del agua, así como sobre los eventos extremos, y reforzar la recogida de parámetros clave para el seguimiento de los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico, uso del agua y eventos extremos.

El Plan propone también una nueva gobernanza, para facilitar la coherencia de la acción climática y favorecer nuevas prácticas en la forma de legislar, de planificar, de presupuestar, de gestionar y de informar, como respuesta a los riesgos derivados del cambio climático, tanto para las administraciones públicas como para el sector privado.

La planificación y la gestión hidrológica, a efectos

de su adaptación al cambio climático, tendrán como objetivos conseguir la seguridad hídrica para las personas, para la protección de la biodiversidad y las actividades socioeconómicas, de acuerdo con la jerarquía de usos, reduciendo la exposición y vulnerabilidad al cambio climático e incrementando la resiliencia.

Para ello la planificación y la gestión hidrológica deberán adecuarse a las directrices y medidas que se desarrollen en la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica, instrumento programático de planificación de las administraciones públicas que deberá aprobarse en el plazo de un año de la entrada en vigor de esta Ley.

De este modo la planificación y la gestión, en coherencia con las demás políticas, deberá incluir los riesgos derivados del cambio climático, considerando los riesgos derivados de los impactos sobre los regímenes de caudales hidrológicos y los recursos disponibles de los acuíferos, los riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, los riesgos asociados al incremento de la temperatura del agua y a sus impactos, y los riesgos derivados de los impactos posibles del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua.

Entre 2021 y 2027 se elaborarán los Planes de Adaptación al Cambio Climático de las demarcaciones hidrográficas que se incorporarán en la revisión de 2027 de los Planes Hidrológicos. Estos Planes de Adaptación proporcionarán información sobre exposición, vulnerabilidad y riesgo, y definirán medidas para disminuir el riesgo.

6. Nuevo reglamento europeo de reutilización.

En el Marco del Pacto Verde Europeo y el Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular, así como la Estrategia Española de Economía Circular 2030, el agua ha tomado mayor protagonismo, promoviendo diversas acciones para su uso eficiente, entre las que se incluye la promoción de la reutilización, que en la DGA articulamos fundamentalmente a través del Plan DSEAR y coordinadamente con el proceso de planificación hidrológica.



El Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua, fue publicado el día 5 de junio y desde el día 26 está en vigor, siendo de plena aplicación el 26 de junio de 2023. ¿Qué significa esto para nosotros?

1) Oportunidad de adaptación reglamentaria de nuestro marco normativo:

El Reglamento europeo introduce nuevos planteamientos, como el control del agua producida y el enfoque de la gestión del riesgo, poniendo de relieve el papel del "operador" como responsable de la producción del agua regenerada con la calidad requerida para su aplicación específica. También fija nuevas calidades del agua, que siendo más exigentes que las de nuestra normativa, se ha comprobado que en la práctica, de manera general, no supone un coste desproporcionado respecto a los costes actuales.

De manera adicional se deberán identificar en cada caso todas las partes responsables en el sistema de reutilización, incluyendo en su caso la distribución, el almacenamiento y el usuario, siendo la responsabilidad de este último la de velar por que la calidad del agua para su uso final, una vez entregada por el operador, mantiene unas condiciones adecuadas de seguridad para la salud pública y el medio ambiente, que quedan fijadas por el plan de seguridad de las aguas reutilizadas. La autoridad de cuenca es la autoridad competente que expedirá los correspondientes permisos de acuerdo con la nueva reglamentación.

2) Un nuevo enfoque de la evaluación de los riesgos a través de planes de seguridad de las aguas reutilizadas.

Estos planes de seguridad (o de gestión del riesgo) deben asegurar que las aguas regeneradas se usen y gestionen de forma segura y no entrañen riesgos para el medio ambiente ni para la salud humana o la sanidad animal. Actualmente, nuestra normativa establece un programa de autocontrol del usuario que vela por el cumplimiento de las condiciones impuestas en su concesión o autorización. Por lo tanto, en la práctica, el plan de seguridad consistirá en una adaptación de estos programas de autocontrol a los requerimientos de control del nuevo reglamento, así como en la prescripción de las barreras o medidas de prevención que el organismo de cuenca introduzca como condición en razón de las características específicas del caso y del cumplimiento de la finalidad del sistema de reutilización del agua. En España estamos ya desarrollando una serie de proyectos piloto a través del CEDEX y en colaboración con las Comunidades Autónomas y el CSIC, para el desarrollo de estos

planes de seguridad; y además se han iniciado los pasos para realizar un intercambio de experiencias con Portugal y Francia.

3) Una oportunidad para el fomento y el impulso de la reutilización, no sólo en el uso agrario, sino también en otros usos.

Nuestra normativa actual, en particular la aplicación del RD 1620/2007, durante estos años de aplicación ha recibido una serie de propuestas de modificación por diversos actores, que en algunos casos están muy fundamentadas debido a problemas que se generan por no contemplar toda la casuística tan diversa que existe. Por tanto, nos encontramos ante una oportunidad de mejorar algunas de estas cuestiones, que están actualmente siendo analizadas en el marco de la elaboración del PDSEAR, con el único fin de promover la reutilización a la mayor escala posible mediante unos incentivos adecuados, salvando algunas barreras que hasta ahora han dificultado su implantación, en particular, en lo que se refiere a una distribución adecuada de los costes y beneficios del empleo de las aguas regeneradas.



¿Por qué no hay una mayor reutilización de nuestras aguas depuradas?

Pedro José Simón Andreu
Director Técnico Esamur



Paradójicamente, cuando se habla de reutilización, se destaca su importancia gracias a las grandes ventajas que reporta. Sin embargo, es llamativo que en España también queda un largo camino por recorrer en esta materia. ¿Por qué?

Por supuesto, esta afirmación varía según las regiones de nuestro país. En la Región de Murcia, donde desempeño mi labor desde hace muchos años, es algo que tenemos tan asumido que no nos imaginamos otra manera de proceder. Ser la región con menor pluviometría de Europa, tener una producción agrícola anual superior a 2.600.000 toneladas y tener un sistema de depuración muy fiable y avanzado hacen que reutilizar el agua de las depuradoras sea algo lógico y natural.

Entonces ¿por qué no se reutiliza más el agua depurada en otros lugares? En mi opinión, los principales problemas radican en la desconfianza y en la estrechez de miras.

Por ejemplo, una desconfianza es que nuestros gobernantes no están seguros de que los sistemas de depuración sean seguros y fiables. Aún tenemos zonas con problemas de depuración y, en muchas ocasiones, los modelos regionales del saneamiento no son eficaces, en mi opinión. Desgraciadamente, también se recorta muchas veces el dinero necesario para prestar un servicio adecuado, dejándose llevar por criterios políticos cortoplacistas y sin sentido. Debemos desterrar esta desconfianza, ya que tenemos empresas operadoras que demuestran cada día que son capaces de conseguir muy elevados rendimientos de depuración y fiabilidad, siempre que le dediquemos los fondos necesarios.

Otra desconfianza es la de los usuarios de las aguas para riego y de los consumidores de los productos agrícolas, y esta se debe al desconocimiento. Si demostramos la fiabilidad de nuestras plantas depuradoras y la calidad del agua producida, si mostramos a los reticentes qué hacemos y los invitamos a visitar nuestras plantas, si llevamos a cabo investigaciones serias y rigurosas para demostrar la calidad y bondad del agua producida, frente a estudios alarmistas, si escuchamos sus preocupaciones, acabaremos con esa desconfianza. Eso ya lo estamos haciendo desde hace



años en nuestra región, invitando a las comunidades de regantes, a los agricultores, a los responsables de cadenas comerciales, etc., para que vean los controles realizados, la calidad del agua obtenida y confíen en nosotros.

En cuanto a estrechez de miras. Ya hemos mencionado el recorte de fondos para una actividad tan esencial como la depuración, en la que cualquier fallo nos puede llevar a graves problemas medioambientales y económicos. Pero otra estrechez de miras viene de hacer cálculos simplistas sobre la comparación del coste de regenerar el agua y el de conseguir el agua de otras fuentes. Evidentemente, si queremos un agua de calidad va a exigir un coste que, en muchos casos será mayor que tomar el agua de cauces o acuíferos. Pero preservar nuestros acuíferos y nuestras aguas superficiales debiera tener un valor capaz de contabilizarse -recordemos que la desinfección no es exigida en la normativa de tratamiento de aguas residuales europea, con lo que estamos contaminando dichas aguas para otros usos con los vertidos de aguas sin desinfectar-. Aprovechar los nutrientes que llevan las aguas depuradas, también debería ser importante, especialmente el fósforo, aunque tenga dificultades técnicas por la formación de algas. Es un deber de la Administración

el introducir estos costes o ventajas en la ecuación, bien sea con tasas o con incentivos, para preservar esos recursos que no son indefinidos y cada vez más escasos con los efectos del cambio climático.

A veces también encontramos estrechez de miras por parte de los usuarios de las aguas regeneradas, los regantes, al mantener posiciones inmovilistas y no querer participar en los costes. Está claro que una parte muy importante de los costes de tratamiento de las aguas depuradas debe recaer en los ciudadanos o industrias que han contaminado estas aguas. Pero con las calidades que se van a exigir a partir de ahora creo que es necesario que contribuyan en una parte, y además así se “valora” el producto y estarán en posición de exigir calidad. Su contribución a estos costes permitirá desarrollar más rápidamente los proyectos de regeneración y les permitirá disponer de un agua de buena calidad, y muy segura, ya que el agua urbana es la última en restringirse en caso de escasez. Una postura demasiado defensiva puede perjudicarles a la larga.

Por último, considero que el actual sistema de concesiones tiene tales rigideces que hacen que el agua no siempre se aproveche como es debido, y esto también sería válido para las concesiones

de agua regenerada. Una cierta flexibilidad de este sistema, con acuerdos de intercambios de aguas, por ejemplo, podría ser de gran interés.

Otra dificultad para el avance de la reutilización puede ser los elevados costes de transporte, en caso de que los asentamientos agrícolas se encuentren lejos de la planta de regeneración de aguas, o el desfase entre períodos de necesidades de agua para cultivos y los períodos de producción, para lo cual harían falta almacenamientos adecuados o estudiar el utilizar acuíferos como almacenamiento para ciertos períodos. Para ambos casos, flexibilización en los intercambios de aguas, además de ayuda para las inversiones necesarias, sería conveniente.

Otros factores que tampoco ayudan al desarrollo de la reutilización son la salinidad o los compuestos llamados emergentes. Respecto a la primera es un hecho que se está produciendo un paulatino incremento de la salinidad de las aguas residuales que hace menos atractiva la reutilización de las aguas regeneradas, puesto que un exceso de salinidad reduce los rendimientos de las cosechas y puede afectar a los suelos de manera importante. Es indudable que el uso urbano de las aguas incrementa este parámetro, siendo los descalcificadores un ejemplo claro. Sin embargo, el mayor efecto se produce en las redes de alcantarillado por infiltraciones de aguas de alta salinidad, sobre todo en los municipios costeros. Por ello es importante que los municipios lleven a cabo campañas de concienciación y que acometan las inversiones necesarias en las redes de alcantarillado, porque estamos estropeando un recurso muy valioso y además incrementamos nuestros costes de explotación en las depuradoras y alcantarillados.

En cuanto a los contaminantes emergentes hay una gran confusión que da pie a los detractores de la reutilización a continuar con sus campañas de desprestigio. Por supuesto que el agua regenerada no es sólo H_2O , contiene metales, compuestos emergentes, microplásticos, etc. y los cada vez más potentes sistemas de medición en laboratorio

encuentran casi cualquier cosa en concentraciones bajísimas. Ojalá no estuvieran, pero están. Lo importante es saber si en esas concentraciones son suficientemente perjudiciales para nuestra salud o el medio ambiente para obligarnos a quitarlos, porque su eliminación o la no utilización de las aguas regeneradas también tiene un coste importante económico y medioambiental. En la región de Murcia llevamos estudiando desde hace muchos años su presencia en las aguas residuales, los porcentajes de eliminación en las depuradoras convencionales, sistemas específicos de eliminación como ozono, carbón activo, etc. valorando a la par los estudios científicos de posible afección a los cultivos, salud, etc. Todo indica que algunos de estos elementos pueden llegar a los productos agrícolas, pero en tan bajas concentraciones que no afectan a la salud. Pero debemos seguir investigando para estar completamente seguros. Y las administraciones deben implicarse en las investigaciones para ser capaces de evaluar los riesgos siendo objetivos, sin dejarse llevar por el camino fácil que es el "principio de precaución". Y, antes que nada, trabajemos en la prevención, para que estos productos entren lo menos posible en las aguas residuales.

Por último, otro enemigo importante son los vertidos industriales. Si el tratamiento secundario no funciona adecuadamente olvidémonos del tratamiento terciario y de la reutilización. Y el mayor problema que tienen actualmente en su funcionamiento las depuradoras correctamente gestionadas son los vertidos industriales ilegales e incontrolados. Es fundamental la disciplina municipal en el control de vertidos, y deben tomarse medidas en aquellos municipios donde no se actúa.

Además, la reutilización enfrenta un nuevo reto. La aprobación del Reglamento 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua, supondrá unas exigencias muy por encima de las actuales a nivel nacional, contempladas en el RD 1620/2007. Han pasado más de 5 años desde que comenzara a gestarse

5 años desde que comenzara a gestarse este proyecto de armonización e impulso a nivel europeo. La involucración del antes MITECO ahora MITERD y de la REPER del Ministerio de Asuntos Exteriores ha sido muy alta, y han contado con el apoyo incondicional de asociaciones y organismos como AEAS, CEDEX, PTEA, ASERSA, ADECAGUA, etc. y de comunidades autónomas como Murcia y Valencia, por ser las que mayor experiencia tienen en este campo. Consideramos que el resultado ha sido satisfactorio, conociendo en primera persona de las dificultades que ha habido que superar. No obstante, hay aspectos aún abiertos e importantes en la normativa, como el estudio de riesgos exigido para los proyectos de reutilización, que podrían dar al traste con todo el trabajo realizado, por lo que hay que seguir trabajando en ello a nivel europeo. Se trata de una normativa bastante exigente pero viable, aunque va a demandar importantes esfuerzos económicos. Dotará a la reutilización de un muy elevado nivel de seguridad, lo que nos permitirá proporcionar mayor confianza a los usuarios y a los consumidores.

Los plazos avanzan y tenemos 3 años para adaptarnos. Es fundamental seleccionar los tratamientos necesarios para el cumplimiento de los requerimientos y ejecutarlos. En la región de Murcia ya hace tiempo que empezamos estos trabajos, pero haría falta la involucración y apoyo en los estudios necesarios, por parte del MITERD y Ministerio de Sanidad. Y también en los trabajos necesarios de adaptación administrativa que exige el Reglamento, que implicarán quizás modificaciones legislativas, adaptación del RD 1620/2007 a la nueva situación, etc.

Y los operadores de planta tendremos que mentalizarnos, más aún, de que tenemos entre manos la salud de las personas, si trabajamos en reutilización, y que nuestras plantas tienen que tener una altísima fiabilidad.

Es una realidad que la reutilización va a ser cada vez más necesaria. Por fortuna, en España contamos con una amplia experiencia, ahora debemos ser capaces de convencer a los reticentes de sus bondades.





LAS AGUAS PARA USO AGRÍCOLA: NUEVA DIRECTIVA DE REUTILIZACIÓN





Retos y oportunidades para la reutilización ante la nueva normativa Europea

Palabras clave

Análisis de calidad, plan de riesgos, nueva regulación, oportunidades, retos, reutilización

Uno de los objetivos globales de nuestra sociedad es la aplicación de nuevas fórmulas de producción y consumo ligadas al desarrollo de procesos de economía circular. Estos procesos implican compartir, reparar, renovar y reciclar materiales todas las veces que sea posible con el fin de crear un valor añadido de sostenibilidad en los sistemas productivos. En este sentido, en el área de la producción agrícola los procesos de reutilización del agua para el riego podrían contribuir a la recuperación de los nutrientes presentes en las aguas urbanas depuradas, y el uso de aguas regeneradas para el riego podría ser una forma de devolver nutrientes como el nitrógeno, el fósforo o el potasio a los ciclos biogeoquímicos naturales. La importancia de este tipo de aproximación en la gestión y manejo del riego es lo que ha impulsado a la Unión Europea al desarrollo de una nueva Directiva Comunitaria para la "Reutilización de Agua" (Reglamento 2020/741 del 25 de Mayo de 2020). Esta nueva Directiva debe suponer un impulso a la reutilización de aguas regeneradas en la agricultura, en la medida que permite dotar de una regulación común a todos los países miembros. Las estimaciones oficiales son que esta propuesta podría incrementar el volumen de agua reutilizada hasta los 6.600 millones de m³ anuales en 2025, desde los 1.100 millones actuales. La importancia del incremento de esta fuente de agua en los sistemas de riego radica en que los recursos hídricos en todo el mundo se encuentran bajo una presión cada vez mayor, lo cual da lugar a problemas de escasez de agua y a un deterioro de su calidad. La gestión de este nuevo marco regulatorio comenzó en la Comisión Europea durante el año 2014.

A lo largo del proceso de discusión y negociación de este nuevo reglamento hubo propuestas que exigían el establecimiento de unos requisitos de seguridad desproporcionados que en ningún caso habrían permitido el desarrollo de la reutilización de aguas en el sector agrícola.



Imagen 1. Planta de reutilización aguas residuales. Fotocatálisis Proyecto REUSAGUA.

En este sentido, es meritorio y digno de resaltar el esfuerzo realizado por nuestro país, y en concreto por algunos agentes específicos directamente involucrados en los procesos de reutilización como han sido ESAMUR, AEAS, ASERSA, AEDYR, ADECAGUA y organismos como CEDEX y el CEBAS-CSIC, para finalmente conseguir una normativa compatible con las buenas prácticas de reutilización que se vienen produciendo en España.

Obviamente existen cambios significativos en la nueva reglamentación Europea respecto al RD 1620/2007 que ha regulado a nivel nacional la reutilización de agua en nuestro país durante los últimos años.



Imagen 2. Plantación comercial y sistema de riego con aguas regeneradas.

La necesaria inclusión de un “Plan de Gestión de Riesgos” en los nuevos proyectos de reutilización es una de las modificaciones más significativas de la nueva normativa, y supondrá realizar una descripción detallada de todo el sistema de reutilización, la detección de peligros potenciales, la detección de entornos, poblaciones e individuos en situación de riesgo y la identificación de medidas preventivas para limitar estos riesgos y gestionarlos de manera adecuada. Otra de las novedades en la normativa Europea es la realización de un “Control de Validación”, exigente desde el punto de vista microbiológico, antes de poner en funcionamiento una nueva estación regeneradora de aguas. Los requisitos de calidad de las aguas regeneradas para el riego agrícola también son más exigentes en la nueva normativa que los aplicados hasta el momento en España. Pero en general todas estas nuevas consideraciones, que sin duda redundarán en un uso más controlado del agua regenerada, pueden ser asumidas por nuestros sistemas de reutilización actuales.

Esta nueva normativa, de obligado cumplimiento para toda Europa a partir del año 2023, debe suponer un reto para todos los agentes involucrados en el proceso de reutilización de aguas depuradas y su uso agrícola en nuestro país (autoridades competentes, operadores, usuarios finales, etc.). Estamos en disposición de consolidarnos como uno de los países donde más cantidad de agua regenerada es utilizada en el sector agrícola a nivel mundial, pero debemos también ser capaces de producir y exportar conocimiento y tecnología de depuración y reutilización a otros lugares con problemas de déficit hídrico similares a los nuestros. En este sentido, aspectos tan relevantes dentro de los procesos de depuración como son el aprovechamiento de los subproductos procedentes del tratamiento de aguas residuales, o el desarrollo de nuevas formas de generación y optimización de energía en dichos procesos, deben ocupar un papel importante en la agenda de actuación innovadora. Proyectos estratégicos y singulares como “REUSAGUA”, con colaboración público-privada y financiados por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en donde se están desarrollando nuevos sistemas de tratamiento terciario capaces de mejorar la calidad del agua regenerada son un buen ejemplo del tipo de retos tecnológicos que debemos abordar.

Juan José Alarcón Cabañero
 Profesor investigación departamento riego.
 Director CEBAS-CSIC
 jalarcon@cebas.csic.es

Problemática en la reutilización: calidad del agua y su variación en el traslado y almacenamiento

Inmaculada Romero
 Subdirectora del Instituto Universitario de
 Investigación de Ingeniería del Agua y Medio
 Ambiente de la Universitat Politècnica de València
 inrogi@dihma.upv.es



Se hace necesario reutilizar el agua regenerada, generando “agua a la carta” en función del uso que se pretenda dar, y son los criterios legislativos los que marcan la posibilidad o no de poder reutilizar el agua. Actualmente, la reutilización en la Comunidad Valenciana se enfoca principalmente en el uso agrícola, sector con una temporalidad muy marcada. La problemática actual no es solamente conseguir la calidad marcada en la normativa, sino también su traslado, almacenamiento y control. Así en el caso de estudio se analiza los retos para el control de calidad del agua, desde el punto de toma hasta su punto de utilización, tras su traslado y almacenamiento.

Así, el cumplimiento de la normativa obliga a invertir, no solo en la investigación previa de técnicas y tecnologías de depuración que permitan llegar a los criterios de calidad definidos, sino también a estudiar su calidad en el traslado y almacenamiento del agua regenerada.

Palabras clave

aguas
 regeneradas,
 reutilización,
 calidad,
 agricultura,
 nutrientes

Una de las medidas para avanzar en el impulso de la economía circular en la gestión de agua es la regeneración y reutilización del agua depurada, utilizando el agua regenerada como una fuente de recursos y no como un desecho. El Real Decreto 1620/2007, establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, y en 2010 se publicó la Guía para su Aplicación. En fechas recientes, se ha publicado el Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. En función del uso que se pretenda dar a las aguas regeneradas, los criterios de calidad a cumplir son diferentes.

Uno de los principales usos es el agrícola, y como marca el Reglamento UE 2020/741, “...la reutilización

del agua podría reducir la necesidad de aplicaciones complementarias de abonos inorgánicos...”. La agricultura posee una temporalidad muy marcada, por lo que normalmente el agua regenerada debe almacenarse hasta su utilización. Así, la problemática actual no es solamente conseguir la calidad marcada en la normativa a la salida de la estación depuradora y/o regeneradora de aguas, sino también determinar cuál será ésta durante su traslado, almacenamiento y posterior utilización, es decir, en todo el sistema de reutilización del agua.

En el caso estudiado se pretende utilizar agua regenerada en zonas de regadío. Para maximizar el aprovechamiento de las aguas regeneradas, incluidas las producidas fuera de la temporada de riego, es necesario dotar al sistema de unas balsas

de regulación. Así, la existencia de estas balsas conlleva analizar los posibles cambios en la calidad del agua tras su almacenamiento en las balsas, para poder adecuar la calidad del efluente para su uso potencial para riego, y finalmente poder definir los cambios requeridos en la fertilización de cultivos.

La normativa marca claramente los valores máximos admisibles de distintos parámetros en función de los usos a los que está destinada el agua regenerada. En el caso que nos ocupa estaríamos hablando del uso agrícola. Existen algunos parámetros que siempre hay que controlar, como son los indicadores microbiológicos, Nematodos intestinales y *Escherichia coli*, y los indicadores físico-químicos, sólidos en suspensión y turbidez. Además dependiendo del tipo de aplicación o destino del agua regenerada, la normativa obliga a controlar otro tipo de parámetros, como *Legionella* spp. en caso de que se produzca aerosolización, o el nitrógeno y el fósforo total en el caso de recarga de acuíferos o llenado de estanques con riesgo de eutrofización. Además, en función de la autorización de vertido será necesario controlar algunos otros parámetros. No hay que olvidar que cuando se trate de sustancias peligrosas, se debe además asegurar el respeto de las Normas de Calidad Ambiental (NCAs).

Pero además del cumplimiento o no de los parámetros y valores máximos admisibles, se debe estudiar la calidad del agua regenerada desde el punto de vista del impacto al cultivo. En nuestro caso de estudio se ha diseñado dos balsas de almacenamiento en continuo, y el agua almacenada se reparte entre las dos balsas por igual. Ambas balsas se van llenando a razón de 1,5 hm³/mes durante todo el año (Figuras 1 y 2). En invierno, la demanda es menor que la entrada, por lo que se va acumulando en las balsas lo que no se necesita, al tiempo que se consume. En abril se acumulan 5 hm³ entre las dos balsas, en los meses de verano (de mayo a septiembre) la demanda es mayor de lo que entra, por lo que empieza a hacerse uso de lo almacenado. En mayo y junio existe aún bastante

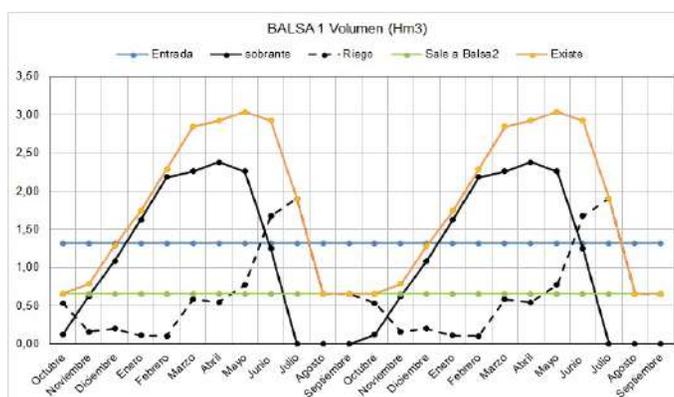


Figura 1. Volúmenes estimados en Balsa 1

agua almacenada para poder cubrir la demanda almacenada para poder cubrir la demanda. Sin embargo, en julio, agosto y septiembre no existe ya agua almacenada que pueda cubrir la demanda, por lo que en estos meses el agua entra en continuo y sale según la demanda de riego. Por tanto en este sistema, el volumen de las balsas va cambiando a lo largo del año. Y también lo hará la calidad del agua.

En estas balsas se producirán distintos procesos físicos, químicos y biológicos. En particular, la temperatura, junto a los nutrientes y a las condiciones de luz, controlarán la producción primaria. En el caso que nos ocupa, se produce mezcla completa en ambas balsas sin llegar a producirse una estratificación térmica, por la entrada y salida continua de agua (con un bajo tiempo de residencia del agua) y porque en los meses donde podría producirse estratificación (verano) el agua no llega a almacenarse. Considerando entonces la mezcla vertical completa, la calidad del agua será similar a cualquier profundidad de la columna de agua, y el agua que sale de cada balsa tendrá las características de la mezcla en ésta. El agua, en el interior de las balsas, tendrá unas características físico-químicas en función de las características del agua de entrada y de las condiciones ambientales de la zona que generarán unas temperaturas del agua diferentes en cada época del año. Así, las concentraciones de los diferentes parámetros físico-químicos en la mezcla deben calcularse teniendo presente la temporalidad de los caudales,

Problemática en la reutilización: calidad del agua y su variación en el traslado y almacenamiento

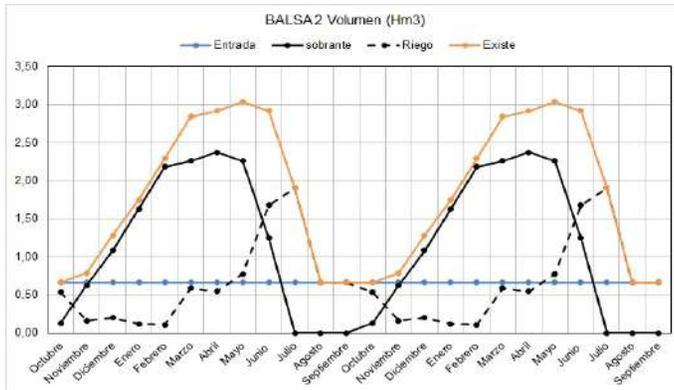


Figura 2. Volúmenes estimados en Balsa 2

las temperaturas estimadas del agua y las concentraciones del agua de entrada.

Los parámetros que pueden considerarse conservativos, como la salinidad, podrían ser estimados mediante simples balances de masas. Pero el problema surge en aquellos parámetros que no son conservativos, como los nutrientes, nitrógeno y fósforo. De hecho, uno de los principales problemas que podríamos encontrarnos en estas balsas, es la posible eutrofia y por tanto unas variaciones en los nutrientes como nitrógeno y fósforo. Un ecosistema eutrófico suele ser un problema a la hora de gestionar, por el aumento de la producción y biomasa de productores primarios (fitoplancton, macrófitos,...); modificación de las características del hábitat por la transformación de la vegetación; producción de sustancias tóxicas por determinadas algas; disminución del oxígeno del agua; problemas de sabor y olor,... Así, queda claro que la cantidad final de nutrientes que posee el agua regenerada debe determinarse, no solamente por la problemática que puede suponer utilizar agua con gran carga de nutrientes, sino porque como indica el Reglamento UE 2020/741, "... la reutilización del agua podría reducir la necesidad de aplicaciones complementarias de abonos

inorgánicos. El usuario final debe ser informado del contenido en nutrientes del agua regenerada".

El estado trófico de un ecosistema acuático puede definirse como la relación entre el estado de nutrientes del ecosistema y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo, y conocerlo es fundamental a la hora de gestionarlo.

Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación (EPA, 2011). En la mayor parte de los casos, el factor de limitación en aguas dulces es el fósforo. En el caso estudiado, la relación molar nitrógeno:fósforo de entrada al sistema (proveniente del efluente de la EDAR) es 29 y por ello consideraremos que el fósforo es el nutriente limitante ($N:P > 16$). El estado trófico (Vollenweider, 1980) puede ir desde la oligotrofia con bajo nivel de nutrientes hasta la hipertrofia con gran abundancia de nutrientes.

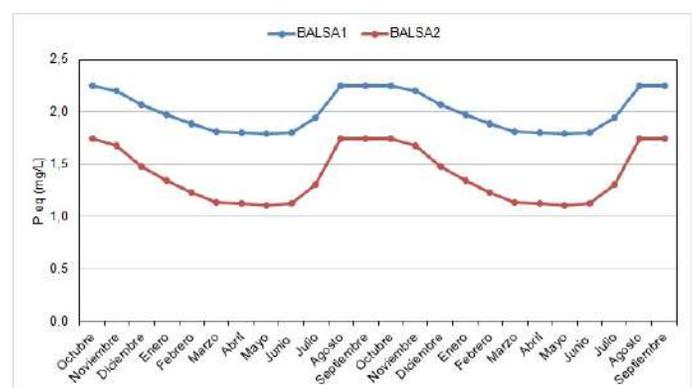


Figura 3. Concentración de fósforo en equilibrio para ambas balsas.

Existen numerosos modelos de eutrofización para estudiar los nutrientes en lagos y embalses de mayor o menor complejidad. Generalmente los modelos simples se abordan en base al balance de masas del nutriente limitante, esto es, el fósforo para las balsas. En este caso hemos utilizado uno de los modelos más simples (EPA, 2011). Los resultados obtenidos nos muestran que el fósforo (Figura 3) en la balsa B1 va variando anualmente, con mínimos de 1 mg/L (entre marzo y junio) y 1.8 mg/L (entre septiembre y diciembre) y en la balsa B2 entre 1.8 mg/L (entre marzo y junio) y 2.4 mg/L (entre septiembre y diciembre). El nitrógeno (Figura 4) en la balsa B1 va variando también anualmente, con mínimos de 15 mg/L (entre marzo y junio) y 22 mg/L (entre septiembre y diciembre) y en la balsa B2 entre 22 mg/L (entre marzo y junio) y 30 mg/L (entre septiembre y diciembre). Estos valores de fósforo y nitrógeno otorgarán a las balsas un estado ecológico hipertrófico, con muy altos valores de clorofila (estimador útil y simple de la densidad del fitoplancton) (Vollenweider, 1980).

Así, en este trabajo se ha realizado una primera aproximación a la calidad de las aguas de las balsas, teniendo en cuenta la variación de volúmenes,

el funcionamiento del sistema y las variaciones temporales, para asegurar la posibilidad real de que dichas aguas puedan ser utilizadas para riego. Como se apunta en la normativa, debe estudiarse la calidad del agua en el punto de aplicación, ya que sus características han podido cambiar desde el momento del suministro, especialmente si el agua se almacena. Pueden agudizarse los problemas de olores, crecimiento de las algas y fitoplancton, así como producirse un aumento de turbidez.

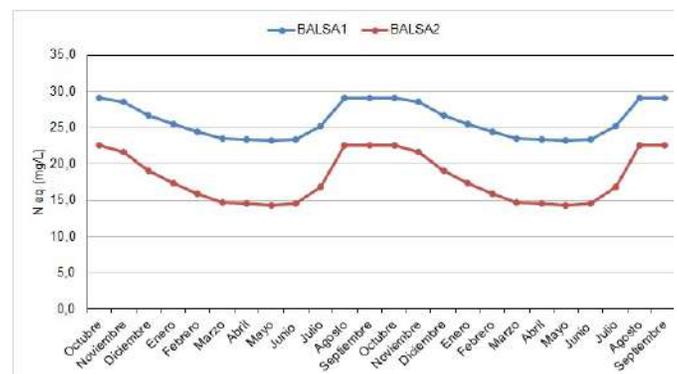


Figura 4. Concentración de nitrógeno en equilibrio para ambas balsas.

Referencias:

- » Environmental Protection Agency (2011). "Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs", General Books, United States.
- » Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas.
- » Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- » Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.
- » Vollenweider, RA, Members of the Technical Bureau (1980). "Conclusions of the OECD Cooperative program on eutrophication", en Unesco Nature and resources 16, 3.

Tecnologías de monitorización en continuo en la reutilización del agua

Jordi Cros Herrero
 Director de Innovación / jcros@adasistemas.com

Montserrat Batlle i Ribas
 Responsable Área Analítica / mbatlle@adasistemas.com

Josep Selles
 Director Área Desarrollo de Negocio / jselles@adasistemas.com



El nuevo reglamento de la UE sobre aguas regeneradas, al igual que el RD 1620/2007, establece los requisitos mínimos aplicables a las aguas regeneradas destinadas al riego agrícola y los parámetros a controlar para asegurar su calidad. Si exceptuamos la turbidez, para la que se considera la medida en continuo, en el resto de los parámetros se establece una frecuencia de muestreo inferior a 1 muestra por semana, pudiendo disminuir la frecuencia hasta 2 veces al mes. Esto puede provocar períodos entre dos muestreos en los que no se cumplan los requisitos de calidad del agua regenerada para su uso.

Actualmente se dispone de tecnologías y equipos para poder realizar la medida en continuo de más parámetros, además de la turbidez, asegurando así la calidad el 100% del tiempo.

Palabras clave

Monitorización,
 Escherichia coli

En el marco del Green Deal de la Unión Europea, y dentro de la New Circular Economy Action Plan, se enmarca el incremento de la ratio de agua reutilizada, garantizando la salud de los ciudadanos, la protección del medio ambiente y el fomento de prácticas de reutilización seguras.

Para ello, como ya hace el RD 1620/2007 actualmente vigente, la nueva directiva sobre la reutilización de las aguas establece los requisitos mínimos aplicables a las aguas regeneradas destinadas al riego agrícola, y los parámetros a controlar para asegurar su calidad. Si exceptuamos la turbidez, para la que se considera la medida en continuo, en el resto de los parámetros se establece una frecuencia de muestreo inferior a 1 muestra por semana, pudiendo disminuir la frecuencia hasta 2 veces al mes. Esto puede provocar períodos entre dos muestreos en los que no se cumplan los requisitos de calidad.

Actualmente se dispone de tecnologías y equipos para poder realizar la medida en continuo de más parámetros, además de la turbidez, asegurando así la calidad. Un ejemplo es el equipo aquaBio, que fue validado en el proyecto R3WATER, y que permite la medida en continuo de Coliformes Totales y Escherichia coli de forma automática y autónoma.

[Contexto: El proyecto R3WATER](#)

El proyecto R3WATER, financiado por la Comisión Europea bajo el Séptimo Programa Marco (FP7), nació para mostrar las soluciones innovadoras para la reutilización del agua, la recuperación de elementos valorizables y en la eficiencia en las plantas de tratamiento urbanas, ya que garantizar la calidad del agua es crucial para una sociedad rica y saludable. Dado que actualmente muchas regiones afrontan serios problemas de estrés hídrico, la reutilización de agua es necesaria cada

vez más.

Análisis E. coli, requerimientos de la regulación europea

E. coli es una bacteria ampliamente utilizada como indicador de la contaminación fecal. Su presencia advierte del riesgo potencial sanitario. Este aspecto queda reflejado en la mayoría de las normativas europeas. E. coli y los coliformes fecales son parámetros clave para determinar el uso potencial del agua regenerada a partir del tratamiento terciario en las plantas depuradoras.

Además, la concentración de E. coli es un parámetro analítico definido en las legislaciones de reutilización del agua en Chipre, Francia, Grecia, Italia y España previas a trasposición de la directiva europea. Como ejemplo, de acuerdo con la normativa española, se requiere una frecuencia alta de análisis de E. coli (2 o 3 veces por semana) para usos específicos. Estos requerimientos incrementan los costes de muestreo y laboratorio, haciendo que los sistemas de alerta temprana sean la solución más beneficiosa y eficiente. El analizador aquaBio ha sido diseñado para tratar este tipo de desafíos.

Sistema de monitoreo online para la regeneración de agua

El analizador aquaBio es una de las soluciones de monitoreo probadas dentro del alcance del proyecto europeo R3WATER, cuyo objetivo es el monitoreo automático de E. coli y los coliformes totales. La medida principal se basa en la tecnología de DST® (Defined Substrate Technology) y un sistema de detección para medir la fluorescencia y absorbancia. El color y la fluorescencia aparecen tan pronto como el sustrato específico está siendo metabolizado. La determinación de E. coli y coliformes totales se basa en la correlación entre la concentración de la bacteria y el momento en el cual aparece la fluorescencia o el color. Esta metodología permite obtener resultados en un corto periodo de tiempo: mientras que en los controles actuales se llevan a cabo en laboratorio,

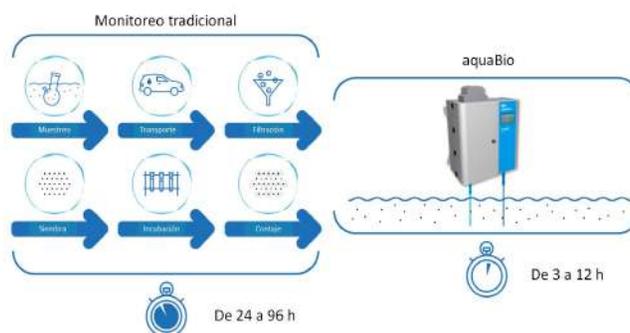


Imagen 1: Muestreo Manual vs Continuo Online

un solo análisis puede llevar entre 24 y 96 horas, aquaBio provee un resultado en 3-12 horas, dependiendo de la concentración de la bacteria (Imagen 1). Es una operación completamente automatizada que mejora la eficiencia de la planta de agua regenerada en tiempo real, a la vez que provee agua regenerada segura.

El monitoreo automático de E. coli provee resultados en 3 horas frente a las 24-96 horas de los controles actuales, lo que contribuye activamente a mejorar la operación de la planta, así como la seguridad del agua regenerada. Además, sus capacidades de conexión (salidas 4-20 mA o comunicaciones mediante protocolos MQTT o MODBUS) permiten disponer de la información remotamente, y conectarlo a los sistemas de control de la planta.

El caso de la Costa Brava

Desde 1989 una de las actividades del Consorcio Costa Brava es la regeneración de los efluentes tratados con el objetivo de cubrir las demandas de agua no potable. El agua regenerada debe cumplir las condiciones de seguridad para cada uso particular: uso medioambiental, recarga de acuíferos, riego para agricultura, riego de campos de golf y zonas verdes y redes municipales de agua regenerada.

Los retos que se plantearon fueron:

- Adaptar el proceso de desinfección a un caudal y calidad del agua cambiantes.

Tecnologías de monitorización en continuo en la reutilización del agua

- Ajustar la dosis de rayos UV y reactivos para una desinfección óptima.
- Alcanzar los objetivos de calidad del agua regenerada para diferentes usos.
- Reducir la huella medioambiental en la producción de agua regenerada.

Los beneficios esperados eran:

- Ahorrar consumo de energía y reactivos.
- Proveer alertas en caso de malfuncionamiento de la planta de regeneración de agua.
- Mejorar el control del sistema de desinfección.
- Incrementar la eficiencia en el proceso de producción de agua regenerada, evitando una sobredosis de productos químicos de desinfección y el exceso de consumo de energía UV.
- Garantizar la producción de agua regenerada adecuada para cada objetivo.

La población residente en el área se estima en 250.000 habitantes-equivalentes. Sin embargo, la población sufre un incremento estacional durante el verano debido al turismo, pudiéndose cuadruplicarse la población y alcanzar más de un millón de personas. Por este motivo, es necesario tener en cuenta este periodo en el diseño de las instalaciones a fin de proporcionar un servicio adecuado.

El analizador aquaBio se instaló en la planta depuradora de aguas residuales (EDAR) de Castell – Platja d’Aro, situada en la Costa Brava (Imagen 2). La línea de tratamiento de la EDAR Castell - Platja d’Aro posee un tratamiento primario, un tratamiento secundario con fangos activos convencionales y un tratamiento terciario para agua regenerada. La planta de agua regenerada está diseñada para un caudal de 15.000 m³/día, lo que significa que tan solo una parte del agua del clarificador secundario es tratada para su reutilización. El resto del efluente se descarga en el río Ridaura y en el mar Mediterráneo. Los principales usos del agua regenerada son el riego en agricultura y de campos

de golf.

La EDAR Castell – Platja d’Aro ha estado produciendo agua regenerada desde 1989. En el verano de 2015 alcanzó el récord en el pico de producción de agua regenerada, 400 m³/hora, debido a la sequía primaveral y a una ola de calor. También ganaron usuarios, casi en el límite de la capacidad de producción anual.



Imagen 2: Piloto en EDAR Castell – Platja d’Aro

Resultados obtenidos

Durante la primera fase del proyecto, aquaBio ha monitorizado la toma de entrada de la planta de agua regenerada, después del filtro de arena, con la finalidad de proveer el valor de la concentración de E. coli y coliformes totales online, que permite mejorar la eficiencia de la planta. Gracias al análisis de laboratorio se validó la correcta operación de la planta de agua regenerada. No obstante, la seguridad diaria era aportada por el sistema de medidas online, el cual asegura un funcionamiento óptimo y fiable. La Imagen 3 muestra las concentraciones medidas para 2 periodos de validación. Las concentraciones durante el verano eran 2 órdenes de magnitud mayores que durante el invierno, debido a que el incremento de temperatura aumenta la capacidad reproductiva de los microorganismos. El conocimiento de la concentración de microorganismos ayuda a los operadores a producir agua regenerada eficiente,

dado que la concentración antes del tratamiento de desinfección evita la sobredosis de reactivos desinfectantes y el exceso de consumo de energía UV.

Otras aplicaciones de la medida de coliformes totales y E. coli

Como se ha detallado anteriormente, E. coli también es un indicador clave para definir los usos potenciales del agua regenerada, alineado con los objetivos de la Unión Europea en el Green Deal y en la New Circular Economy Action Plan para el incremento del uso del agua reutilizada garantizando la salud de los ciudadanos. La presencia de coliformes totales y de E. coli en

sistemas de distribución de agua potable es un indicador de contaminación fecal. Esto tiene especial interés en el caso de sistemas que no utilicen el cloro como agente desinfectante. Esta aplicación ha sido validada por Mekorot, compañía nacional de agua de Israel, para el control de la captación del río Jordán. La medida de E. coli también se utiliza como indicador de calidad de aguas continentales y costeras en la Directiva 2006/7/CE relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño. En el marco del proyecto iBATHWATER (LIFE17-ENV_ES_000396) se está evaluando el equipo aquaBio B-403 (Imagen 4) en Barcelona (aguas costeras) y Berlín (aguas continentales) para la medida de E. coli y la versión para medida de enterococos.

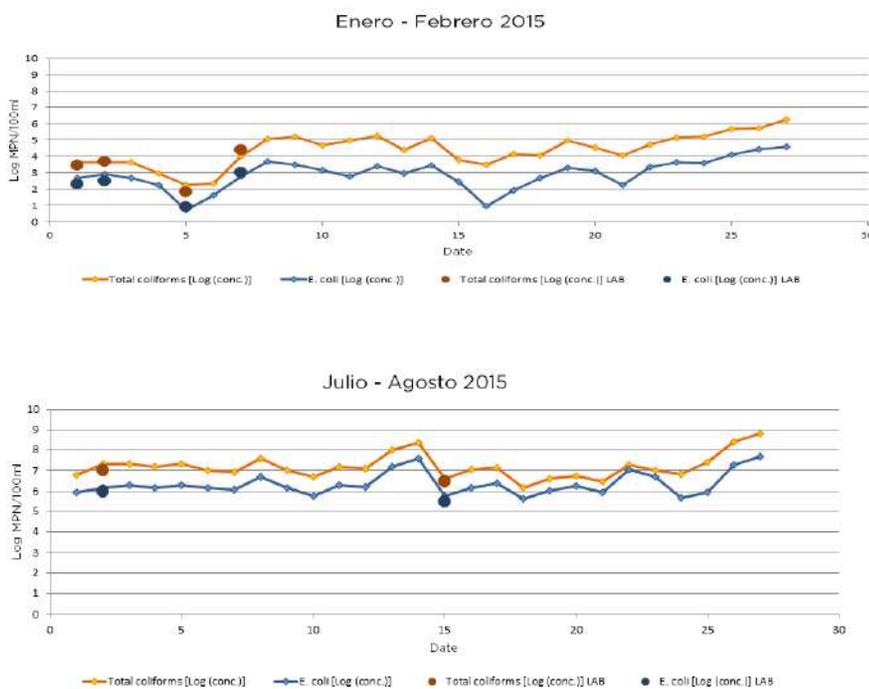


Imagen 3: Valores de contrastación con los resultados de laboratorio



Imagen 4: Equipo Adasa aquaBio B-403 para la monitorización de E. coli, coliformes totales y Enterococos

Referencias:

- » <https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/08/pdfs/A50639-50661.pdf>
- » Texto: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0024.02/DOC_1&format=PDF
- » Anexos: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0024.02/DOC_2&format=PDF
- » E. coli (UFC/100 ml), BOD5 (mg/l), TSS (mg/l), Turbidez (NTU), Legionella spp, y Nematodos intestinales (huevos de helmintos)
- » ENV.2013.WATER.INNO&DEMO-1. R3WATER. "Demonstration of innovative solutions for Reuse of water, Recovery of valuables and Resource efficiency in urban wastewater treatment". GA 619093. <http://r3water.eu/>
- » <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007&from=DE>
- » <https://www.ibathwater.eu/?lang=es>
- » <https://cor.europa.eu/en/engage/studies/Documents/Water-reuse.pdf>



LAS AGUAS PARA USO AGRÍCOLA: MÉTODOS DE REUTILIZACIÓN Y SUS IMPLICACIONES





CLEaN-TOUR: Reutilización de agua en instalaciones turísticas

Esther Mendoza, Joaquim Comas, Guianluigi Buttiglieri
 Investigadores/ emendoza@icra.net



En el marco de la Economía Circular, el proyecto CLEaN-TOUR desarrolla conocimientos, tecnologías y herramientas sobre el tratamiento de aguas grises para facilitar su reutilización en ciudades turísticas. Específicamente, se estudia cómo combinar tecnologías innovadoras de membrana y sistemas hidropónicos. Para la evaluación de estas tecnologías, se analiza la eliminación de patógenos y microcontaminantes del agua gris estudiando las posibilidades y los riesgos potenciales de su reutilización. La calidad del agua para reutilización se considera de acuerdo con el Reglamento español RD 1620/2007 y con el Reglamento Europeo (EU) 2020/741 relativos a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.

Palabras clave

economía circular,
 reutilización, agua
 gris, descentralización,
 tecnologías de
 membrana, sistemas
 hidropónicos

Introducción

En la región mediterránea, alrededor del 20% de la población vive bajo estrés hídrico constante, y en verano más del 50% de la población se ve afectada (EEA, 2016). Los escenarios futuros en esta región impulsan la necesidad de mejorar la gestión del agua y las estrategias de reutilización para alcanzar una garantía de suministro muy alta. Al mismo tiempo, el turismo juega un papel fundamental en muchas economías de la zona, y depende en gran medida de los recursos de agua dulce y su uso. Por consiguiente, la separación de diferentes corrientes y la reutilización de aguas residuales en instalaciones turísticas puede representar una fuente importante de agua y nutrientes, y al mismo tiempo, una forma de aliviar el estrés hídrico.

Contexto

En España la reutilización del agua está regulada por el RD 1620/2007, e incluye algunos parámetros de calidad mínimos para distintos usos, tales como

el riego directo o la recarga de acuíferos. Además, la estrategia de Economía Circular de la Unión Europea desarrolla un conjunto de medidas para promover una mayor reutilización del agua, recuperación de nutrientes y reducción del consumo energético, siempre que sea rentable y seguro para la salud y el medio ambiente (European Commission, 2015). Prueba de esta transición es la reciente publicación del Parlamento Europeo sobre los Requisitos mínimos para la reutilización del agua (2020/741/EU). Sin embargo, pese a que España es el líder europeo en reutilización, sólo reutiliza alrededor del 10% del agua (aedyr.com). Consecuentemente, la reutilización del agua sigue siendo muy limitada, debido a diversas barreras de carácter técnico, económico, legislativo y de aceptación social. Hay que trabajar, por tanto, en distintos aspectos para lograr una reutilización eficiente y segura, y sobre todo, para aumentar el porcentaje de reutilización de aguas regeneradas. Una de las opciones para favorecer la reutilización es la descentralización, es decir, el tratamiento del agua en un punto cercano a donde se ha generado.

Esta es una alternativa prometedora a la gestión del agua lineal y predominantemente centralizada, ya que mejora las opciones de recuperación y reutilización de recursos (Daigger, 2009). Adicionalmente, la separación de los diferentes tipos de agua (por ejemplo, aguas grises o negras) puede suponer un aumento en la eficiencia de tratamiento, recuperación y reutilización de los recursos hídricos con reducción de costes tras la inversión inicial.

Descripción del proyecto y conceptos clave

En este marco se engloba el proyecto RETOS CLEaN-TOUR (CTM2017-85385-C2-1-R), cuyo objetivo principal es desarrollar conocimientos, tecnologías y herramientas sobre el tratamiento de aguas grises para facilitar su reutilización en ciudades turísticas. Concretamente, CLEaN-TOUR se está demostrando en el sur de la Costa Brava, ya que es una de las regiones turísticas más importantes de Europa, cuya economía se basa principalmente en el turismo y cuyos problemas de escasez de agua están en constante aumento. Particularmente, CLEaN-TOUR se centra en la localidad de Lloret de Mar, por ser el mayor centro turístico de esta región, con una población de más de 200.000 personas durante el verano. En Lloret de Mar se encuentra el Hotel Samba (www.sambahotels.com), un gran complejo hotelero de 3 estrellas y 441 habitaciones, con necesidades y desafíos similares a la mayoría de grandes instalaciones turísticas en Europa. En este hotel se están estudiando las posibilidades de tratamiento y reutilización de aguas, tanto con tecnologías de membrana (biorreactores de membrana: MBR y ósmosis directa), como con sistemas hidropónicos.

La idea general del proyecto se muestra en la Imagen 1, y consiste en recoger el agua de duchas y lavabos (agua gris) para su tratamiento y reutilización. Este agua actualmente se reutiliza para las cisternas de los inodoros, llegando a disminuir la demanda de agua potable del hotel en 15.000 m³ anuales. Sin embargo, en CLEaN-TOUR se pretende aumentar la cantidad de agua gris reutilizada para distintos usos, tras su tratamiento con diferentes tecnologías:

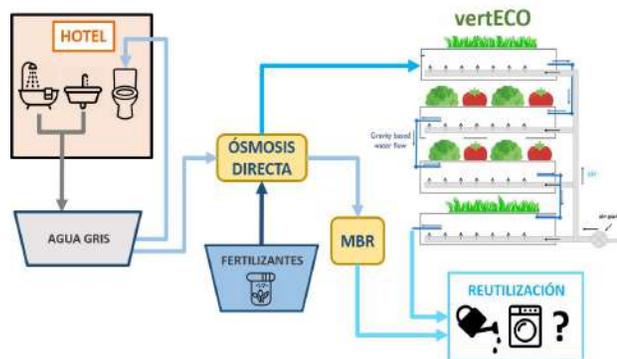


Imagen 1. Idea general del proyecto CLEaN-TOUR

Ósmosis directa: en este proceso, una solución con alta concentración de sales (solución de extracción) se diluye con una solución menos concentrada (solución de alimentación) gracias a una membrana densa semipermeable (Van der Bruggen et al., 2015). No requiere presión hidráulica, ya que el proceso es impulsado por la diferencia entre las presiones osmóticas de las soluciones de alimentación y extracción. Esta última solución extrae el agua de la primera, y otros elementos disueltos en el agua, como contaminantes, quedan retenidos por la membrana, evitando su paso a la solución de extracción. En el caso de CLEaN-TOUR, la solución de alimentación es el agua gris y la solución extractora es una solución con fertilizantes.

Biorreactor de membranas: MBR (Imagen 2): esta tecnología trata el efluente concentrado de la ósmosis directa a través de la combinación de procesos físicos (ultrafiltración) y biológicos. Se espera que el efluente del MBR sea de suficiente calidad para su aplicación en otros usos en el hotel, como riego de zonas verdes o lavandería.

Humedal construido: vertECO (AT 516363): este sistema será nutrido con el agua tratada de la ósmosis directa. Consiste en una estructura de cuatro niveles de 5 x 1,5 x 2,5 m³ (Imagen 3), y un volumen de 2 m³ (Zraunig et al., 2019). Se trata de un sistema hidropónico donde las plantas (tanto ornamentales como comestibles) se desarrollan sobre un sustrato inerte (arcilla expandida). Con esta tecnología, el agua experimentará un tratamiento adicional mediante la acción de plantas, sustrato y

CLEaN-TOUR: Reutilización de agua en instalaciones turísticas

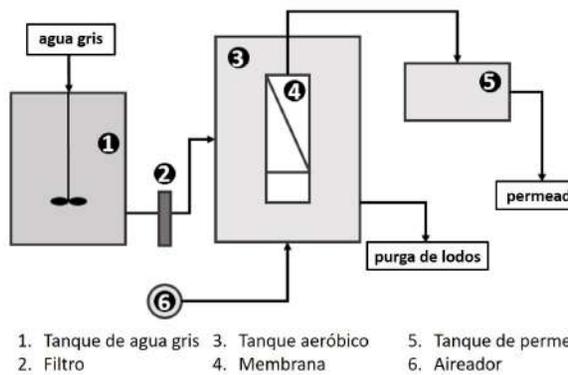


Imagen 2. Idea general del proyecto CLEaN-TOUR

microorganismos presentes, al mismo tiempo que se reutilizará para cultivar plantas comestibles. Además, el efluente podrá ser reutilizado para otros usos dentro del hotel.

Con lo que respecta al riesgo que puede suponer la reutilización de aguas, en CLEaN-TOUR se están evaluando los contaminantes estándares incluidos en la legislación española y europea sobre requisitos mínimos de calidad para la reutilización (RD 1620/2007 y 2020/741/EU). Además, se están considerando los microcontaminantes orgánicos, ya que son un problema ambiental de preocupación emergente, encontrándose a menudo en las aguas residuales y en el medio ambiente, y cuya importancia es relevante por su posible toxicidad. Por ello, en el proyecto CLEaN-TOUR se están desarrollando métodos analíticos para la detección de fármacos y disruptores endocrinos, tanto en el agua como en las plantas comestibles, a fin de analizar los parámetros de seguridad necesarios para cumplir con las leyes de seguridad alimentaria y con la evaluación del riesgo en la reutilización del agua. Finalmente, también se están analizando metales pesados y parámetros microbiológicos no convencionales, como *Pseudomonas aeruginosa* o *Staphylococcus aureus*.

Resultados preliminares y conclusiones

Actualmente, en CLEaN-TOUR se están desarrollando varias actividades en paralelo, tanto a escala piloto

en el hotel como a escala de laboratorio, para comprender y optimizar las tecnologías antes de implementarlas en condiciones reales. Por lo que respecta a la tecnología de osmosis directa, se están realizando estudios a escala de laboratorio sobre el funcionamiento de los módulos comerciales de fibras huecas (HFFO₂, 2.3 m², Aquaporin).



Imagen 3. vertECO: sistema hidropónico de tratamiento de aguas

Se está evaluando el rendimiento del sistema con diferentes sales fertilizantes y configuraciones. Específicamente, se está trabajando con nitrato potásico (KNO₃) e hidrogenofosfato de diamonio (DAP), dado que son fertilizantes de uso común que aportan los macronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (nitrógeno, fósforo y potasio: NPK). La Imagen 4 muestra los resultados de los experimentos realizados con estas sales, con concentraciones iniciales de 0,5 y 0,05 M en la solución de extracción, y agua desionizada en la solución de alimentación. Estos experimentos han servido para evaluar el comportamiento de los diferentes iones en la solución, con las sales solas o juntas, así como para analizar qué concentraciones iniciales darán lugar a una ratio NPK final adecuada para las plantas. Se han observado diferencias en el comportamiento de las sales, teniendo el KNO₃ un flujo inverso de sales mucho mayor que el DAP. Esta pérdida de nutrientes se reduce cuando ambas sales están juntas en la solución de extracción y también cuando la concentración inicial es mayor. Sin embargo, se están consiguiendo buenos resultados en cuanto a la concentración final de nutrientes con los experimentos de 0,05 M, y por

ello, se seguirá trabajando con concentraciones en este rango, a fin de obtener una solución que pueda aplicarse directamente a sistemas hidropónicos sin necesidad de dilución tras el proceso de ósmosis directa. Estos resultados indican que solamente se necesitarían unos 70 litros de agua potable en la solución de extracción por cada metro cúbico de agua gris extraído. Esto supone una reducción considerable del consumo de agua de la red municipal.

En el sistema hidropónico del hotel se han cultivado plantas comestibles (lechuga, tomate, menta) en las campañas de invierno y verano, y se han estudiado las especies mejor adaptadas con análisis periódicos de las características fisiológicas. Asimismo, se ha decidido de trabajar, en paralelo al sistema piloto en el hotel, con sistemas hidropónicos a escala de laboratorio, en condiciones controladas, con agua gris sintética y dopando compuestos de interés (metales y microcontaminantes orgánicos) que permitirán obtener resultados muy relevantes para evaluar la seguridad, no solo en la reutilización del agua gris, sino también en el consumo de plantas comestibles.

En efecto, paralelamente a estas actividades, se está realizando una monitorización mensual de

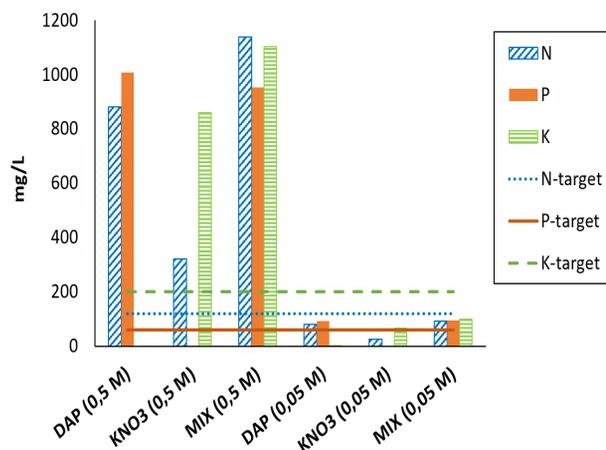


Imagen 4. Ratios NPK obtenidos en los experimentos de ósmosis directa. Resultados con KNO_3 y DAP separados y juntos, con concentraciones iniciales de 0,5 y 0,05 M en la solución de extracción.

la calidad del agua gris del hotel, con análisis de nutrientes, metales pesados y microcontaminantes orgánicos.

Los próximos pasos se centrarán en evaluar el rendimiento de las tecnologías juntas, y con agua gris real para su posterior implementación en el hotel, consiguiendo así un sistema circular en el que el agua será tratado y reutilizado in situ, ayudando a aliviar el estrés hídrico y yendo un paso adelante hacia el modelo de Economía Circular.

Referencias:

- » Daigger, Glen T. (2009). Evolving urban water and residuals management paradigms: Water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery. *Water environment research* 81.8 809-823.
- » EEA (2016). Is Europe's freshwater use sustainable? European Environment Agency. Copenhagen. Eichhorn P. et al. Elsevier, *Comprehensive Analytical Chemistry*, Elsevier, 2012, 58:217-272.
- » European Commission (EC). Closing the loop – An EU action plan for the circular economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the Regions. COM/2015/0614 final. Brussels, Belgium; 2015. Available at: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>
- » Van der Bruggen, B., & Luis, P. (2015). Forward osmosis: understanding the hype. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(1), 1-12.
- » Zraunig, A., Estelrich, M., Gattringer, H., Kisser, J., Langergraber, G., Radtke, M., ... & Buttiglieri, G. (2019). Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecological Engineering*, 138, 138-147.

Agua residual y economía circular en la industria de IV gama: aplicación de procesos solares y ozono para la regeneración y reutilización agrícola a escala piloto

Samira Nahim Granados
Investigador Postdoctoral PSA-
CIEMAT / snahim@psa.es

Sixto Malato Rodríguez
Profesor de Investigación PSA-
CIEMAT / sixto.malato@psa.es

Ana Agüera López
Catedrática UAL / aaguera@ual.es

José Antonio Sánchez Pérez
Catedrático UAL / jsanchez@ual.es

Isabel Oller Alberola
Investigador Senior PSA-CIEMAT /
isabel.oller@psa.es

Inmaculada Polo López
Investigador Senior PSA-CIEMAT /
mpolo@psa.es



Investigadores de la Unidad de Tratamientos Solares de Agua (Plataforma Solar de Almería-CIEMAT) y de CIESOL (UAL-CIEMAT) han evaluado la aplicación de procesos solares y ozonización para la regeneración de agua de la industria de IV gama y su posterior reutilización agrícola, de acuerdo con los principios de economía circular en un estudio experimental realizado a escala piloto. Para ello se ha investigado la capacidad de desinfección y eliminación simultánea de microcontaminantes, la transferencia de dichos contaminantes a cultivos regados con agua regenerada y, finalmente, se ha realizado un análisis tecno-económico, ambiental y de evaluación de riesgos de ambos procesos.

Palabras clave

procesos solares,
ozono, desinfección,

Introducción

El sector agroalimentario representa una de las principales actividades económicas donde una estrategia competitiva de tratamiento y reutilización de agua residual puede proporcionar importantes beneficios hacia la implementación de una economía circular.

En particular, la industria agroalimentaria conocida como de "IV gama", es un claro ejemplo del potencial de la aplicación de este tipo de estrategias dada la elevada huella hídrica, que presenta (hasta 40 m³

por tonelada de producto), y cuya agua residual generada, comúnmente clorada, es vertida directamente a los cauces normales. La cloración en esta industria es una herramienta eficiente y barata para disminuir el riesgo microbiológico asociado al consumo de los productos frescos. No obstante, esto conlleva la generación de subproductos de desinfección tóxicos, lo que ha desencadenado su prohibición para esta actividad en algunos países europeos, al mismo tiempo que impide su reutilización en otras actividades, como la agricultura. En consecuencia, la implementación de otras tecnologías de elevada eficiencia que

permitan la reutilización en el sector agrícola de este tipo de aguas residuales, conlleva ser una alternativa viable para la reducción simultánea de la huella hídrica de estas industrias y la escasez de recursos hídricos [1,2].

Los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) basados en la generación del radical hidroxilo (HO), han demostrado una elevada capacidad de tratamiento en múltiples matrices de agua [3]. Entre los tratamientos agresivos convencionales, la aplicación de ozonización en el sector agroalimentario ha mostrado elevadas eficiencias de desinfección, siendo sin embargo escasa la información referente a su capacidad de eliminación simultánea de microcontaminantes (MCs). De manera paralela, el interés en el desarrollo de PAO impulsados por energía solar, destaca como una estrategia viable y ambientalmente sostenible para disminuir el coste de tratamiento en áreas con elevada incidencia de radiación solar. Entre los distintos PAO solares, destaca la fotocatalisis homogénea mediante foto-Fenton, basado en la descomposición de H_2O_2 empleando sales de hierro como catalizador, y que presenta una eficiencia óptima a valores de pH inferiores a 3. La necesidad de simplificar el proceso para su aplicación en matrices de agua con valores de pH cercanos a la neutralidad, ha dado lugar, en los últimos años, a la investigación de fuentes alternativas de hierro (principalmente especies complejantes), que incrementen la eficiencia a pH neutro. En este sentido, destaca un estudio reciente que ha demostrado la capacidad de un quelato de hierro comercial (Fe^{3+} -EDDHA) para la desinfección de agua residual de la industria de IV gama [4]. Este quelato es comúnmente empleado en la agricultura intensiva mediterránea para prevenir y remediar la clorosis férrica, y su implementación en un sistema circular permitiría disminuir de manera simultánea la clorosis y el estrés hídrico [4].

El objetivo general de este estudio (Figura 1) es evaluar la capacidad de tratamiento a escala piloto del proceso de ozonización y foto-Fenton solar

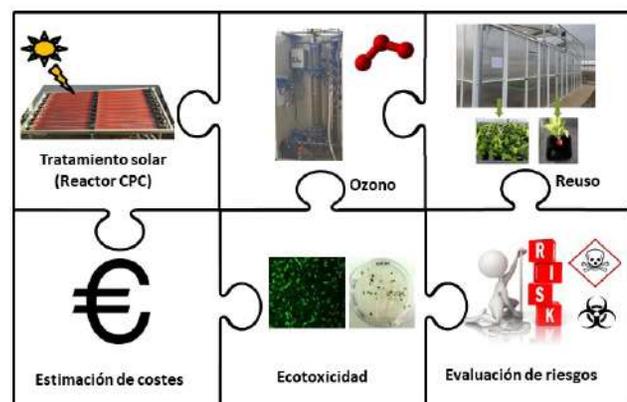


Figura 1. Esquema conceptual del estudio experimental.

empleando Fe^{3+} -EDDHA para la eliminación simultánea de bacterias: *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella enteritidis*; y plaguicidas: atrazina (ATZ), azoxistrobina (AZT), buprofezin (BPF), procymidone (PCM) y terbutrin (TBT), en un modelo de agua de lavado de la industria de IV gama, así como, la aplicación del agua tratada para riego de dos vegetales de consumo en crudo (lechuga y rábano), evaluando la transferibilidad de los contaminantes objetivo a los cultivos seleccionados. Finalmente se evalúa, de manera global, el proceso desde el punto de vista tecno-económico, eco-tóxico y de seguridad alimentaria.

Materiales y métodos

El estudio experimental se ha realizado íntegramente en las instalaciones de la Plataforma Solar de Almería, utilizando un modelo de agua residual de la industria de IV gama (SFCWW, siglas en inglés) [5]; fortificada con un cóctel de 5 pesticidas (C_0 :100 $\mu g/L$) y dos bacterias patógenas típicamente asociadas al consumo de productos contaminados (*E. coli* O157:H7 y *S. enteritidis*, C_0 : 10^6 UFC/mL). Los MCs se cuantificaron mediante cromatografía líquida con detección ultravioleta (HPLC UV-DAD, Agilent 1260) [6]. La inactivación microbiana se cuantificó mediante la técnica de recuento en placa con rampa de filtración, y empleando medios selectivos. El límite de detección (LD) de esta técnica es de 1 UFC/100 mL [4].

Agua residual y economía circular en la industria de IV gama: aplicación de procesos solares y ozono para la regeneración y reutilización agrícola a escala piloto

Las plantas piloto empleadas (Figura 1) fueron: i) Reactor solar tipo Colector Parabólico Compuesto (CPC) de 60 L de volumen, que consiste en 2 módulos con espejo de aluminio anodizado con 10 tubos de borosilicato cada uno [7]; y ii) Reactor de ozonización, consistente en un reactor tipo columna con un volumen de tratamiento de 10 L y una producción de ozono de 0.9 gO₃/h [6].

La concentración de hierro en disolución (Fe³⁺-EDDHA, Sequestrene 138 Fe G100, Syngenta, España) y H₂O₂ (30% p/v, Merck, Germany) utilizados en el tratamiento foto-Fenton solar, así como la clorofila, se determinaron mediante métodos espectrofotométricos [4].

Los ensayos de riego de lechuga y rábano se llevaron a cabo en una cámara de cultivo de 30 m² (Figura 1), utilizando i) SFCWW previamente tratada (ozono y foto-Fenton solar) y ii) SFCWW fortificada con los contaminantes químicos y microbiológicos objeto de estudio (control positivo). El análisis microbiológico y químico de los vegetales recolectados se realizó en base a trabajos previos [7]. La evaluación de toxicidad de las muestras de agua regenerada se realizó utilizando *Aliivibrio fischeri* y *Lactuca sativa* [6, 8]. Por último, la evaluación cuantitativa de riesgos químicos y microbiológicos asociados al consumo humano de los vegetales recolectados se llevó a cabo en base a los criterios de la EFSA (European Food Safety Authority) y con modelos dosis-respuesta y simulaciones de Monte Carlo (software FDA-iRISK®), respectivamente.

Resultados

El proceso foto-Fenton solar (2.5 mg/L de Fe³⁺-EDDHA y 20 mg/L de H₂O₂) y la ozonización mostraron una alta eficiencia para reducir la contaminación microbiológica: >5-log en 60 y 4 min, respectivamente. En el caso de la eliminación de MCs, la ozonización mostró una mayor eficiencia con respecto al proceso solar: 85 % de reducción de la carga inicial en 120 min de tratamiento frente a

un 40% en el solar.

Los resultados obtenidos de los ensayos de riego mostraron ausencia total de contaminación microbiológica en los vegetales regados con SFCWW tratada por ambos procesos (< LD; 1 UFC/8 g de rábano o 3 g de lechuga) y una elevada contaminación (> 70 UFC/g) en el caso del control positivo. En cuanto a los MCs, los vegetales regados con SFCWW regenerada presentaron una menor absorción de MCs que las muestras del control positivo (Figura 2). Esta reducción fue mayor en los vegetales regados con agua ozonada: mayor de 90% en ambos vegetales, frente al 77 % en lechuga y 55 % en rábano para el proceso Fe³⁺-EDDHA/H₂O₂/solar. Sin embargo, el análisis de clorofila realizado en muestras de lechuga reveló el doble de concentración foliar de clorofila en lechugas regadas por el proceso solar con respecto a las regadas con agua ozonada (Figura 3).

En lo que se refiere a la evaluación eco-tóxica del agua regenerada, los resultados obtenidos con ambos test mostraron ausencia total de toxicidad en el caso de SFCWW tratada mediante el proceso solar; y en el caso de agua ozonada, sólo se detectó una leve toxicidad para *Aliivibrio fischeri* (35% inhibición).

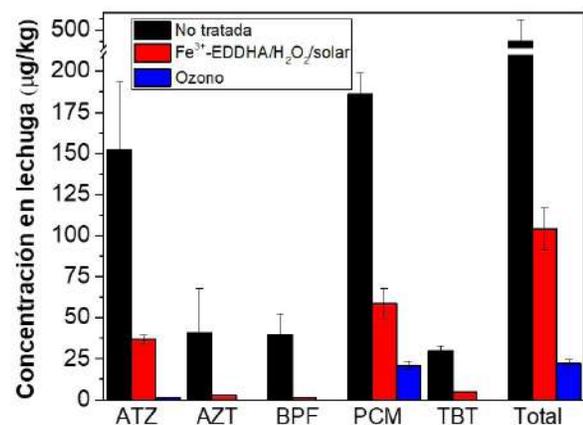


Figura 2. Concentración de MCs en lechugas regadas con agua sin tratar y agua regenerada

Estos resultados demuestran la idoneidad del proceso solar para el tratamiento de SFCWW y su posterior reutilización agrícola.

Los costes de tratamiento estimados para la simultánea desinfección y descontaminación de SFCWW fueron de aproximadamente 1.60 y 1.15 €/m³ para el proceso Fe³⁺-EDDHA/H₂O₂/solar y ozonización, respectivamente.

Por último, los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa de riesgos químicos mostraron ausencia de riesgo para la salud humana en la ingesta de todos los vegetales analizados, siendo el riesgo un orden de magnitud inferior en los regados con agua regenerada. La evaluación del riesgo microbiológico reveló que los vegetales regados con agua sin tratar presentan un elevado riesgo de infección alimentaria, mientras que, en los vegetales regados con agua regenerada, este riesgo de infección se reduce tres órdenes de magnitud.

Conclusiones

Los procesos evaluados (ozonización y foto-Fenton solar con quelante de hierro) mostraron una capacidad de desinfección que permite cumplir con los límites de calidad microbiológica exigidos para la reutilización agrícola de agua residual tratada, tanto nacionales (R.D 1620/2007, <100 UFC/100mL) como comunitarios (EU Regulation 2020/741, <10 UFC/100 mL).

El análisis microbiológico, químico y de niveles de clorofila de los vegetales recolectados, así como los resultados de la evaluación de riesgos, demuestran

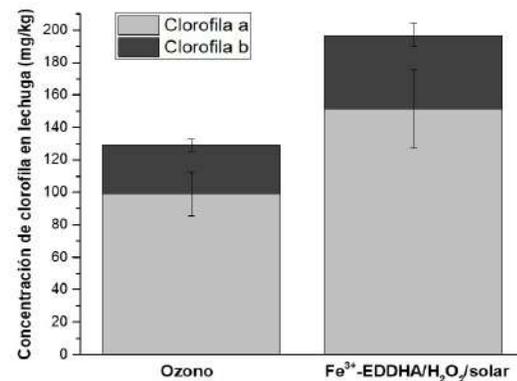


Figura 3. Concentración foliar de clorofila en las muestras de lechuga regadas con agua regenerada.

la capacidad de los procesos seleccionados para reducir tanto el riesgo humano asociado al consumo de estos como el riesgo de desarrollar clorosis férrica de los cultivos.

Aunque los costes de tratamiento estimados parecen elevados, la posibilidad de establecer una política de economía circular del agua en la industria de IV gama basada en la implementación de los procesos solares, puede contribuir de manera simultánea a remediar dos problemas importantes de la agricultura mediterránea: escasez de agua y clorosis férrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, AEI y FEDER por la financiación de este trabajo mediante el proyecto CALYPSOL (RTI2018-097997-B-C32), ECOSAFEFARMING (International Joint Programming Actions, PCIN-2017-005), AMBAGENS (FEDER-Andalucía, UAL18-FQM-B001-B).

Referencias

1. Inyinbor y cols., 2019. Food Control, 98, 489–500.
2. Meireles y cols., 2016. Food Research International, 82, 71–85.
3. Malato y cols., 2009. Catalysis Today, 147, 1–59.
4. Nahim-Granados y cols., 2019. Applied Catalysis B: Environmental, 253, 286–292.
5. Nahim-Granados y cols., 2018. Catalysis Today, 313, 79-85.
6. Nahim-Granados y cols., 2020. Water Research, 170, 115304.
7. Aguas y cols., 2020. Environmental Science & Technology, 53 (16), 9705–9714.
8. Freitas y cols., 2017. Environmental Science and Pollution Research, 24, 1093–1104.

Evaluación del riesgo microbiológico asociado al consumo de vegetales regados con aguas reutilizadas

Inmaculada Amorós Muñoz
Investigadora IIAMA UPV
iamoros@ihdr.upv.es

Laura Moreno-Mesonero
Investigadora IIAMA UPV
laumome@upv.es

Yolanda Moreno Trigos
Investigadora IIAMA UPV
ymoren@upv.es

Andrés Zornoza Zornoza
Investigador IIAMA UPV
anzorzor@upv.es

Jose Luis Alonso Molina
Investigador y Responsable Grupo
QMA IIAMA
jalonso@ihdr.upv.es

Eva Domenech Antich
Profesora titular IIADA UPV
evdoan@tal.upv.es



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

Una nueva herramienta desarrollada para evaluación de riesgos, el margen de seguridad del consumidor, se ha utilizado para determinar el riesgo relacionado con la presencia de los protozoos patógenos *Cryptosporidium* y *Giardia* en vegetales regados con aguas residuales tratadas y no tratadas.

El margen se define como la distancia euclidiana entre exposición a un peligro H, en este caso *Cryptosporidium* y *Giardia*, y la dosis respuesta a dicho peligro. Esta formulación del margen, por una parte, nos informa cuanto de seguros estamos de no superar el margen, pero también informa de cual es la probabilidad de pasarnos (EP).

Palabras clave

riesgos, patógenos,
cryptosporidium,
giardia, reutilización
aguas, lechugas,
margen seguridad

La reutilización de las aguas residuales para riego de los cultivos y áreas recreativas, es una práctica muy interesante que puede ayudar a mitigar la escasez de agua y fomentar la economía circular, ya que se recuperan nutrientes como el nitrógeno, el fósforo o el potasio de las aguas regeneradas devolviéndolos a los ciclos biogeoquímicos naturales. Sin embargo, estos beneficios pueden verse comprometidos por la presencia de microorganismos patógenos que pueden seguir presentes después del tratamiento en la planta depuradora (secundario y terciario que incluye desinfección por UV y filtros de arena, (Figura 1)) y cuya reutilización puede suponer un riesgo para la salud humana.

Entre estos patógenos que pueden estar presentes en el agua tratada, los protozoos *Giardia* y *Cryptosporidium* son bastante comunes y pueden transmitirse de huéspedes no humanos a humanos (zoonosis) y viceversa. Dichos protozoos, presentan formas de resistencia (quistes en el caso de *Giardia* y ooquistes en el caso de *Cryptosporidium*) de resistencia (quistes en el caso de *Giardia* y ooquistes en el caso de *Cryptosporidium*) que pueden sobrevivir durante meses en aguas y en el suelo y producir brotes, aun en el caso de que su concentración en el agua sea muy pequeña.

La legislación española para la reutilización del agua (Real Decreto, 2007), no obliga a analizar

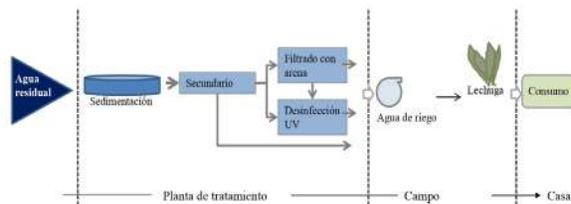


Figura 1: Esquema del proceso estudiado.

la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en agua reutilizada para riego. El nuevo reglamento europeo sobre reutilización de aguas residuales, recién aprobado (Mayo, 2020), sí considera ya la presencia de *Cryptosporidium* como patógeno a controlar, aunque sea mediante indicadores como las esporas de *Clostridium perfringens*. Sin embargo, diferentes estudios en todo el mundo demuestran su presencia en agua reutilizada y en hortalizas regadas con aguas reutilizadas. En un estudio realizado en Valencia (España), Amorós et al, 2010, concluyeron que las lechugas y coles regadas con aguas contaminadas presentaron ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia*. En Vietnam, se encontraron ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* en canónigos, lechuga y cilantro regados con aguas residuales contaminadas (Nguyen et al., 2016).

Con este objetivo, en primer lugar, se realizó en el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), un estudio sobre la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en afluentes y efluentes

en tres estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de la Comunidad Valenciana, con diferentes tratamientos (Tabla 1) durante 18 meses. Así se pudo ver el efecto de las condiciones ambientales en las distintas estaciones meteorológicas (primavera, verano, otoño, invierno). Los recuentos de *Cryptosporidium* y *Giardia* en los afluentes y efluentes de las tres EDARs estudiadas se obtuvieron mediante el Método 1623.1 (USEPA, 2005).

Los resultados obtenidos en los recuentos de *Cryptosporidium* y *Giardia* en las aguas de entrada y salida de las depuradoras estudiadas mostraron una clara influencia de las condiciones ambientales, ya que hubo diferencias significativas entre las distintas estaciones meteorológicas.

La media de recuentos más altos de *Cryptosporidium* se obtuvo durante la primavera en los afluentes y en los efluentes tratados (Figura 2). Las diferencias entre estaciones fueron estadísticamente significativas tanto en los afluentes (Pvalor 0,0002) como en los efluentes tratados (Pvalor 0,0446) que mostraron un riesgo potencial asociado a la presencia de *Cryptosporidium* en el agua de riego, dependiendo de la estación del año.

La media de quistes de *Giardia* más alta en aguas residuales sin tratar se obtuvo en verano y en efluentes tratados en invierno, pero las diferencias entre estaciones no fueron significativas ni en los

Estación depuradora aguas residuales	Estación depuradora aguas residuales	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario	Desinfección
EDAR 1	247.297 habitantes	Reja, cribado, eliminación de arena, sedimentación	Fangos activados, sedimentación.	Filtración de arena	UV
EDAR 2	164.171 habitantes	Reja, cribado, eliminación de arena, sedimentación	Fangos activados, sedimentación.	Ninguna	UV
EDAR 3	40.333 habitantes	Reja, cribado, eliminación de arena, sedimentación	Fangos activados, sedimentación.	Ninguna	UV

Tabla 1: Características de las EDARs estudiadas.

Evaluación del riesgo microbiológico asociado al consumo de vegetales regados con aguas reutilizadas

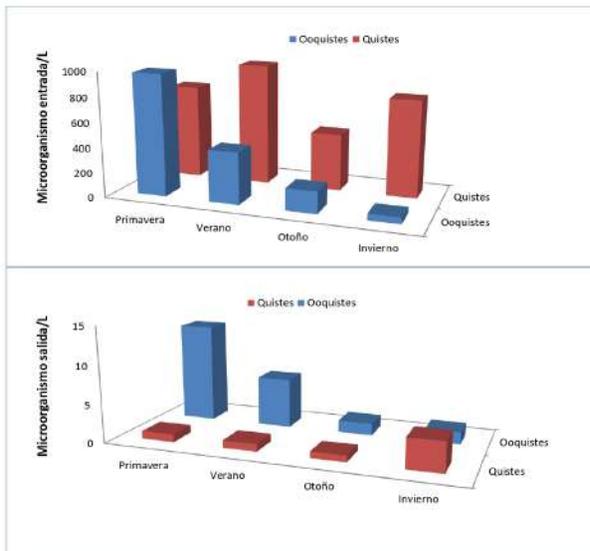


Figura 2: Influencia de las estaciones meteorológicas en los recuentos de *Cryptosporidium* y *Giardia* a la entrada y salida de las depuradoras.

afuentes (Pvalor 0,3566) ni los efluentes (Pvalor 0.220). El riesgo potencial derivado de la presencia de quistes de *Giardia* puede ocurrir durante todas las estaciones. Como se ha visto en otros estudios, la estacionalidad de *Cryptosporidium* y *Giardia* en aguas residuales presenta diferentes patrones dependiendo de las características especiales del país como el clima y las temperaturas del agua vinculadas a la situación epidemiológica.

En segundo lugar, se estimó el margen de seguridad de los consumidores al consumir lechuga regada con agua reutilizada de las depuradoras. El margen se define como la distancia euclidiana entre exposición a un peligro H, en este caso *Cryptosporidium* y *Giardia*, y la dosis respuesta a dicho peligro. Para su cálculo, se utilizaron las ecuaciones formuladas en Domenech et al. (2018). En este estudio, la exposición se obtuvo como el producto de la carga del agua tratada y sin tratar por la ración de lechuga consumida. Por otra parte, se estimó la dosis-respuesta para cada uno de los patógenos y finalmente se calculó el margen de seguridad definido como la probabilidad de que la exposición E (H), sea superior a la dosis-respuesta R (H). Es importante destacar que el

valor del margen siempre oscila entre cero y uno. De modo que, un valor de esta métrica cercano a uno indicaría un amplio margen, lo que significa que tener consecuencias para la salud es muy poco probable. Y por el contrario, un margen cercano a cero implicaría un margen estrecho con una alta posibilidad de efectos adversos. La evaluación del margen se realizó mediante un método estándar de Monte Carlo para propagar la variabilidad de las entradas E (H) y R(H), utilizando el software @ Risk 5.7 (Palisade, Middlesex, Reino Unido), lo que genera una distribución de salida correspondiente al margen de seguridad para cada patógeno.

Esta formulación del margen de seguridad aporta una doble ventaja, por una parte, nos informa cuánto de seguros estamos de no superar el margen, pero también informa de cuál es la probabilidad de pasarnos (EP).

La Figura 3 muestra el valor medio y los percentiles 5 y 95 obtenidos del margen de seguridad así como la probabilidad media y desviación de pasarnos y consecuentemente poder generar un riesgo al consumidor. A la vista de los resultados, tanto en el agua sin tratar como tratada, se puede observar un margen medio alto, cercano a uno, tanto para *Cryptosporidium* como para *Giardia*, y además como es esperable el margen es mayor en el agua tratada, así como es menor la probabilidad de exceder la dosis respuesta.

Como puede observarse, ambas medidas son útiles para los gestores del riesgo, ya que por una parte la visión determinista del margen de seguridad es una medida de preocupación ante un peligro, pero no es una métrica de riesgo. Pero, sin embargo, la obtención de la EP nos permite conocer realmente cuál es la probabilidad de estar expuestos al peligro en una concentración que tiene consecuencias para la salud, y, por lo tanto, nos ayuda a evaluar el riesgo.

Un análisis de sensibilidad para estudiar los efectos

de la variación de los parámetros de entrada en la salida final, realizado con un tornado, mostró que los factores que tenían más peso eran la concentración de quistes y ooquistes presentes en las lechugas y la dosis-respuesta humana. El resto de los parámetros, como el tamaño de la ración de lechuga y el parámetro de infectividad específico, mostraron menos influencia. Estos resultados son comparables con el estudio de Razzolini et al. (2016), quienes concluyeron que la concentración tuvo la mayor influencia en la variabilidad del riesgo.

A partir de este estudio se puede concluir que los tratamientos de aguas residuales permiten un aumento importante en el margen de seguridad del consumidor, ya que en los efluentes tratados se ha observado una alta reducción en los recuentos de patógenos, en comparación con los recuentos en las aguas residuales sin tratar. Sin embargo, las deficiencias en el rendimiento del proceso pueden reducir la eficiencia de la planta de tratamiento y ocasionalmente se pueden detectar recuentos altos de patógenos (recuentos atípicos) en el agua reutilizada. Estos resultados enfatizan la importancia de incluir a ambos patógenos, *Cryptosporidium* y *Giardia*, en las regulaciones estándar para la reutilización de aguas residuales.

Por otra parte, la forma tradicional de evaluar el riesgo considerando solo los valores medios tiene la ventaja de la simplicidad, pero no permite la cuantificación del margen en términos de

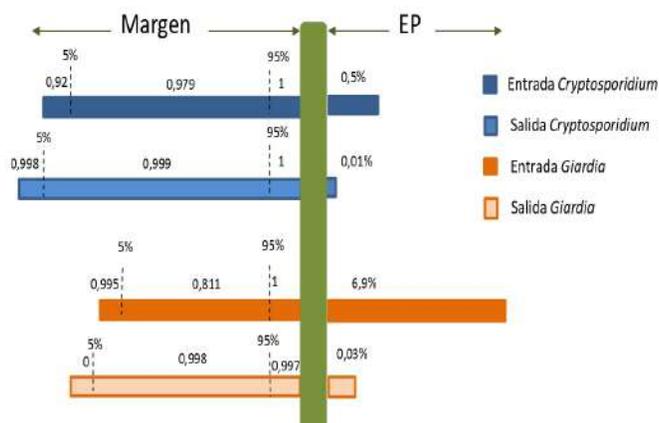


Figura 3: Valor medio y percentiles 5 y 95 obtenidos del margen de seguridad así como la probabilidad media y desviación del margen que puede generar un riesgo al consumidor.

probabilidad. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que tanto para conocer el margen de seguridad como para evaluar el riesgo es necesario considerar la función de distribución de probabilidad de la exposición y de la dosis respuesta. De este modo, es posible incluir en el cálculo la variabilidad de los datos de entrada y tener en cuenta las incertidumbres asociadas a cada parámetro.

Finalmente decir, que los resultados de este estudio preliminar, parecen indicar que el reutilizar el agua tratada, en las plantas de tratamiento, comporta un amplio margen de seguridad, aunque existe una probabilidad de uno en 10.000 en el caso de *Cryptosporidium* y tres en 10.000 en el caso de *Giardia* de que la dosis respuesta se supere y exista un riesgo para el consumidor.

Referencias:

- » Amorós I., Alonso J.L., Cuesta G. (2010). *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts on salad products irrigated with contaminated water. *J. Food Prot.* 73, 1138–1140.
- » Domenech E., Amorós I., Moreno Y. Alonso J.L. (2018). *Cryptosporidium* and *Giardia* safety margin increase in leafy green vegetables irrigated with treated wastewater. *Int. J. of Hyg. and Env. Health*, 22, 112-119.
- » Nguyen, T.T., Traub, R., Pham, P.D., Nguyen, H.V., Nguyen, K.C., Phun, C.D., Dalsgaard, A., (2016). Prevalence and molecular characterization of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in environmental samples in Hanam province, Vietnam. *Food Waterborne Parasitol.* 3, 13–20.
- » Razzolini, M.T.P., Lauretto, M.S., Hachich, E.H., Sato, M.I.Z., Nardocci, A.C. (2016). *Giardia* and *Cryptosporidium* infection risk by simultaneous exposure to drinking water. *Microb. Risk Anal.* 4, 1–6.
- » Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE 294, 50639–50661.
- » REGLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.
- » (USEPA, 2005). US EPA, 2005. Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA (PDF) December 2005 Update (EPA 821-R-05-002). Office of Water 4603. U.S. Environmental Protection Agency, Washington. <http://www.epa.gov/microbes/1623de05.pdf>



LA REUTILIZACIÓN Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS





El agua subterránea y Economía Circular

Palabras clave

Agua subterránea, reutilización, reciclaje

El agua subterránea representa más de 96% de toda el agua dulce en estado líquido de la Tierra, y tiene características de resiliencia en términos de su capacidad depuradora en relación con contaminantes que las aguas superficiales no tienen. Por estar bajo del suelo, su temperatura y características físico-químicas naturales se mantienen más o menos estables a lo largo de todo el año, por lo tanto son mucho más seguras desde el punto de vista del abastecimiento para consumo humano que las aguas superficiales, más sometida a la influencia del clima. Muchos microorganismos patogénicos no sobreviven en ambientes afóticos, factor que también contribuye a que ciertos microorganismos, potencialmente dañinos para la salud humana, no resistan durante los tiempos normales de residencia del agua subterránea en el subsuelo.

Debido a las necesidades crecientes de uso del agua en el Globo, también las aguas subterráneas sufren la presión que impacta en todos los distintos tipos de recursos hídricos de agua dulce en el planeta. La gestión antrópica está afectando, en distinto grado, al ciclo del agua en los acuíferos, al extraer recursos en determinados contextos por encima de su tasa de reposición. Este fenómeno es agravado por la pérdida de agua debida a un uso ineficiente, conducciones de baja eficiencia y procesos contaminantes que afectan al agua. Todo ello está comprometiendo su uso por parte de las futuras generaciones y rompiendo con los equilibrios naturales del ciclo hidrológico. La utilización intensiva y eventual sobreexplotación de ciertos acuíferos están reduciendo las reservas de agua subterránea, agotando ciertos acuíferos y llevando, inclusive, a situaciones de abatimiento y colapso de terrenos por compactación de los materiales constituyentes de dichos acuíferos, fenómeno conocido como subsidencia, o a fenómenos de intrusión marina en zonas costeras. El proceso se manifiesta en forma de pérdidas económicas e impactos medioambientales, que tienen una repercusión en los costes directos e indirectos que soporta la humanidad, afectando además a ciertos ecosistemas.



Imagen 1. Sistema de reutilización de las aguas y monitoreo en Italia

Para encontrar soluciones y evitar la sobreexplotación de las aguas subterráneas, es muy importante hacer uso de soluciones innovadoras, tales como por ejemplo la recarga artificial de acuíferos, más recientemente conocida como “gestión la de recarga de acuíferos”, pues el término involucra muchos más factores que la mera recarga, y una aplicación más intensa de la reutilización de las aguas. En este contexto, el término “economía circular” cobra un gran sentido, puesto una de las soluciones para paliar los impactos descritos y agravados por los efectos adversos del cambio climático pasa por reutilizar aguas residuales tratadas para recargar intencionadamente determinados acuíferos. El tratamiento y la regeneración de las aguas residuales son cada vez más eficaces, y el agua, adecuadamente tratada, puede ser muy útil en la reposición de niveles freáticos en acuíferos intensamente explotados. Estas acciones, evidentemente, requieren un monitoreo permanente que permita evaluar la recuperación de los niveles y la evolución de la calidad de las aguas subterráneas como consecuencia de estas acciones.



Imagen 2. Sistema de recarga gestionada para regadío en Italia, un claro ejemplo de economía circular

El concepto de economía circular en el sector del agua deberá ordenar los usos y consumos humanos y alinearlos con el ciclo natural del agua, aplicando medidas tales como evitar el uso inapropiado del agua, mejorando la eficiencia en los distintos sistemas de gestión hídrica y repensando productos y servicios ligados al agua o que utilizan agua para incrementar su sostenibilidad. El concepto de economía circular en las aguas subterráneas también involucra medidas de ahorro, reducción del uso y aumento de la eficiencia, en la gestión del recurso, aumentando las oportunidades para su reutilización, tales como las operaciones en circuito cerrado y otras posibles



Imagen 3. Sistema de recarga gestionada basada en aguas residuales tratadas en un acuífero en Perth, Australia, después captada por pozos y destinada a abastecimiento público

aplicaciones externas, fomento del reciclaje tanto en operaciones internas como externas y, siempre que sea posible, devolver los excedentes hídricos de manera eficiente a la cuenca hidrográfica de donde fueron tomados, incrementando así los recursos tanto superficiales como subterráneos.

Difundir este concepto y trabajar porque la población en general lo entienda es un paso importante para aprovechar la oportunidad y el potencial del agua (en sentido amplio) en la economía circular, consiguiendo que la “pegada hídrica” para las futuras generaciones sea lo menor posible. El Planeta Tierra lo agradecerá.

António Chambel
 PresidentedelaAsociaciónInternacionaldeHidrogeólogos(IAH)
 achambel3@gmail.com

Reutilización de aguas regeneradas para el regadío utilizando un acuífero como solución cualitativa.

El caso de Pedrajas- Alcazarén, Valladolid

Enrique Fernández Escalante
 Doctor en Hidrogeología. Tragsa I+D+i / efernan6@tragsa.es

Jon San Sebastián Sauto
 Doctor en Biología. Tragsatec / jsss@tragsa.es

Rodrigo Calero Gil
 Ingeniero Agrónomo. Tragsa / rcalero@tragsa.es



El sistema de Alcazarén-Pedrajas, Valladolid, España, es un sistema integrado y multifuncional de gestión del agua basado principalmente en la recarga gestionada con aguas procedentes de una depuradora (SAT-MAR) y otros excedentes hídricos, utilizando al acuífero para mejorar el proceso depurador. Se han alcanzado beneficios contrastados para las comunidades agroindustriales y el medio ambiente.

La clave del sistema reside en la utilización del acuífero para la mejora cualitativa pasiva del agua regenerada mediante un tratamiento secundario avanzado, su filtración a través de la zona no saturada y su extracción mediante pozos "aguas abajo" para regadío, procesos agroindustriales y uso ecológico (humedales artificiales). Se trata de un esquema de economía circular con triple origen del agua, involucración de usuarios finales y autoridades regionales y capacitación de los usuarios finales.

Palabras clave

Recarga gestionada; acuífero; Managed Aquifer Recharge; MAR; economía circular; agroindustria, Los Arenales, IWRM, NBS

Introducción

La declaración de sobreexplotación provisional del acuífero Los Arenales, y la expansión del regadío, han conducido al uso de técnicas alternativas de gestión hídrica dentro de los esquemas de planificación y gestión en algunos sectores del acuífero de las provincias de Valladolid y Segovia.

Entre los principales componentes de la gestión integrada en la zona, cabe destacar la recarga gestionada de los acuíferos, la reutilización de aguas regeneradas para uso agroindustrial, la diversificación de las fuentes de toma para aumentar la garantía de suministro y la involucración de los usuarios finales en la gestión. El artículo expone las características del sistema SAT-MAR Pedrajas-Alcazarén (Figura 1), las lecciones aprendidas

desde el año 2012 en que empezó a funcionar, los impactos identificados (algunos todavía no evaluados en este horizonte temporal) y las posibilidades de adaptación del sistema en otros escenarios análogos.

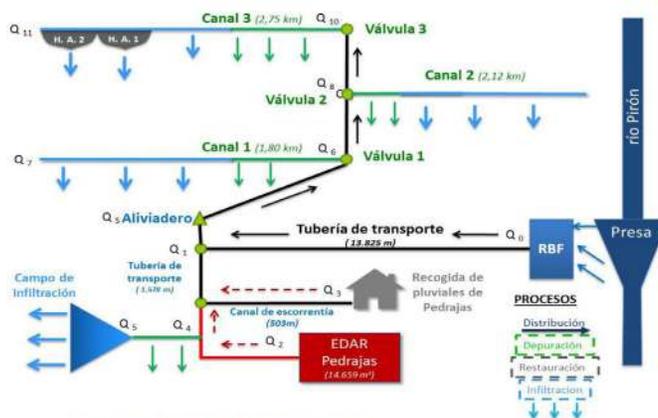
Objetivo principal

El principal objetivo es la combinación de técnicas de recarga gestionada y el uso de elementos naturales (Nature Based Solutions, NBS) para mejorar el manejo integral de los recursos hídricos en la zona, incrementando la garantía de suministro y a la vez infiriendo una mejora cualitativa en las aguas. Para ello, se utiliza este sector del acuífero Los Arenales para la naturalización de las aguas procedentes del proceso de mezcla de hasta es fuentes, la gestión utilizando el acuífero como

elemento de almacenamiento y conducción y el uso de excedentes para fines medioambientales (humedales artificiales, reutilizando viejos huecos mineros empleados para la extracción de áridos).

Descripción del sistema

El sistema de Pedrajas Alcazarén (figura 2) se basa en combinar aguas de distintos orígenes: depuradora (figura 3a), derivación del río Pirón mediante una tubería de 5 km y un canal superficial para la captación de aguas pluviales por escorrentía de los tejados de la localidad de Pedrajas de San Esteban (Valladolid) (figura 3c). Las distintas procedencias y calidades permiten la mezcla, dosificando cuidadosamente los volúmenes procedentes de cada sistema, idónea para obtener un agua que cumpla la legislación en cuanto a su estándar de calidad para su percolación directa en el terreno (RD 1620/2007), y obtener un agua de calidad suficiente (que todavía estará sometida a un post-tratamiento mediante filtración interactiva, naturalización mediante técnicas de recarga gestionada y humedales artificiales.



ESQUEMA DEL ÁREA DE ALCAZARÉN

Figura 2. Esquema topológico del sistema de Pedrajas- Alcazarén. Fuente: autores.

Una vez que las aguas convergen en el “punto de conexión” (figura 3b), y contando con un aliviadero para casos en que concurren volúmenes de efluentes elevados y fuertes precipitaciones (esparciendo los excedentes por un pinar, fig. 3d), el agua circula sobre el acuífero mediante tres canales semiparalelos de distribución e infiltración, cada uno con una válvula en cabecera (Fig. 3e, canal 3).

El agua infiltrada entra en el circuito subterráneo



Figura 1. Sistemas MAR en el acuífero Los Arenales (a) y esquema hidráulico del sistema de Pedrajas- Alcazarén sobre una cartografía híbrida (b).



Figuras 3 a a f: Sistema de depuración y recarga empleando NBSs de Alcazarén- Pedrajas. Depuradora de Pedrajas (a); punto de conexión de las aguas regeneradas, fluviales y de escorrentía (b); canal que dirige hacia el punto de conexión las aguas de lluvia de la escorrentía del núcleo urbano de Pedrajas (c); aliviadero contra avenidas esparciendo las aguas en las inmediaciones de un pinar a modo de llanura de inundación (d); válvula del canal 2 (válvula 2) y canal de recarga artificial (e) y arenero empleado como laguna de infiltración (A.W. 2) (f).

Reutilización de aguas regeneradas para el regadío utilizando un acuífero como solución cualitativa. El caso de Pedrajas- Alcazarén, Valladolid

en sentido noroeste, hacia los pozos de extracción, desde los que es extraída para regadío y uso agroindustrial, tras aproximadamente dos meses de flujo subterráneo. Los usuarios finales conectados a los sondeos que se concentran en este sector son los beneficiados por el sistema: las aguas regeneradas son reutilizadas de nuevo, casuística tan tradicional como emblemática de economía circular. El sistema dirige los recursos no infiltrados hacia una serie de humedales artificiales creados por la reutilización de antiguos areneros para la extracción de áridos (Fig. 3f, A.W. 2), cuya finalidad es perfeccionar el proceso de (auto) depuración biológica de las aguas. El sistema de recarga y recuperación constituye un buen ejemplo de Soluciones Basadas en la Naturaleza (=Nature Based Solutions o NBS).

Resultados

El sistema Pedrajas-Alcazarén representa un ejemplo internacional de disponibilidad de agua para regadío y para la agroindustria, en general de lavado y envasado de vegetales para la exportación. Se basa en la reutilización de aguas regeneradas y el empleo del acuífero como medio de filtración y mejora cualitativa del agua. El sistema cuenta con experiencias basadas en un post-tratamiento activo de las aguas, mediante filtros tanto inertes como reactivos, empleando para ello materiales de bajo coste (corteza de pino, raquis de piñas, arenas y gravillas a modo de biochar) y probada eficiencia en la mejora de la calidad del agua. Además dos NBS: el empleo de la zona no saturada del acuífero como sistema depurador, y de humedales artificiales para aumentar el proceso depurativo y mejorar las condiciones ecológicas del área.

Este esquema ensambla varias soluciones tecnológicas para la mezcla de aguas de distintos orígenes y para la mejora cualitativa mediante procedimientos pasivos, es decir, aquellos que no requieren consumo eléctrico (excluyendo el bombeo final). La mayor garantía cualitativa y de suministro para las industrias hidrodependientes instaladas en la zona permiten ampliar los



Figura 4. Reutilización de las aguas de recarga artificial para la agroindustria. Sistema Pedrajas-Alcazarén. esquemas productivos actuales, incluyendo el uso de agua regenerada para determinados procesos,

y la producción de cultivos de alto valor y calidad. Se reduce además la cantidad de fertilizantes empleados y el consumo de energía eléctrica en los pozos de extracción (por encontrarse el nivel freático más alto gracias a la recarga artificial del acuífero).

Por contra, se detectó en los primeros meses de operatividad un ligero aumento del Carbono Orgánico Disuelto (COD) en los dos piezómetros más cercanos a la depuradora (la JCyL monitorea seis piezómetros "aguas abajo", tanto el nivel del agua como la hidroquímica de macroconstituyentes cada seis meses). Este impacto requirió una respuesta que consistió en aumentar el proceso depurador, el empleo de filtros inertes e interactivos en el punto de conexión (depuración in itinere) y la cloración curativa puntual y moderada a través de ambos piezómetros. Este impacto negativo, puntual y temporal, no se ha vuelto a registrar tras estas medidas aplicadas en 2014.

Con respecto a las claves del éxito técnico, principalmente cabe destacar la involucración de los usuarios finales en todas las etapas de diseño y construcción del sistema, la capacitación para la autogestión local y la colaboración de las autoridades regionales y locales.

Lecciones aprendidas

Entre las lecciones aprendidas, cabe destacar la importancia de unos agentes que coordinen y contribuyan a la implementación de una actividad, en general enfocada a paliar el impacto negativo de la explotación intensiva de un acuífero sin comprometer la socio-economía de la comarca.

La Comunidad de Regantes funciona como agente facilitador, de mediación e interlocución con las administraciones y autoridades, ejemplo a seguir para la gobernanza en otros acuíferos en explotación intensiva o con riesgo de sobreexplotación. La mezcla de aguas regeneradas con aguas de calidad superior (fluviales y escorrentía del agua de lluvia), y las técnicas de post-tratamiento pasivas, han permitido sustituir el eslogan “dilución como solución a la contaminación” por “soluciones tecnológicas como solución a la contaminación”. La celebración de talleres y distribución de resultados de las investigaciones ha permitido superar barreras culturales y sociales, consiguiendo que la población local adquiera una mayor confianza en la reutilización de aguas regeneradas. Esta seguridad está generando un “efecto contagio” sobre los restantes agricultores de la comarca.

En cuanto a las posibilidades de replicabilidad del proyecto, en líneas generales, el uso de un acuífero como medio depurador requiere unas condiciones específicas, tanto del agua a reutilizar como del poder autodepurador del terreno. Por tanto, la replicabilidad es alta para sistemas con características hidrogeológicas análogas, con agua regenerada de calidad aceptable y soluciones tecnológicas resilientes. Nunca se deberá replicar en acuíferos que tengan riesgo de contaminación “definitiva”. La mejora de la calidad se basa tanto en Nature Based Solutions o NBS (acuífero, humedales artificiales) como en sistemas de post-tratamiento (filtros inertes, biofiltros pasivos o filtros interactivos), y, especialmente, mezcla de aguas de

distintos orígenes y características. La calidad final depende de la “sabia gestión” del sistema.

Conclusiones

El sistema Pedrajas-Alcazarén representa un buen ejemplo de la conexión entre la recarga gestionada de acuíferos, los NBS y la economía circular. Las opciones de replicabilidad se basan en el éxito técnico del sistema, diseñado de acuerdo con las condiciones ambientales específicas, el uso del acuífero como un almacén subterráneo y como sistema de distribución y la reducción de costes en fertilización y energía. Los beneficios medioambientales son el aumento de la humedad del suelo, el ascenso del nivel freático, la distribución del agua subterránea a lo largo del acuífero por gravedad sin necesidad de conducciones, y el uso de una fracción de la disponibilidad hídrica cercana al 5% para usos ecológicos, además de los sociales. En definitiva, la gestión plurianual del agua y de las reservas subterráneas mejoradas presenta ventajas interesantes con respecto a esquemas de gestión hídrica tradicionales, que por lo general carecen de celdas de almacenamiento subterráneo y de “retorno” de agua a los acuíferos. Estos sistemas son garantistas para el suministro de agua futuro y constituyen una indiscutible serie de medidas de adaptación al cambio climático; si bien es preciso gestionar el agua con (hidro)imaginación, innovación y paciencia.

Agradecimientos

Este artículo ha sido redactado por miembros del equipo del Grupo Tragsa del proyecto europeo MARSOLut (Managed Aquifer Recharge Training Network), Marie-Sklodowska-Curie Action, H2020, GA nº 814.066). El artículo refleja el punto de vista exclusivo de los autores y la Comisión Europea no tiene responsabilidad alguna. Agradecemos a los técnicos de la Junta de Castilla y León y del Grupo Tragsa en esta región, así como a los agentes locales de Alcazarén y Pedrajas, el apoyo brindado.

Referencias:

- » DINA-MAR (multiautor) (2010). La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo tecnológico. Serie Hidrogeología Hoy, Nº 6. Método Gráfico. <https://bit.ly/3muUV25>
- » MARSOL (2016). Fernández Escalante, E.; Calero Gil, R.; Villanueva Lago, M., San Sebastián Sauto, J; Martínez Tejero, O. and Valiente Blázquez, J.A. (2016). Appropriate MAR methodology and tested know-how for the general rural development. Entregable 5-3. MARSOL. <http://www.marsol.eu/35-0-Results.html>
- » Fernández Escalante, E.; San Sebastián Sauto, J. y Villanueva Lago, M (2019). Reclaimed water quality improvement by means of MAR and nature-based solutions from local industrial reuse. The Alcazarén-Pedrajas, system, Valladolid (Spain). ISMAR 10 proceedings book, pg. 322-332. <https://bit.ly/2AplmlA>

El papel de las aguas subterráneas dentro de la economía circular del agua

Belén Sánchez-Rubio Ruiz
 Responsable Dpto. Captaciones y Calidad de Agua
 bsanchez@facsa.com



El agua subterránea constituye una parte fundamental del ciclo del agua para atender las demandas generadas en la sociedad, puesto que se trata de la presentación del agua dulce más abundante en la Tierra que no se encuentra en estado sólido. Es el agua más accesible en un mayor espacio geográfico, incluso en climas áridos o semiáridos, y además proporciona una elevada garantía sobre su disponibilidad y menor vulnerabilidad a la contaminación. Todo lo anterior convierte al agua subterránea en un recurso estratégico.

En un escenario de aplicación de la economía circular del agua, el agua subterránea debe estar necesariamente presente, ya que cualquier iniciativa que no la tenga en cuenta no será capaz de “cerrar el círculo”.

Palabras clave

economía circular,
 sostenibilidad,
 reutilización,
 regeneración,
 reserva
 estratégica,
 garantía sanitaria

Introducción

La economía circular es un concepto cada vez más omnipresente que se establece con frecuencia actualmente como la base sobre la que organizar multitud de ámbitos de la vida, puesto que va en consonancia con lo que cualquier sociedad bienintencionada pretende en estos tiempos: evitar el agotamiento de recursos y hacer del mundo un lugar más sano, justo y sostenible.

La gestión del agua, como no podía ser de otra manera, no se escapa de estas aspiraciones, y la Economía Circular del Agua planea sobre cualquier propuesta o nueva planificación al respecto de lo hídrico, impregnándolas desde su planteamiento.

Empecemos por observar con atención una definición de la economía circular para poder ver qué otras ideas se relacionan: La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía...) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo

la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía (Fuente: [economiacircular](#)).

En todo lo circular está contenida la idea de retroalimentación, en la que no existe principio ni fin, puesto que se trata de un proceso continuo no lineal. Se da la circunstancia de que dicha circularidad está en la esencia de la presencia del agua en este planeta, ya que el propio ciclo del agua se retroalimenta, mediante una transformación perpetua de dicho elemento.

Sorprende, sin embargo, que en las representaciones más simplificadas del ciclo del agua sólo se muestra lo que ocurre por encima de la superficie terrestre, sin detallar la etapa correspondiente al agua subterránea.

La etapa subterránea constituye, como el resto de las etapas, un estado transitorio del agua, pero a pesar de su aparente “invisibilidad”, es necesario recordar que, considerando toda el agua dulce del



Figura 1. Arqueta de pozo de infiltración de ribera frente a Estación Potabilizadora en Mainz, a las orillas del río Rin, el cual se encuentra 200 m. a la derecha de la imagen. Fuente: Wikipedia

planeta, el agua subterránea es alrededor de 30 veces más abundante que el agua superficial.

El aprovechamiento del agua subterránea

Poniéndonos en contexto, arrastramos siglos de contar únicamente con el agua que se ve, puesto que, durante gran parte de la historia de la Humanidad, el agua superficial era la única que podía aprovecharse.

Existen vestigios de la existencia de pozos manuales hace más de 3.000 años, ya que era el único modo de acceder al agua cuando no se estaba cerca de un curso de agua superficial. En Alemania, desde 1870, se empezaron a perforar también pozos en las riberas de los ríos para obtener agua clara. Mucho antes de poder realizar análisis, ya se observó que el único parámetro claramente visible, la turbidez, mejoraba sensiblemente cuando se aprovechaba agua desde una excavación manual a orillas del río, frente a su captación directa de la corriente superficial.

Esta primigenia e intuitiva sabiduría de que el agua subterránea proporciona una mayor garantía sanitaria (no en vano el acuífero constituye un filtro natural) se ha ido viendo corroborada según ha ido aumentando la capacidad de analizar el agua. Ahora sabemos que esa mejora en la calidad se extiende a muchos otros parámetros: bacteriológicos, orgánicos, etc.

Actualmente, existen multitud de países con

gran cantidad de pozos en la ribera de los ríos, que captan agua para tratarla en estaciones potabilizadoras a poca distancia del curso fluvial, obteniendo una calidad muy mejorada con respecto a la que discurre por el cauce.

El papel del agua subterránea dentro de la economía circular del agua

A continuación desglosaremos el concepto de Economía Circular del Agua, poniendo atención en qué papel juega el agua subterránea en

cada parte. La economía circular descansa en varios principios (Fuente: www.economiacircular.org):

La eco-concepción: considera los impactos medioambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto y los integra desde su concepción. El agua ya es de partida un elemento natural que cuenta con su propio ciclo, por lo que los impactos



Figura 2. Zona verde de la ciudad de Castellón regada con aguas de origen de efluente de depuración regeneradas en la EDAR

medioambientales quedan claramente definidos en este caso como cualquier cosa que perturbe dicho ciclo: una gestión deficiente del agua que permita su desaprovechamiento y cualquier acción que deteriore su calidad.

La ecología industrial y territorial: establecimiento de un modo de organización industrial en un mismo territorio caracterizado por una gestión optimizada de los stocks y de los flujos de materiales, energía y servicios. Este objetivo se pone de manifiesto mediante la utilización conjunta aguas superficiales y subterráneas en el ciclo integral del agua, creación de redes supramunicipales con distintas fuentes que proporcionen versatilidad al sistema, priorizando su uso según criterios medioambientales y de ahorro energético.

La economía de la "funcionalidad": privilegiar el uso frente a la posesión, la venta de un servicio frente a un bien. El objetivo anterior se despliega, en el caso del agua, en el concepto de agua pública existente en España desde la Ley de Aguas de 1985, que establece que un bien natural e indispensable como el agua no admite propiedad. En consecuencia, es el Estado el que da permiso a los ciudadanos para su uso, siempre limitando un volumen en función de las necesidades que se han debido justificar previamente. Esto redundaría en la equidad en el reparto, aunque siempre existen consumos ilegales no autorizados, que en el caso de las aguas subterráneas son mucho más complicados de detectar.

El segundo uso: reintroducir en el circuito económico aquellos productos que ya no se corresponden a las necesidades iniciales de los consumidores. Un ejemplo cada vez más habitual de este aspecto es la reutilización de aguas, mediante la cual un agua que ya ha sido utilizada para un uso y ha perdido calidad, puede utilizarse (con o sin tratamiento previo) para otro uso que precise una calidad menos restrictiva (aguas de efluente de depuración para el riego o industria...). Actualmente se está mejorando el marco legal de la reutilización, debido a que la escasez de recursos, acelerada por el cambio climático, hace necesario maximizar su aprovechamiento.

La reutilización: reutilizar ciertos residuos o ciertas partes de los mismos, que todavía pueden funcionar para la elaboración de nuevos productos. Este aspecto está siendo potenciado actualmente mediante diferentes vías, tales como son la utilización de lodos de ETAPs y EDARs en agricultura, o como materiales de construcción. Otro ejemplo de lo anterior lo constituiría el paso del agua superficial del Rin en dunas costeras en los Países Bajos, para su depuración microbiológica de modo previo a su captación para la utilización para agua de abastecimiento a Amsterdam. Con este proceso el agua se depura mediante un proceso natural en el que se produce percolación por diferencia piezométrica, ya que los lagos superficiales se encuentran a mayor cota. Consecuentemente, se disminuye la utilización de productos químicos en el tratamiento del agua y se contribuye a mantener el paisaje.



Figura 3. Dunas costeras en Holanda. Fuente: Wikimedia Commons

La reparación: encontrar una segunda vida a los productos estropeados. Lo anterior se materializa, p.e., en un segundo uso de membranas para tratamientos menos exigentes en paso de sales.

El reciclaje: aprovechar los materiales que se encuentran en los residuos. Esto se pone de manifiesto, por ejemplo, en proyectos de valorización de las aguas de rechazo de las plantas de ósmosis a través de la recuperación de los metales presentes en plantas de desalobración de agua subterránea.

La valorización: aprovechar energéticamente los residuos que no se pueden reciclar. Un ejemplo de lo anterior sería el aprovechamiento de la energía de las bombas de presión de las plantas de filtración, tanto de agua de mar como de agua salobre, así como la instalación de turbinas para el aprovechamiento del movimiento del agua por gravedad en la entrada de los depósitos.

Conclusiones

El desarrollo de la economía circular debería ayudar a disminuir el uso de los recursos, reducir la producción de residuos y limitar el consumo energético. Como hemos podido ver, el papel del agua subterránea dentro de la Economía Circular del Agua es fundamental: constituye el recurso más estratégico (por su abundancia y accesibilidad) y aporta una mayor garantía sanitaria y estabilidad

en su calidad. Su accesibilidad evita la necesidad de construir largas conducciones, y el efecto depurador de los acuíferos aporta estabilidad en la calidad y minimiza la adición de productos químicos en las estaciones de tratamiento de agua potables (ETAPs). Su utilización rebaja el impacto de afección a los ecosistemas, ya que facilita el mantenimiento de los caudales ecológicos en los cursos superficiales. Al contar con mucha más capacidad de almacenamiento, el impacto sobre el acuífero está más amortiguado que en una masa de agua superficial. Cabe advertir, sin embargo, que dicho impacto existe y debe ser controlado: es necesario establecer medidas de control ante la explotación de los acuíferos que los preserven y ayuden a mantener su equilibrio con los cursos superficiales y el mar. Si no tenemos en cuenta las aguas subterráneas dentro de la Economía Circular del Agua, de igual modo que ocurre con el ciclo del agua, el círculo, simplemente, desaparece.



Figura 4. Planta piloto de tratamiento para el agua de rechazo de una fábrica de sílice en Zaragoza, para la recuperación de energía, sulfato de sodio y álcalis

Referencias:

- » <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/groundwater-flow-and-water-cycle>
- » UNESCO-IHE, Waternet, Metameta, Eijkelpamp, Partners Voor Water, September 2014 (metameta.nl), The Amsterdam Dune Water Machine
- » Medema, G. J., Smeets, P. W. M. H., van Dijk, J. C., The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands, Drinking Water Engineering and Science, Published by Copernicus Publications on behalf of the Delft University of Technology
- » <https://www.zerobrine.eu>
- » <https://www.economicircular.org>
- » Vet, W. W. J. M., van Dijk, J. C., van Genuchten, C. C. A., van Loosdrecht, M. C. M., Water quality and treatment of river bank filtrate, Drinking Water Engineering and Science
- » Melgarejo Moreno, J., Agua y Economía Circular, Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad, Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante
- » Chitaranjan, Dalai, Ramakar, Jha, Review on Water Treatment Techniques Used for Riverbank Filtration, International Journal of Civil Engineering Research, Volume 5, Number 3 (2014), pp. 221-226
- » <http://wbi.worldbank.org/developmentmarketplace/idea/clean-water-riverbank-filtration>
- » Kelly, Brian P., Rydlund, Jr, Paul H., Water-Quality Changes Caused by Riverbank Filtration Between the Missouri River and Three Pumping Wells of the Independence, Missouri, Well Field 2003–05, Scientific Investigations Report 2006–5174, USGS
- » Elimelech, Menachem, Ryan, Joseph N., Tufenkji, Nathalie, The Promise of Bank Filtration, Environmental Science and Technology, 2002 American Chemical Society



APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS PROCEDENTES DE LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN Y DESALACIÓN





La economía circular en la desalación y el tratamiento de agua

Palabras clave:
Reutilización,
desalación, ósmosis.

El agua dulce es un bien cada vez más escaso porque, manteniéndose constante la cantidad de agua dulce accesible en nuestro planeta, la población crece y la disponibilidad per cápita disminuye. Además, la actividad humana contamina agua que debiera ser tratada antes de su uso, lo cual reduce la disponibilidad. Para incrementar esa disponibilidad debemos recurrir a nuevas “fuentes” (nunca mejor dicho): La desalación, la reutilización de agua regenerada y esa “fuente” tantas veces olvidada como el ahorro. Se calcula que este año 2020 el mundo tendrá una capacidad de desalación de 32km³/año, una cantidad superior al consumo total de agua en España. La reutilización, contabilizando todos los niveles de tratamiento y grados de calidad, llegaría este año a 52 km³/año.

Reutilizar y desalar requieren tecnologías relativamente complejas y consumo de energía y productos. Optimizar los procesos implicados en la regeneración de agua residual y en la desalación requiere optimizar los consumos de energía y aprovechar los subproductos generados. Un ejemplo paradigmático de optimización en desalación es la reducción de consumo energético. Según datos del CEDEX, para desalar agua del mar se ha pasado de un consumo de energía eléctrica superior a 45 kWh/m³ en los años 70 a los 2,9 actuales. Esto ha permitido pasar de producir 25 mil m³ /día a una capacidad cercana a los 3 hm³ en España.

En desalación hay dos tipos de residuos cuyo aprovechamiento puede revolucionar el proceso: Las aguas de rechazo en la ósmosis inversa, la salmuera, y las membranas al final de su vida útil.

Se han realizado importantes esfuerzos para tratar de aprovechar en la salmuera tanto el agua como las sales más concentradas



Imagen 1. Membranas para desalación

que contiene. Son las denominadas tecnologías de vertido cero que, al menos de momento, están lejos de posible implantación. El desarrollo de la ósmosis directa, quizás acoplada con destilación a través de membranas, podría ser en el futuro una opción para alcanzar un mayor aprovechamiento del agua y a la vez conseguir una concentración salina de productos de interés, por ejemplo, para obtener litio y magnesio.

Las membranas desechadas después de su uso es otro importante residuo de la desalación y la posibilidad de darles una segunda vida útil es una realidad.



Imagen 2. Reutilización para usos agrícolas

Se estima que anualmente se desechan en el mundo del orden de 840.000 módulos lo que supone 14.000 Tm de material plástico que se depositan en vertederos. Tratamientos relativamente sencillos para transformar estas membranas para operaciones de nano y ultrafiltración es una interesante opción. Estas membranas recicladas pueden competir en diversas aplicaciones tanto para pretratamientos en plantas de desalación como para tratamiento de aguas residuales de diferentes tipos. El coste del reciclado es muy atractivo dado que el material de partida es un residuo, estimaciones teóricas indican una gran reducción de costes cuando se utilizan membranas recicladas.

El agua residual urbana es agua en más de un 99%, el resto es materia orgánica acompañada de diferentes iones. Es evidente que ese 99% debe ser aprovechado. Además, la materia orgánica se puede utilizar para generar energía a partir de la energía química contenida en sus enlaces. Algunos iones, por ejemplo, los usados para fertilización, fósforo y nitrógeno, también se pueden recuperar, habitualmente en forma de estruvita. Además, dependiendo de las características concretas del agua residual se podrían aprovechar otras sustancias.

Hay dos maneras de optimizar la energía en una planta, ahorrando y produciéndola. En una estación depuradora, el mayor consumo energético se produce en las soplantes utilizadas para incorporar el oxígeno del aire para el tratamiento biológico. Disminuir ese consumo es un objetivo prioritario en cualquier depuradora, las modernas tratan de eliminar la mayor cantidad de materia orgánica en el decantador primario, de manera que la cantidad de esa materia a degradar en el tratamiento biológico sea mínima. Así se podría ahorrar hasta un 20% de energía. La materia orgánica separada en el decantador primario se uniría a la del secundario procediendo posteriormente a la digestión anaerobia, con o sin acondicionamiento previo de los lodos, por ejemplo, hidrólisis térmica. De esta manera se podría recuperar entre el 60 y el 80% de la energía consumida en la planta. Los sistemas convencionales con recuperación de energía lo hacen hasta un 40%. El futuro del sector pasa por su aprovechamiento integral del agua propiamente dicha y de las sustancias que contiene, pasa por la economía circular.

Eloy García Calvo
Director del Instituto IMDEA Agua
eloy.garcia@imdea.org

Valorización de lodos de EDAR mediante tecnología de Carbonización Hidrotermal (HTC)

Ixone Sagastagoia Sevilla
Técnico I+D+i / iss@cadagua.es

Javier Arrieta Morales
Responsable departamento I+D+i / jam@cadagua.es

Francisco del Molino Pérez
Director departamento Calidad, Medio Ambiente e I+D+i
/ fdelmolino@cadagua.es



La carbonización hidrotermal (HTC) de biomasa está emergiendo como una tecnología para valorizar de manera eficiente diferentes tipos de materias primas de biomasa. Este artículo presenta el proyecto sobre HTC desarrollado por Cadagua en colaboración con Massachusetts Institute of Technology (MIT), cuyo objetivo es desarrollar materiales nanoestructurados de carbono (Biocrudo, Carbón Activo) mediante la conversión de diferentes tipos de lodo, pudiendo así encontrar usos alternativos de alto valor añadido a los lodos de depuración.

Esta tecnología se utilizará para identificar la mejor aplicación para los diferentes productos obtenidos en HTC, que tienen oportunidades en diferentes campos.

Palabras clave

carbonización hidrotermal, biocrudo, carbón activo, subproductos depuración, economía circular.

La carbonización hidrotermal (HTC) es un proceso en el cual la materia orgánica se descompone bajo la influencia de la temperatura y la presión en presencia del agua. El agua caliente comprimida cerca de sus condiciones supercríticas (180-350°C, 5.0-20.0MPa) también denominada agua subcrítica actúa no solo como un solvente, también como un reactante, favoreciendo las reacciones de hidrólisis y deshidratación molecular que degradan la estructura molecular del lodo convirtiéndolo en materiales más ricos en Carbono.

El proceso HTC juega con las variables concentración del lodo, temperatura, presión y tiempo para acelerar de forma artificial procesos naturales dando lugar a productos de alto valor añadido como es el crudo o el carbón activo.

Los aspectos diferenciadores de este proyecto se muestran a continuación:

- Se han testado diferentes sustratos; lodo primario, secundario y mixto digerido. Ganando conocimiento de rendimientos y posibles productos de cada uno y de sus mezclas con el fin de encontrar nuevos productos con alto valor añadido (aditivos para asfaltos, carbón activo).
- Se ha trabajado en un amplio rango de presiones, tiempos y temperaturas 20- 100 bar, 180-320°C, 15 minutos -6 horas.
- Se ha diseñado un software para predecir las condiciones operacionales óptimas para cada producto objetivo. Los parámetros con los que

actuar son varios, la concentración de sólidos, la naturaleza del lodo, tiempo de reacción, concentración de sólidos, la naturaleza del lodo, tiempo de reacción, temperatura, presión, multiplicándose las combinaciones, por ello es parte importante el desarrollo de una herramienta de simulación del proceso para predecir el efecto de las combinaciones de las variables, así como los rendimientos de conversión a biocrudo o carbón activo.

Se pretende demostrar que el proceso HTC de lodos de depuradora es viable técnica y económicamente. Para ello se han llevado a cabo experimentos preliminares para caracterizar los productos, seguido de la optimización de los materiales modificando las condiciones operacionales con el fin de validar el modelo matemático. Se ha realizado una evaluación técnico-económica bajo condiciones del mercado español incluyendo diferentes aplicaciones de materiales seleccionados.

Principales resultados obtenidos

Se lleva a cabo una batería de ensayos, trabajando con tres (3) tipos diferentes de lodos: lodo primario, secundario, mixto sin digerir y lodo digerido, realizando ensayos a diferentes temperaturas (entre 180 y 320°C) y durante diferentes periodos de tiempo de reacción (entre 10 minutos y 6 horas). Separar y analizar, en cada caso, las fases resultantes: gas, agua, hidrochar y biocrudo, permite investigar los efectos de los tipos de lodos y condiciones de reacción en los rendimientos a hidrochar y biocrudo. Los resultados obtenidos permiten elaborar unas conclusiones que son la base del estudio de viabilidad técnico-económica.

Los primeros ensayos se hacen para lodo primario, secundario y digerido a tres tiempos de residencia, obteniéndose una fracción sólida, hidrochar del que obtendremos carbón activo, y biocrudo del que obtendremos un producto que puede



Figura 1. Reactor utilizado para ensayos de HTC

ayudar a fluidificar asfaltos muy viscosos. Estos experimentos se repiten con lodo mixto digerido y sin digerir con las condiciones óptimas obtenidas de los ensayos anteriores.

Las principales conclusiones con respecto a las condiciones de HTC se pueden extraer de estos ensayos:

Efecto del tipo de lodo: el lodo primario produce los materiales HTC que son más fáciles de manejar, debido al bajo contenido de cenizas de la materia prima. El más complejo es el lodo digerido, lo que conduce a la disminución de los rendimientos de biocrudo. La razón de que los rendimientos del biocrudo sea más bajo en los lodos digeridos se debe a su alto contenido de compuestos recalcitrantes que son difíciles de degradar.

Efecto de la temperatura: temperaturas más altas conducen a una mayor degradación de la biomasa

Valorización de lodos de EDAR mediante tecnología de Carbonización Hidrotermal (HTC)

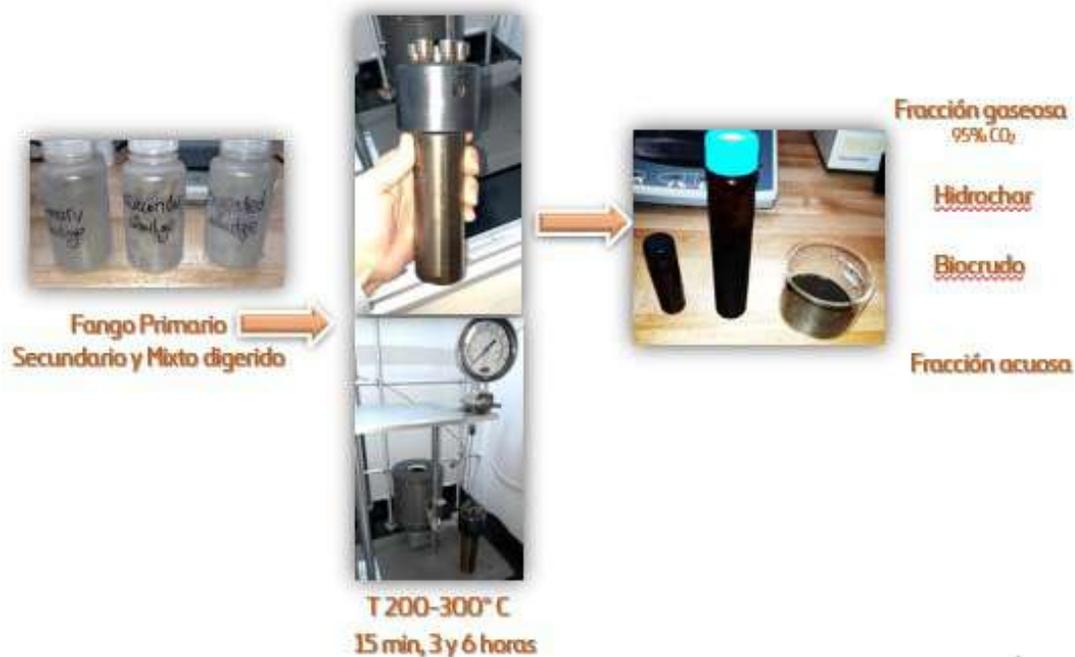


Figura 2. Primeros ensayos de HTC con lodo primario, secundario y mixto digerido

en lodos de depuradora, y por lo tanto se produce más biocrudo. Esto explica por qué el principal producto a 200 °C es hidrochar y a 300 °C es biocrudo.

Efecto del tiempo de residencia, afecta de la misma manera que la temperatura, interviniendo en el rendimiento del proceso y el contenido de energía. Cuanto mayor es el tiempo de residencia menor es el rendimiento a hidrochar.

Efecto de la relación biomasa-agua: una mayor proporción de biomasa parece mejorar la formación de biocrudo. Esto se debe a que el biocrudo se forma a través de reacciones de repolimerización con un orden de reacción superior a 1. Esto significa que las reacciones se potenciarán a mayores concentraciones de biomasa.

Con respecto a las aplicaciones de los productos HTC, las principales conclusiones científicas y técnicas son:

- Los rendimientos de hidrochar variaron de un 60% a un 90%; estos disminuían conforme

se aumentaba la severidad del proceso. La temperatura afecta de forma negativa al rendimiento de hidrochar ya que a mayor temperatura se produce un incremento de las reacciones que descomponen el lodo dentro del reactor.

- Los rendimientos de biocrudo variaron de un 20% a un 35%: En general, una mayor temperatura y proporción de biomasa-agua dieron como resultado mayores rendimientos de biocrudo; Los lodos digeridos tuvieron menores rendimientos a biocrudo.
- Fracción gaseosa: La conversión de la biomasa a gas es de un 5-10%. Dentro de los gases destaca la presencia de CO₂ que constituye el 90 – 95 % del volumen total.

El hidrochar lo convertimos en carbón activado mediante un proceso de recocido térmico (850 °C, 2 h, atmósfera de nitrógeno). El carbón activo resultante fue analizado por XPS para estudiar su composición elemental y fue probado usando el

ensayo de adsorción de azul de metileno dando valores similares al carbón activo comercial.

Se puede concluir, que, tras una primera aproximación del estudio técnico económico, el mercado potencial y la falta de mejora del rendimiento con respecto a los materiales disponibles, hacen poco atractiva la comercialización de este producto.

El biocrudo obtenido muestra buenas propiedades reológicas como un betún blando. Se realizaron pruebas de reología dinámica a la fracción de biocrudo obtenido, para obtener parámetros como la viscosidad, módulo de almacenamiento, módulo de pérdida o ángulo de fase. A la vista de los primeros resultados de reología, se ha podido concluir que la baja viscosidad del biocrudo (con respecto a los asfaltos fósiles) es interesante ya que puede ayudar a fluidificar asfaltos muy viscosos. Este material podría ser mezclado con asfaltos duros para suavizarlos. Tal aditivo para el asfalto tiene un relevante mercado, y se ha convertido en el foco de este proyecto pudiendo ser rentable en el campo de infraestructura civil.

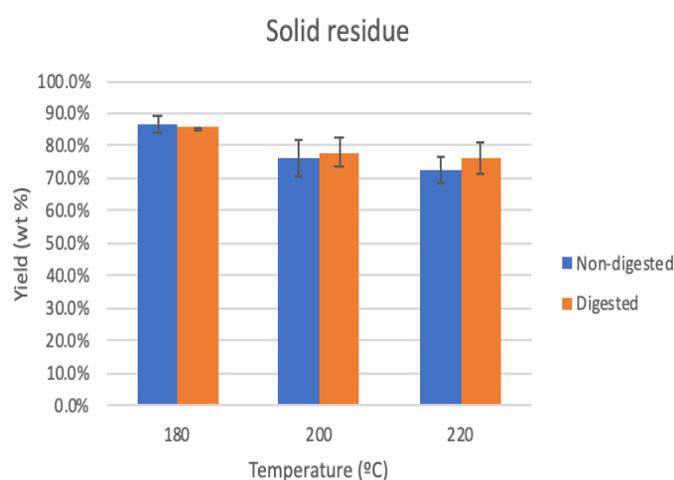


Figura 3. Producto principal obtenido: Hidrochar
 Temperatura de ensayos (° C): 180, 200, 220
 Tiempo reacción (min): 10
 20% Sequedad

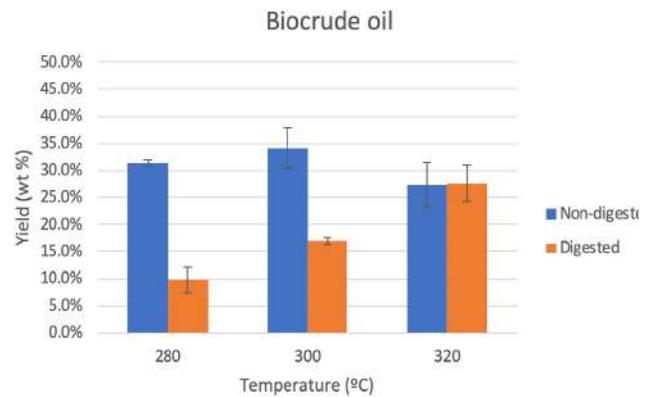


Figura 4. Producto principal obtenido: biocrudo
 Temperatura de ensayos (° C): 280, 300, 320 °C
 Tiempo reacción (min): 10
 20% Sequedad

Se han desarrollado modelos matemáticos con el fin de replicar y predecir los rendimientos de conversión en función del lodo de EDAR, en ciertas condiciones cercanas a las condiciones estudiadas. Para la construcción de estos modelos se han tenido en cuenta diferentes factores y los efectos de éstos, como son el origen de los lodos, la etapa del lodo, la temperatura, el tiempo y los rendimientos resultantes de los productos obtenidos.

Estos modelos predicen la producción de biocrudo, hidrochar, residuos de gas y residuos de agua a partir de lodos de depuradora. Según el análisis del modelo, los efectos más importantes son la temperatura, la etapa del lodo y el contenido de sólidos; los efectos del tiempo y el origen del lodo no son significativos. Gracias a este modelo matemático seremos capaces de predecir la producción de hidrochar y biocrudo a partir del lodo de cualquier estación depuradora.

Por lo tanto, estaríamos ante el desarrollo de una nueva tecnología que tendrá un impacto múltiple, evitando sobrecarga en vertederos, eliminando riesgos de las futuras regulaciones restrictivas para el uso del lodo en agricultura y promoviendo la economía circular en cumplimiento de la legislación actual y futura.

Formulación de un disolvente eutéctico a partir de la valorización de un residuo industrial y su aplicación en la purificación del biogás: DES-BIOMETAHE

Javier Eduardo Sánchez

Ramírez

Investigador Dpto I+D DAM

Laura Pastor

Responsable del Dpto I+D DAM

Silvia Doñate

Técnico investigador del Dpto I+D

Elena Torralba

Investigador del centro tecnológico LEITAT

Maria Collado

Investigador del centro tecnológico LEITAT



Este trabajo presenta los resultados obtenidos durante el estudio sobre la valorización de un residuo (glicerol) para la obtención de un nuevo disolvente eutéctico (DES) biodegradable y que puede ser empleado para la captura del dióxido de carbono (CO_2), presente en el biogás producido en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). En concreto, se ha estudiado la síntesis y estabilidad del disolvente, la absorción y desorción del CO_2 y las condiciones operacionales que permiten obtener los máximos rendimientos en términos de captura de CO_2 . El DES sintetizado es un disolvente biodegradable y de baja toxicidad y está alineado con la base de la química verde.

Palabras clave

biogás, upgrading, CO_2 , disolvente eutéctico, EDAR

Dentro de los materiales más estudiados para la captura de CO_2 , por absorción química, encontramos las aminas, los líquidos iónicos (IL) y los solventes verdes conocidos como Deep Eutectic Solvent (DES). Dentro de los DES, están aquellos que se forman con cloruro de colina y donantes de puentes de hidrógeno. En este proyecto se ha investigado la síntesis de un DES usando el glicerol proveniente de las aguas residuales de origen industrial (residuo) gestionadas por la empresa DAM. Se ha valorado la formación de un DES compuesto por cloruro de colina (ChCl) y glicerol. La combinación de estos dos compuestos en relaciones diferentes da lugar a la formación de un nuevo solvente biodegradable muy activo y selectivo con el potencial de sintetizar carbonatos cíclicos (CO_2) a través del proceso de absorción química.

Después de la reacción con el CO_2 , el DES en exceso y los productos sintetizados pueden separarse fácilmente porque los productos son insolubles en el DES, y por lo tanto es reutilizable. La novedad del DES radica principalmente en que uno de sus compuestos (Glicerol) proviene de un residuo de origen industrial, el cual ha permitido realizar la captura del CO_2 presente en el biogás generado en las EDAR, dentro de los lineamientos del concepto de economía circular.

A continuación, se presentan los principales resultados en cada una de las etapas estudiadas:

Separación del glicerol

Para la adecuación y separación del glicerol de las aguas residuales glicerosas se empleó inicialmente

un pretratamiento o adecuación de las muestras, basado en carbón activo, con una concentración de 10mg/ml con el fin de eliminar impurezas y color de las muestras iniciales. La caracterización inicial del agua residual industrial seleccionada se muestra en la tabla 1. La concentración de glicerol en la muestra inicial fue de 10-15% (8,5° Brix), algunas muestras tenían una concentración de glicerol mayor (Aprox. 20%). La media de la concentración de glicerol se obtuvo empleando un refractómetro que ha sido calibrado para esta aplicación.

Parámetro	Unidad	EDAR
pH	UA*	2,53
CE	[mS/cm]	20,14
Cl ⁻	[mg/L Cl ⁻]	63,3
NH ₄ ⁺	[mg N-NH ₄ ⁺ /L]	18
PO ₄ ³⁻	[mg/L P-PO ₄ ³⁻]	46,6
Ca ²⁺	[mg Ca ²⁺ /L]	21,1
Mg ²⁺	[mg Mg ²⁺ /L]	7,79
Dureza	dH°	4,76
	[mg CaCO ₃ /L]	84,73
Materia seca	[%]	8,76
Sólidos en suspensión	[g/L]	0,06
Turbidez	NTU	135
DQO	[mg/L]	209.700
DBO ₅	[mg O ₂ /L]	22.140
DBO ₅ /DQO	UA*	0,10557
Concentración glicerol	[%]	10,00
Absorbancia	(H ₂ O como referencia)	0,235
Reducción color	[%]	

* UA: unidades arbitrarias

Tabla 1. Características del agua residual industrial.

La separación del glicerol se llevó a cabo mediante destilación por membranas con vacío, para esto se emplearon 4 contactores de membrana con un área de 0,52 m² cada uno. En este caso se observó que el tiempo necesario para concentrar el glicerol hasta un 70% en el agua partiendo de valores entre 10-20% glicerol es de aproximadamente 50 horas, empleando un área de membrana de 2 m². Este tiempo se puede optimizar hasta 7-8 h utilizando 7 m² de membrana.

Síntesis del disolvente eutéctico (DES)

Los DES se definen como compuestos sintetizados a partir de una mezcla de al menos dos componentes,

uno de ellos debe de ser un dador de enlaces de hidrógeno, mientras el segundo debe ser un aceptor de enlaces de hidrógeno. En este caso, el glicerol recuperado será el compuesto dador de enlaces de hidrógeno y una sal de amonio cuaternaria será la que los acepte.

Para seleccionar la relación molar más adecuada del DES con respecto a su posterior aplicación, se sintetizaron diferentes DES con distintas relaciones molares, y se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de éstos. Se compararon estos valores con los reportados en la bibliografía y se seleccionó una relación molar 2:1 (Glicerol / Cloruro de colina) con un 30% de agua. Se definió que el porcentaje máximo de agua debía ser del 30% con el fin de garantizar proceso de captura de CO₂ con el DES. No obstante, porcentajes menores de agua podrían favorecer la captura. A su vez en el proyecto se buscó el equilibrio para obtener condiciones óptimas tanto en el proceso de preconcentración de glicerol como en el proceso posterior de captura de CO₂.

Para la síntesis de diferentes DES en este estudio, se han usado reactivos comerciales y una vez definida la formulación óptima se ha empleado el glicerol concentrado y separado de las muestras de aguas residuales industriales. La síntesis de los DES es fácilmente reproducible una vez puesto a punto el proceso. Se mezclan los componentes mencionados anteriormente, glicerol y cloruro de colina, durante un tiempo determinado, a una temperatura constante en torno a 80°C, se mantiene en agitación hasta que se observa una mezcla homogénea y sin precipitado. La Figura 1, muestra una fotografía del aspecto del DES comercial y el DES real obtenido a partir de aguas residuales glicerosas.

Tras los análisis correspondientes se observó que las características fisicoquímicas de ambos disolventes son muy parecidas en términos de conductividad iónica (1.5 – 3.0 ms/cm), viscosidad (130 -170 cP) y pH (5 -7). Los análisis mediante espectroscopia

Formulación de un disolvente eutéctico a partir de la valorización de un residuo industrial y su aplicación en la purificación del biogás: DES-BIOMETAHE



Figura 1. Aspecto del DES comercial y DES real obtenido en laboratorio.

IR (Figura 2) muestran coincidencias en los grupos funcionales, indicando que la estructura química es similar en ambos disolventes. El análisis termogravimétrico realizado muestra que, según bibliografía, la temperatura crítica del DES es próxima a los 200 °C, pero en este caso se observa como a partir de los 100°C la muestra empieza a perder peso debido a la evaporación del agua presente en solución. Además, alrededor de los 200°C la muestra se degrada perdiendo mucho peso, con mayor intensidad.

Estos análisis han permitido determinar que el DES real cumple con las características físico-químicas de un disolvente eutéctico y sus propiedades se encuentran dentro de los valores reportados en bibliografía.

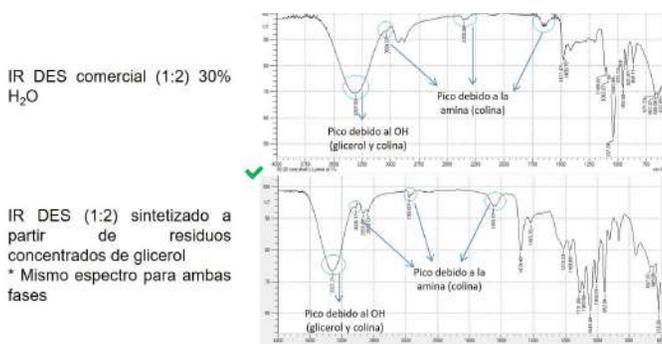


Figura 2. Espectroscopia IR del DES comercial y real.

Estudios de captación y desorción de CO₂

Para los estudios de captura y desorción de CO₂ se ha empleado un montaje experimental desarrollado en este proyecto, basado en un reactor de mezcla de alta presión (Figura 3), equipado con sensores de temperatura, presión, electroválvulas, agitador,

caudalímetro y control de temperatura.

La primera etapa del proceso es la absorción del gas objetivo (CO₂), las condiciones de trabajo son temperatura ambiente, presión elevada (4-5 bares) y agitación constante de la mezcla. Cuanto más elevada sea la presión parcial del gas que quiere capturarse, mayor será el rendimiento de la captura. En nuestro caso, se trabaja a presiones de hasta 5 bares y la duración de la etapa se ha fijado en 2 horas.

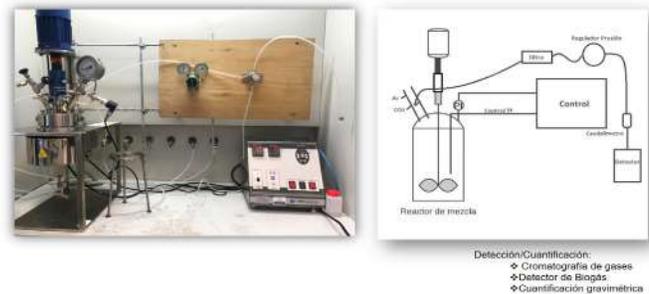


Figura 3. Montaje experimental para la absorción y desorción de biogás.

La segunda etapa estudiada fue la desorción, en la que se cuantificó la cantidad de CO₂ absorbido previamente en la etapa anterior. Las condiciones de trabajo conllevan temperatura elevada, hasta un máximo de 100°C, presión baja, agitación continua y un flujo constante de un gas inerte, nitrógeno en este caso, que ayudará a desplazar el CO₂ capturado. La cantidad de volumen extraído del reactor fue cuantificada, y también se analizó la composición del gas de salida durante toda la etapa, en intervalos de tiempo pequeños. La duración de esta etapa fue inferior a 1 hora. Ambas etapas están esquematizadas en la Figura 4.

Inicialmente se realizaron ensayos de captura de dióxido de carbono con DES comercial, sintetizado a partir de productos comerciales. Los resultados obtenidos son significativamente parecidos a los reportados en bibliografía. Cuantitativamente los resultados de la captura están dentro del intervalo 0,155-0,170 moles CO₂ por mol de DES, siendo el valor reportado en bibliografía de 0.162 moles CO₂/mol DES.

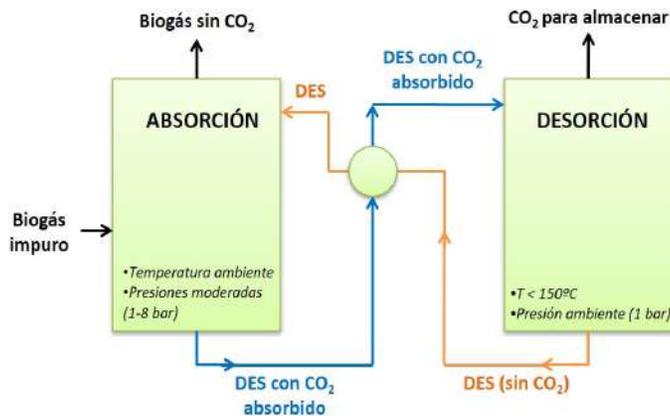


Figura 4. Esquema general del proceso de absorción y desorción.

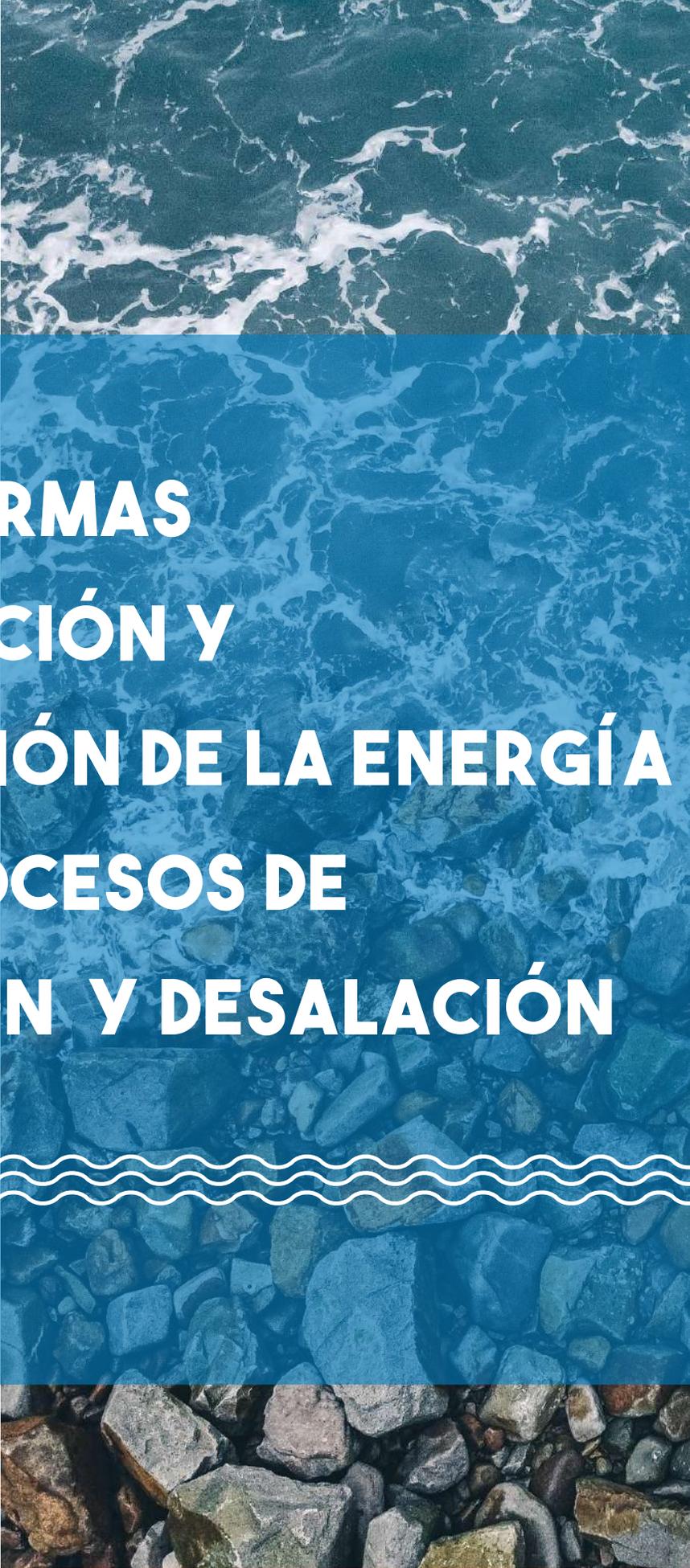
El siguiente paso en los ensayos programados fue repetir los ensayos realizados con CO₂ puro y DES comercial pero esta vez utilizando el DES formado con glicerol proveniente de aguas glicerosas de DAM o DES real. Los resultados obtenidos para la captura de CO₂ son ligeramente superiores a los obtenidos con DES comercial. Con DES real se obtuvo un consumo de CO₂ de 0.175-0.198 moles de CO₂/ mol de DES a una presión de trabajo de 4-5 bares. Muy probablemente, la cantidad de CO₂ capturado es superior en DES real debido a la presencia de otras especies iónicas en las aguas glicerosas que potencian la absorción de CO₂. Un aspecto a tener en cuenta es que a mayor presión se aumenta la capacidad de absorción del CO₂, siendo los valores óptimos entre 10 – 15 Bar.

Por último, se realizaron ensayos de captura de CO₂ con DES real y biogás sintético. En este caso, se utilizó biogás sintético con una composición similar al biogás real (60% CH₄, 11% N₂, 28% CO₂, 0.5% CO y 0.5% H₂S). Trabajando a presiones de entre 4 y 5 bares obtenemos un incremento en la composición de CH₄ obteniendo un porcentaje entorno al 70% y una reducción del CO₂ entre el 25-30%. Se debe remarcar, que, en el caso de trabajar a presiones mayores, obtendremos una mayor reducción del CO₂ alcanzando concentraciones de metano superiores al 90%.

Al igual que en otros procesos de absorción de CO₂, como el caso de las aminas, el rendimiento de captura de CO₂ se ve favorecido con el aumento de la presión de trabajo (superiores a 10bar). La presencia de siloxanos en el biogás no provoca interferencias en la captura de CO₂. Otro aspecto importante, es que el DES sintetizado es reutilizable, ya que mantiene los valores de captura de CO₂ tras varios ciclos de absorción-desorción.

Conclusiones

- Es posible recuperar un compuesto (glicerol), proveniente de aguas residuales industriales y emplearlo en la síntesis de un disolvente eutéctico biodegradable, apto para la captura de CO₂ presente en el biogás producido en las EDAR.
- El DES sintetizado se ha preparado a partir de una relación molar 2:1 (Glicerol – Cloruro de colina), el cual permite obtener un DES más estable.
- La configuración experimental para pruebas de absorción y desorción de CO₂ y el método de cuantificación han sido probados y funcionan correctamente. Los experimentos de captura y desorción han sido validados empleando biogás sintético y real. La eficacia de la captura logra alcanzar los resultados reportados en bibliografía, con valores entre 0,155-0,170 moles de CO₂ capturado por mol de DES.
- Es posible capturar hasta un 30% de CO₂ presente en el biogás operando el sistema a presiones entre 5-6 Bar, obteniendo un porcentaje de metano en torno al 70%. Para mejorar el rendimiento de absorción es necesario operar el sistema a mayores presiones (10-15 Bar).



NUEVAS FORMAS DE GENERACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA EN LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN Y DESALACIÓN





Tecnología para producción de gases renovables en el sector del agua: clave para el *European Green Deal*

Palabras clave
Biometano, hidrógeno renovable.

La conexión entre los recursos agua y energía, fundamentales para la supervivencia de los humanos en la tierra, ha sido utilizada por civilizaciones anteriores a la nuestra a través de invenciones tan significativas como los molinos de agua. Sin embargo, las múltiples maneras en las que el agua y la energía están vinculadas no fueron estudiadas de manera formal hasta los años 90; década en la que emerge el concepto del Nexo Energía-Agua, impulsado por el trabajo de Peter Gleick y otros investigadores del ámbito. A partir de entonces, ha existido una sensibilidad especial en el sector del agua hacia esta relación; una sensibilidad que ha trascendido las meras consideraciones de coste y que ha sido expresada a través las numerosas iniciativas investigadas e implantadas para mejorar la eficiencia energética de procesos. Como ejemplos, la desalación y la depuración son importantes consumidores de energía dentro del ciclo urbano del agua. Todas estas investigaciones se han centrado entonces en el irremediable papel del sector del agua como consumidor de energía, y han focalizado sus esfuerzos en debilitar el nexo entre el agua y la energía hasta niveles técnicos y económicos viables.

Sin embargo, existe una visión complementaria, que es la de contemplar el sector del agua como un productor de energía. Esta perspectiva es crítica para alcanzar el objetivo del reciente "*European Green Deal*" de conseguir una Europa climáticamente neutra para 2050. A este respecto y más allá de la generación de biogás -articulada a través de la tecnología de digestión anaerobia ya en múltiples plantas depuradoras de todo el mundo- emergen opciones como la generación de biometano y otros gases renovables a partir de las aguas residuales y sus fangos.

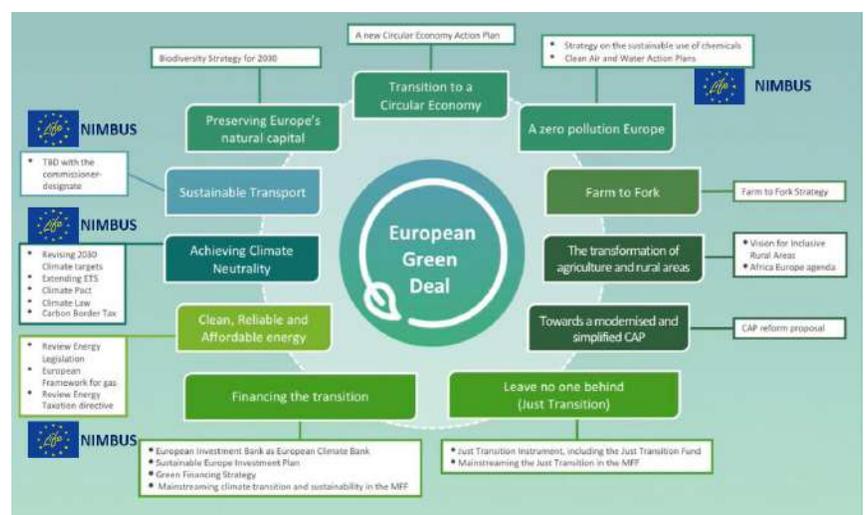


Figura 1. LIFE NIMBUS y su relación con los objetivos estratégicos del European Green Deal

Dichos gases renovables generados en las depuradoras pueden apoyar a Europa en la transición hacia un sistema de energías limpias soportado en estrategias de economía circular. Específicamente, y según estudios recientes, el potencial de producción de biometano en la UE en 2050 estará alrededor de 100-120 billones de metros cúbicos. Por tanto, si aunamos la producción de biometano con la de hidrógeno renovable y con estrategias de optimización energética, el suministro de gas en Europa puede ser 100% renovable para dicho horizonte temporal. Sin embargo, para conseguir esta meta, las tecnologías de producción de gases renovables deben acelerar su desarrollo y bajar sus costes.

Dentro de este esfuerzo se enmarca NIMBUS, un proyecto del programa europeo LIFE que busca impulsar un modelo de economía circular entre las depuradoras y las ciudades europeas mediante la demostración de una planta piloto "Power-To-Gas". Esta planta está basada en tecnologías de biometanación y producción alternativa de hidrógeno, para conseguir un incremento del biometano producido en depuradoras con un menor coste energético. El esquema tecnológico general se basa en la transformación y almacenamiento del 100% del carbono que entra a la planta, así como de energía renovable excedente, en gases renovables (Figura 1). El biometano producido se empleará para alimentar vehículos de la flota de transporte público de Barcelona, contribuyendo a un modelo de movilidad sostenible. LIFE NIMBUS contribuye de esta manera a cuatro objetivos esenciales del European Green Deal: Energía Limpia, Segura y Asequible; Conseguir la Neutralidad Climática; Movilidad Sostenible y Europa con Cero Contaminación (Figura 2).

Esta iniciativa se apoya en un modelo publico-privado en la que colaboran Cetaqua, como centro tecnológico para la prueba de la tecnología de biometanación; Labaqua como principal apoyo para el diseño de tecnología y la definición del modelo de negocio; la Universidad Autónoma de Barcelona con la prueba de una tecnología bioelectroquímica para la generación de hidrógeno; Aguas de Barcelona como operadora de la depuradora, y los Transportes Metropolitanos de Barcelona como operadora del sistema de transporte público y principal usuario final.

Proyectos como el LIFE NIMBUS dan un nuevo significado al vínculo entre la energía y el agua, abriendo oportunidades para que el sector del agua sea un productor más de energía limpia, plenamente integrado en la vida de las ciudades. En conjunto con los aspectos de desarrollo tecnológico, sin duda imprescindibles, la colaboración efectiva entre organizaciones públicas y privadas, así como el apoyo de las Administraciones es fundamental para implantar con éxito estos modelos innovadores y tan estratégicos para las ciudades europeas del futuro.

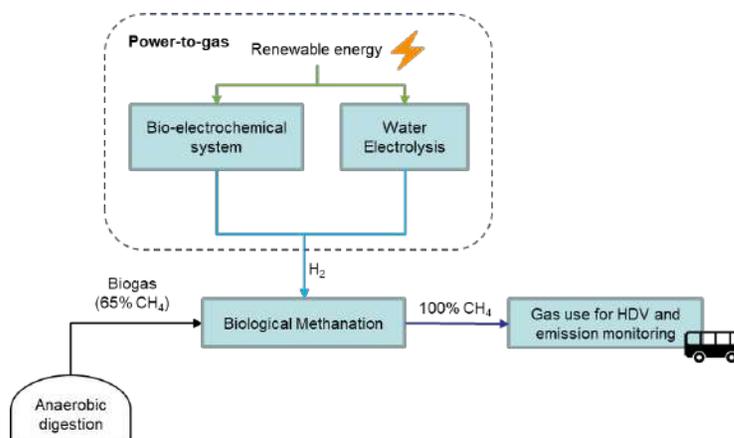


Figura 2. Esquema tecnológico general de LIFE NIMBUS

Proyecto LIFE LEACHLESS: Tecnología de tratamiento de bajo consumo energético para la valorización de lixiviados

Francisco Corona Encinas
Investigador del Área de Economía Circular
fraenc@cartif.es

Marta Gómez Rincón
Investigadora del Área de Economía Circular
margom@cartif.es

M^a Dolores Hidalgo Barrio
Directora del Área de Economía Circular
dolhid@cartif.es

Jesús M^a Martín Marroquín
Investigador del Área de Economía Circular
jesmar@cartif.es



El proyecto LIFE LEACHLESS propone un modelo de tratamiento sostenible y de bajo consumo energético de lixiviados procedentes de vertederos o plantas de tratamiento de residuos (un gran problema ambiental, debido a su composición y a su alta carga contaminante). El tratamiento que se lleva a cabo in situ utilizando una nueva y rentable tecnología que combina la evaporación/condensación solar y la ósmosis directa. El prototipo funciona mediante energías renovables (energía solar, biomasa y calor residual), lo que minimiza la huella de carbono del proceso.

Palabras clave

vertedero, lixiviado, tratamiento de residuos, evaporación/condensación solar, ósmosis directa

Debido al crecimiento económico e industrial que ha experimentado la Unión Europea (UE) en las últimas décadas, los recursos se han consumido a un ritmo muy acelerado. Dado que éstos no son infinitos, nos enfrentamos al riesgo de escasez. Por lo tanto, las autoridades europeas obligan a los Estados Miembros a aplicar políticas para disminuir la tensión creada en los recursos y la cantidad de residuos creados para extraer el valor de los mismos. Por otra parte, dicho aumento en el consumo de recursos ha provocado un crecimiento en la generación de residuos, por ejemplo, hoy en día en la UE, cada persona genera anualmente 5 t de residuos. Los residuos sólidos pueden eliminarse de varias maneras, como la incineración (con o sin recuperación de energía), la disposición en vertedero, el reciclaje y el compostaje. De hecho, en 2018, el 22,7% de los residuos de la UE se depositaron en vertederos y el 30,1% se reciclaron

(Eurostat, 2020). Según se puede observar en la Figura 1, los vertederos han sido la forma de eliminación de residuos sólidos más utilizada a lo largo de los últimos años. Aunque, de acuerdo con el cambio de paradigma por el que, cada vez en mayor medida, todos los países están redefiniendo sus procesos productivos con el objetivo de migrar de una Economía Lineal a un modelo de Economía Circular, el reciclaje ha aumentado de una manera considerable, todavía una importante cantidad de los residuos generados en la UE sigue siendo enviada a vertedero, especialmente en los países del Mediterráneo y de Europa del Este. Según el Ministerio para la Transición Ecológica (2018), en 2017 se generaron en España unas 22,0 Mt de residuos, de las que 11,3 Mt se enviaron a los 116 vertederos municipales que actualmente existen en España, lo que representa el 51,2% del total de residuos generados en el país. Una característica

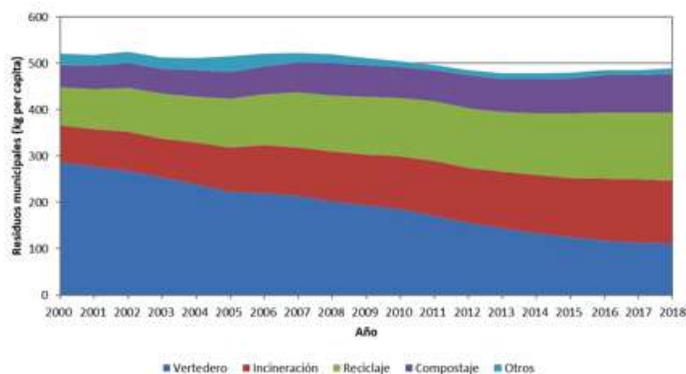


Figura 1. Generación y tratamiento de residuos municipales, UE-28 (Fuente: Eurostat, 2020)

que no conviene obviar y que tienen en común todos los países del Mediterráneo y de Europa del Este, además de alta cantidad de residuos que depositan en vertedero, es que son los países de Europa con más horas y mayor cantidad de radiación solar del continente.

Los vertederos presentan amenazas a largo plazo para el suelo, el aire, las aguas subterráneas y las aguas superficiales debido a la formación de gases de efecto invernadero (de la basura en descomposición) y lixiviados. El lixiviado es la fracción líquida de la humedad ya existente en los residuos sólidos y el líquido formado continuamente con los sólidos disueltos y suspendidos que se extraen de los residuos, mientras las lluvias se filtran a través de ellos. Los vertederos no sólo producen lixiviados durante su vida útil, sino que también continúan produciéndolos cincuenta años después de su cierre (Kurniawan et al., 2006). Aproximadamente, se generan 10 m³ de lixiviado por cada 115 t de residuos sólidos.

La composición de los lixiviados difiere geográficamente, incluso también dentro del mismo vertedero. La composición de los lixiviados se altera con el tiempo (de semanas a años) ya que los residuos del vertedero son biológicamente muy activos, y su composición varía con la precipitación y el contenido de humedad. La composición del lixiviado depende principalmente de factores como las características de los residuos, el contenido de

humedad, las condiciones climáticas, el grado de compactación y la edad del vertedero (Gómez et al., 2019). Por lo tanto, la composición del lixiviado no puede generalizarse y no se puede sugerir una opción de tratamiento única.

Aunque la composición de los lixiviados varía de una localización a otra, lo que tienen en común son los constituyentes peligrosos y sus posibles efectos ecotoxicológicos en el ser humano y en los ecosistemas terrestres, ya que afectan a la calidad actual y futura de las masas de agua debido a la infiltración incontrolada. Por lo tanto, el control y el tratamiento de los lixiviados son unos de los mayores problemas en el diseño y la gestión de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos y los vertederos.

Los tratamientos convencionales de los lixiviados procedentes de residuos sólidos se basan en procesos biológicos y métodos químicos y físicos. Aunque suelen ser adecuados para lixiviados jóvenes e intermedios, con el continuo endurecimiento y el envejecimiento de los vertederos, ya no son suficientes para alcanzar el nivel de purificación necesario en los lixiviados viejos de vertedero debido, principalmente, a su baja relación DBO₅/COD.

En los últimos años, se están empezando a aplicar tecnologías alternativas a los procesos convencionales, como los procesos de oxidación avanzada, para tratar los lixiviados poco biodegradables. El principal inconveniente de estos procesos es su elevado consumo de energía y reactivos, lo que supone, a su vez, un gran impacto ambiental y que, además, no consideran los principios de la Economía Circular en su diseño.

Con el objetivo de cumplir los requisitos de la Directiva de vertido de residuos 1999/31/CE y sus posteriores modificaciones (Directiva (UE) 2018/850), es esencial desarrollar y demostrar tecnologías y procedimientos innovadores para prevenir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos en el medio ambiente. La

Proyecto LIFE LEACHLESS: Tecnología de tratamiento de bajo consumo energético para la valorización de lixiviados

Directiva 1999/31/CE, también establece que la lixiviación total y el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deben ser insignificantes y no deben poner en peligro la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas.

El proyecto LIFE LEACHLESS nació con el objetivo de promover medidas de gestión de los recursos hídricos procedente de residuos sólidos en conformidad con la Directiva de vertido de residuos 1999/31/CE y la Directiva marco del agua 2000/60/CE, permitiendo a los gestores de vertederos y centros de tratamiento de residuos lograr un efluente final que cumpla con los requerimientos desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo para uso como agua de riego o limpieza.

La solución desarrollada en LIFE LEACHLESS consiste en una tecnología de referencia para el tratamiento integral de los lixiviados y la valorización de la fracción líquida (agua) y sólida (subproducto) en un entorno real amparada en los principales postulados de la Economía Circular. La tecnología LIFE LEACHLESS es capaz de recuperar el agua que contienen los lixiviados en base a un proceso medioambientalmente sostenible, de evaporación/condensación solar y ósmosis directa (OD), reduciendo el consumo energético y de recursos y evitando la generación de residuos, mediante la valorización de sus subproductos.

El prototipo de la planta está compuesto por tres contenedores marítimos de 40 ft de longitud (Figura 2). La primera etapa del proceso de tratamiento, la evaporación/condensación, se compone de una serie de captadores solares térmicos (paneles). Cada panel es un conjunto de varias láminas de vidrio templado para concentrar la radiación solar. Con esta estructura, el sistema puede alcanzar temperaturas por encima de los 100 °C, incluso en presencia de radiaciones solares débiles. El agua se evapora debido a la gran concentración de energía térmica, y el vapor posteriormente es obtenido en forma líquida mediante un condensador. Mientras tanto, los sólidos eliminados caen por gravedad en un depósito de sólidos. En caso de que no haya



Figura 2. Tecnología LIFE LEACHLESS

suficiente radiación solar, la tecnología solar se apoya en la energía producida por una caldera de combustión de biomasa.

Después de la etapa de evaporación/condensación, el efluente condensado atravesará las membranas OD. Se trata de unas membranas permeables donde se retienen los contaminantes procedentes del líquido, que la etapa de evaporación no ha conseguido eliminar. La tecnología de OD funciona creando una diferencia de presión osmótica entre dos lados de la membrana. Esta diferencia de presión es creada por una solución, llamada "draw solution", que tiene mayor presión osmótica que la solución del efluente a purificar. En este proyecto se utilizará como "draw solution", cloruro sódico, debido a su alta solubilidad y a la ausencia de riesgo de incrustaciones. Por lo tanto, el agua del efluente alimentado fluye a través de las membranas, diluyendo la "draw solution" y dejando los contaminantes retenidos en el lado de la alimentación. Un resumen general de todo el proceso se puede observar en la Figura 3.

Para cerrar el ciclo y evitar generar ningún residuo en el proceso, las fracciones semisólidas obtenidas en la primera etapa de evaporación/condensación, así como en el rechazo de la OD, se valorizarán como componentes en la formulación de productos cerámicos, debido a su interesante composición metálica.

Por último, el agua contenida en la "draw solution"

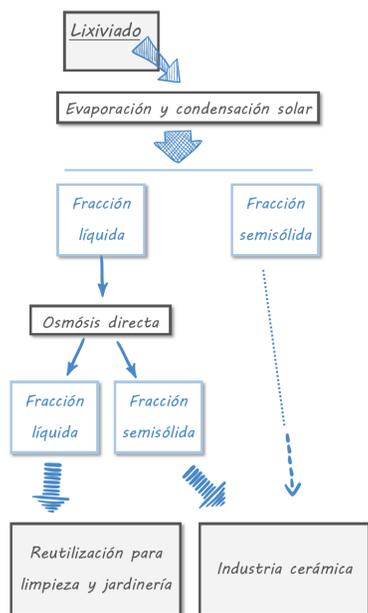


Figura 3. Diagrama del proceso

será separada del cloruro sódico mediante una nueva etapa de evaporación/condensación solar.

De esta manera, se obtendrá un efluente final que cumplirá con los requerimientos de la legislación para ser utilizado como agua de riego y la “draw solution” recuperada se volverá a introducir en el proceso.

La planta comenzará a operar en verano de 2020 en el Complejo Ambiental de Zonzamas (Lanzarote) y posteriormente en el vertedero de Ano-Liosia (Atenas), con el objetivo de demostrar la versatilidad de la tecnología a la hora de tratar lixiviados de diferente origen y con distintas características. La capacidad de tratamiento de la planta será de 8-9 m³/d de lixiviado tratado.

Según los resultados previos obtenidos (Figura 4), al comparar las composiciones del lixiviado y del efluente final, se puede observar que todas las concentraciones de los parámetros se han reducido considerablemente. Por ejemplo, la

concentración de Demanda Química de Oxígeno o DQO se ha reducido aproximadamente en un 99%, y se han obtenido concentraciones muy bajas de metales. Además, cabe destacar la reducción de la concentración de sodio (98%). Por tanto, queda patente que la tecnología LIFE LEACHLESS es una solución sostenible para tratar los lixiviados de los vertederos o centros de tratamiento de residuos.

Parámetro	Unidad	Lixiviado inicial	Efluente final	Valor límite
Nitrógeno amoniacal - NH ₄ ⁺ -N	mgN/L	1.023,5	3,6	< 5
Cloruro	mg/L	2.200	88,3	<100
Conductividad	mS/cm	17,77	0,64	<1
DBO ₅	mgO ₂ /L	>12.000	<20	<25
DQO	mgO ₂ /L	25.898,7	91,7	<125
Nitrógeno total	mg/L	1.436	<2	<2
pH		6,47	7,9	6,0-8,5
Sulfato - SO ₄ ²⁻	mg/L	143	<10	<10
Sólidos suspendidos totales	mg/L	4.175	<2	<2
Calcio	mg/L	848,39	---	
Magnesio	mg/L	114,79	0,05*	
Sodio	mg/L	790,15	10,9	<70
Potasio	mg/L	1.245,13	---	
Cinc	mg/L	3,87	0,008*	<0,5
Cobre	mg/L	1,33	0,096	<0,1
Cromo	mg/L	0,134	---	<0,1
Plomo	mg/L	0,04	0,005*	<0,05
Niquel	mg/L	0,207	---	<0,05
Cadmio	mg/L	0,017	---	<0,005

--- No detectado
*Por debajo del límite de cuantificación

Figura 4. Composición del efluente inicial y final y valores límite

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a este trabajo por parte del Programa LIFE bajo la responsabilidad de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea a través del acuerdo LIFE15 ENV/ES/000530 - Proyecto LIFE LEACHLESS.

Referencias:

- » Eurostat (2020). Municipal waste by waste management operations. Recuperado en julio de 2020 de: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en
- » Gómez, M., Corona, F., & Hidalgo, M. D. (2019). Variations in the properties of leachate according to landfill age. *Desalination and Water Treatment*, 159, 24-31.
- » Kurniawan, T. A., Lo, W. H., & Chan, G. Y. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of hazardous materials*, 129(1-3), 80-100.
- » Ministerio de Transición Ecológica (2018). Memoria anual de generación y gestión de residuos. Residuos de competencia municipal. 2017. Recuperado en junio de 2020 de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/memoriaanualdegeneracionygestionderesiduosresiduosdecompetenciamunicipal2017_tcm30-505953.pdf

An aerial photograph of a large industrial water treatment facility. The image shows several large rectangular basins, some with blue water and others with green water, surrounded by various buildings, pipes, and infrastructure. A winding road is visible on the left side. The image is partially obscured by a blue overlay on the left and a white wavy line at the bottom.

LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA Y LA INDUSTRIA



Economía circular en el sector cerámico

Palabras clave

Sector industrial,
cerámica

El paradigma del actual modelo productivo lineal podría estar llegando a su fin gracias al nuevo modelo de economía circular, que tiene como objetivo reducir, reutilizar y reciclar los recursos ecológicos implicados en el proceso industrial.

Este modelo circular se presenta como una estrategia muy atractiva para el sector industrial, ya que proporciona un doble beneficio: el medioambiental, reduciendo el consumo de los recursos, y el económico, más atractivo si cabe para las empresas, pues todo lo que conlleve reutilizar los recursos, alargando su vida útil, da como resultado un impacto positivo en su cuenta de resultados.

Dentro del amplio sector industrial, el sector cerámico concentra el 90% de su industria en la provincia de Castellón y trabaja con una alta demanda de recursos ecológicos. La provincia de Castellón, con numerosos núcleos urbanos y extensas superficies de regadío, es una de las zonas donde, históricamente, mayor uso se hace del agua subterránea. Debido a su clima mediterráneo semiárido, no puede contar con un gran aporte de agua por precipitación de lluvia y, debido al fenómeno de la salinización provocado por la cercanía del mar, se ha generado un descenso de los niveles piezométricos y una fuerte degradación de la calidad del agua tanto superficial como subterránea, siendo el gran afectado el acuífero de la plana. Todo ello contribuye en el enorme desequilibrio existente en el recurso hídrico. La industria cerámica puede presumir de ser pionera en aspectos energéticos, gracias a la cogeneración - proceso que aprovecha los gases para generar energía eléctrica-, la baja huella de carbono -por bajas emisiones, gestión óptima del transporte, cercanía de materia prima de calidad- y la reutilización de casi la totalidad de las mermas del proceso, así como sustitución y valorización de materias primas esenciales por subproductos derivados de otros procesos o sectores. En términos de economía circular y



Figura 1. Planta productiva especializada en procesamiento de materias primas y fabricación de pastas atomizadas gestionada por Euroarce en la localidad de Onda

desde un ámbito general, el sector cerámico necesita reflexionar sobre el desequilibrio existente en los recursos necesarios para la fabricación del azulejo. En lo que respecta a los recursos hídricos tiene aún mucho camino que recorrer hasta lograr reducir el consumo de agua, pese a que es capaz de asumir sus propias aguas residuales en sus propios procesos productivos, pero sigue sin desvincularse del consumo de agua fresca. Para ello debería analizar el alcance de sus objetivos medioambientales, replantear estrategias y ser más exigente con su modelo productivo actual.



Figura 2. Explotación de carbón a cielo abierto que la empresa Euroarce Minería gestiona en la localidad de Gargallo

Dentro de este sector, la empresa Euroarce destaca por su compromiso medioambiental, invirtiendo en procesos productivos eficientes que minimicen el consumo energético y de agua, así como de la reducción de emisiones y residuos. Para ello se basa en dos pilares fundamentales: la económica circular, y la inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, destacando su estrecha colaboración con Universidades y Centros Tecnológicos especializados. Con el objetivo de reducir la tensión hídrica, se trabajan en las siguientes líneas de investigación:

1. Reducción del consumo de agua: mediante la técnica de atomización vía seca, reduciendo el consumo de agua hasta un 70-80% en la atomización (proceso cerámico de mayor consumo hídrico). La contrapartida de esta nueva tecnología es la falta de adecuación industrial del sector, lo que afecta a la cogeneración y la calidad del producto.
2. Regeneración de la calidad de agua subterránea: a través del desarrollo de nuevas membranas cerámicas en el proceso de filtración para eliminar las impurezas del agua y aumentar su calidad.
3. Recuperación y valorización de efluentes de producción contaminados y aguas de proceso provenientes de sectores estratégicos como la cerámica, juguetes y plásticos, generando así una simbiosis entre diferentes sectores industriales.
4. Reutilización del efluente secundario de las EDAR: mediante la implementación de tratamientos avanzados de aguas, que permita suplir la demanda de agua del sector industrial cerámico y evita parte del vertido de las aguas tratadas a cauces o al mar.

Hoy en día, gracias a la modernización del regadío y la reutilización de las aguas residuales, se ha logrado reducir algo la tensión hídrica que sufre la región, pero aún queda mucho camino por recorrer. Afortunadamente, el cliente del siglo XXI es cada vez más consciente del impacto ecológico que tiene su consumo y exige un compromiso social y medioambiental, lo que nos obliga como empresas a producir de forma sostenible, sin olvidar que cuando lo mejor es posible, lo bueno no es suficiente.

José Sanz Guzmán
Responsable I+D+i Euroarce
josesanz@samca.com



Diseño de una red de distribución de agua regenerada para la adaptación al cambio climático del sector industrial cerámico

Alicia Andreu Gallego

Investigador senior área sostenibilidad de ITC

Alicia.andreu@itc.uji.es

Andreu Gallego

Instituto de tecnología cerámica (AICE-ITC)

S. Agudo López

Instituto de tecnología cerámica (AICE-ITC)

I. Tormos Fibla

Facsa

P. Torrent Gómez

Facsa

L. Chacón

Facsa

J. Sanz Guzman

Grupo SAMCA

D. Velilla

Estudio cerámico



El fomento de la reutilización de aguas regeneradas pasa no sólo por establecer tecnologías de tratamiento idóneas sino del desarrollo de modelos de uso eficientes y sostenibles. El artículo aborda como las depuradoras de la provincia de Castellón podrían abastecer la demanda de agua del sector industrial cerámico ayudando así a favorecer la continuidad de este sector industrial en la provincia. Además de contribuir a minimizar la presión sobre los recursos hídricos, siendo esta una zona con problemas de estrés hídrico, y a favorecer la resiliencia del territorio. En esa zona se produce el 94% de la producción nacional de baldosas cerámicas, cuya industria es altamente dependiente de los recursos hídricos locales (con un consumo de agua sobre 9 hm³ para los 510 millones de m² de baldosas producidas en 2019) y es una región altamente afectada por el cambio climático; por tanto, se requiere de soluciones para adaptar y mitigar los efectos del cambio climático.

Palabras clave

modelo circular de aguas, estrés hídrico y cambio climático, reutilización de agua en industria, evitar vertidos de aguas, asegurar la demanda de agua, adaptación de la industria cerámica al cambio climático

Introducción

Actualmente, hay planes de cuencas que incluyen en sus balances fuentes de agua alternativas con el fin de poder abastecer la demanda y de preservar la calidad de las masas de agua, como ocurre en la Confederación Hidrográfica del Júcar, donde se enmarca este estudio.

Una de estas fuentes alternativas puede ser la reutilización de efluentes en las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas (EDAR), mediante su regeneración con tratamientos

adicionales que adecúen la calidad del efluente a su uso final de forma segura y eficiente; diseñando un modelo de economía circular del agua.

El Instituto de Tecnología Cerámica (ITC-AICE), junto con FACSA, el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), Estudio Cerámico y la Sociedad Anónima Minero Catalana Aragonesa (SAMCA), ha puesto en marcha el proyecto de investigación REWACER financiado por la Agència Valenciana de la Innovació (AVI) de la Generalitat Valenciana; el proyecto tiene como objetivo fomentar la reutilización de aguas residuales y promover un

modelo de economía circular en la gestión del ciclo integral del agua para abastecer el principal sector industrial de la provincia de Castellón.

Antecedentes

El sector cerámico es la tercera industria que mayor superávit aporta a la balanza comercial española, con unas ventas en 2019 de 3.758 millones de euros . Este sector se caracteriza por su alta concentración geográfica en la provincia de Castellón (83%), en especial en el área delimitada por el sistema de explotación hídrica de la Plana de Castellón; con la producción del 94% del total nacional. Se estima un consumo de agua por dicha industria de 9,5 hm³/año en 2019, con tendencia a aumentar a medida que aumente la producción (5% en 2019). La provincia cuenta con más de 110 EDAR que tratan un volumen de agua de 52 hm³/año, de los cuales 48,39 hm³/año se vierten al mar; el porcentaje de reutilización en la provincia es sólo de un 3% para agricultura, pese a ser una región altamente dependiente de las aguas subterráneas (100% de abastecimiento para uso industrial y urbano) y con estrés hídrico. Se estima una reducción de las precipitaciones en un 12% en esta zona para el 2033, lo que hará peligrar el abastecimiento necesario para satisfacer dicha demanda.

En este marco, queda patente la necesidad de incluir fuentes alternativas de agua para abastecer la demanda de la provincia y asegurar el desarrollo económico de la zona, especialmente en la Plana de Castellón.

Objetivo y alcance

El objetivo principal del proyecto REWACER es cubrir la demanda hídrica del sector cerámico con agua regenerada procedente de EDAR mediante el diseño de una red de abastecimiento idónea en la provincia de Castellón. Fomentando así la reutilización en la provincia y adaptando el sector industrial cerámico al cambio climático. El presente artículo aborda el diseño de esta red de abastecimiento para suministrar agua al sector cerámico. A continuación, se detallan los principales aspectos abordados y los resultados obtenidos.

Metodología

Para poder diseñar la red idónea de abastecimiento al sector cerámico se han realizado dos exhaustivos análisis previos globales tanto de todo el sector cerámico como de todas las depuradoras; por un lado, se ha analizado la situación hídrica de las empresas cerámicas de la provincia (se ha determinado el consumo de agua de cada uno de los procesos cerámicos y el consumo de agua de cada una de las empresas) y por otro, un análisis de las EDAR susceptibles de incorporarse a dicha red, es decir teniendo en cuenta su ubicación (cercanía a las industrias cerámicas) y volumen de agua que producen.

Análisis hídrico del sector cerámico

Esquema de las etapas de producción cerámica	Etapas/proceso	Consumo de agua	Calidad de agua requerida
	Preparación de materias primas por vía húmeda	0,46 l/kg atomizado	Q2
	Preparación de fritas	0,5 – 3 l/kg de fritas	Q1
	Preparación de esmaltes	2,1 l/kg esmalte 1,7 l/m ²	Q1
	Limpieza de las líneas de esmaltado	4,95 l/m ²	Q1
	Tratamientos mecánicos (opcionales)	1,8 l/m ²	Q2

Tabla 1. Consumos de agua por proceso y calidad de agua requerida

Se han establecido volúmenes de consumos de agua por empresas y por procesos productivos, a partir de encuestas personalizadas a 81 de las empresas existentes en la provincia, identificando calidades de agua requeridas por cada proceso y estableciendo dos categorías de calidad (Q1 agua

Problemática en la reutilización: calidad del agua y su variación en el traslado y almacenamiento

regenerada y una Q2 sin regenerar), según los parámetros claves establecidos (conductividad, pH, y dureza del agua) para asegurar la calidad del producto final. La tabla 1 recoge los resultados.

Como resultado se ha obtenido una radiografía del sector que recoge el volumen total de demanda y el volumen y calidad de agua requerido por empresa; a partir del cual se ha seleccionado las empresas a ser incluidas en la red, en función de su volumen de demanda, calidad de agua requerida y ubicación. De las 81 empresas consideradas se han seleccionado 47 por cercanía a las EDAR y por calidad y volumen de agua que dichas empresas demandan.

Análisis de las EDAR

Se han recogido las fichas de las 117 depuradoras presentes en la provincia y se han seleccionado las que disponen de tratamiento un secundario intensificado; de éstas se ha realizado una selección en base a volumen de efluente que producen, homogeneidad del agua tratada (sin vertidos puntuales) y conductividad del efluente ($< 2.500 \mu\text{S}/\text{cm}$); quedando así unas 17 depuradoras y de éstas se han seleccionado aquellas más próximas a las industrias. Como resultado se han seleccionado para la red nueve depuradoras: L'Alcora, Sant Joan de Moró, Cabanes, Villafamés, la Vall d'Alba, la mancomunada de Onda-Betxi-Villarreal-Alquerías (OBVA), Almazora, Nules y Chilches

Resultados

Para el diseño de la red se han elegido 47 empresas y 9 depuradoras, esta red se ha dividido en cuatro zonas o cuatro subredes de abastecimiento A, B, C y D; cada una de ellas consta de distintas depuradoras y empresas. Para definir el suministro de agua a las empresas se ha tenido en cuenta el volumen de agua de rechazo generado tras la regeneración de las aguas residuales, dado que esto incrementa en dos el volumen de agua bruta requerida para abastecimiento por zona.

La zona A está constituida por las depuradoras de L'Alcora y San Joan de Moró y 10 empresas. El

volumen total de efluente secundario disponible es de $1.918,75 \text{ m}^3/\text{día}$ para abastecer una demanda total de $1.300 \text{ m}^3/\text{día}$ ($597,82 \text{ m}^3/\text{día}$ de Q1 y $702,1 \text{ m}^3/\text{día}$ de Q2). Esto supondría reducir el bombeo de agua subterránea de la zona en $474.500 \text{ m}^3/\text{año}$. La red de distribución tendría una longitud aproximada de 6 km. En esta zona existe una alta convergencia de industrias cerámicas y baja disponibilidad de efluente para abastecer a toda la demanda, así que se han seleccionado las empresas más cercanas a las depuradoras y de mayor demanda, de cara a garantizar la eficiencia y sostenibilidad de la red.



Figura 1. Diseño de la Red de distribución zona A



Figura 2. Diseño de la Red de distribución zona B

La zona B está formada por las depuradoras de OBVA y Almazora y 22 empresas. El volumen de efluente secundario disponible es de $19.816,48 \text{ m}^3/\text{día}$ para abastecer la demanda de $4.420,37 \text{ m}^3/\text{día}$ ($1.594,21 \text{ m}^3/\text{día}$ de Q1 y $2.826,16 \text{ m}^3/\text{día}$ de Q2). Esto supondría reducir el bombeo de agua subterránea en la zona de $1.613.435,05 \text{ m}^3/\text{año}$. La red de distribución tendría una longitud aproximada de 16 km. Esta zona tiene mayor volumen de efluente secundario disponible pero las industrias están algo más dispersas, por lo que se ha establecido un límite de distancia de 16 km y criterios de accesibilidad a las empresas, para garantizar el diseño de una red eficiente y sostenible.

La zona C está formada por las depuradoras de Nules y Chilches y 9 empresas. El volumen de un efluente secundario disponible es de 4.591,8 m³/día para abastecer la demanda de 3.103,37m³/día (433,9 m³/día de Q1 y 2.669,47 m³/día de Q2). Esto supondría reducir el bombeo de agua subterránea en la zona de 1.132.730,05 m³/año. La red de distribución tendría una longitud aproximada de 7 km. En esta zona se abastece al 100 % de las industrias existentes, quedando efluente sin reutilizar.

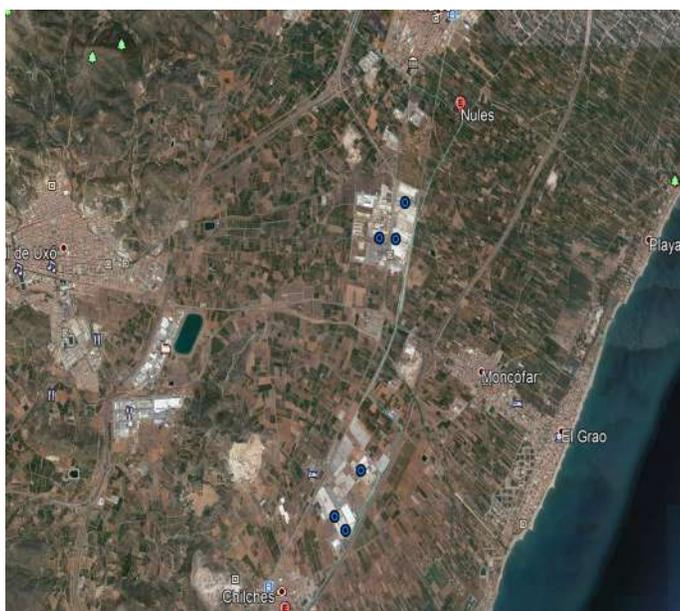


Figura 3. Diseño de la Red de distribución zona C

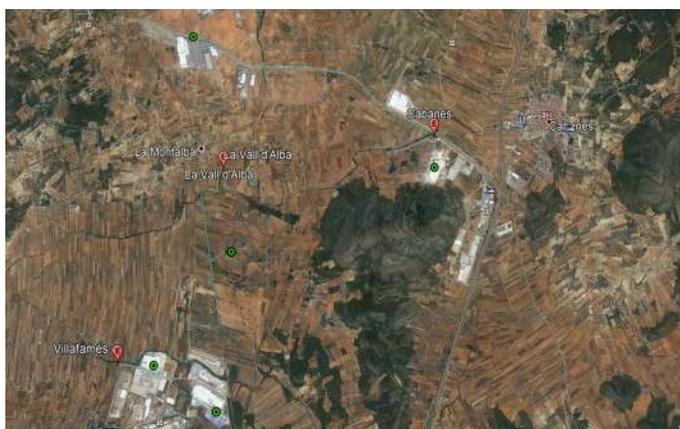


Figura 4. Diseño de la Red de distribución zona D

La zona D está constituida por las EDAR de Cabanes, Villafamés y Vall d'Alba y 6 empresas. El volumen de efluente secundario disponible es de 1.073,65 m³/día para abastecer una demanda de

879,48 m³/día (174,98 m³/día de Q1 y 704,5 m³/día de Q2). Esto supondría reducir el bombeo de agua subterránea en la zona de 321.010,2 m³/año. La red de distribución tendría una longitud aproximada de 3,7 km. En esta zona queda ajustado el efluente secundario disponible con la demanda.

Conclusiones

Según la red diseñada en el marco del proyecto REWACER para abastecer a 47 empresas de las 102 existentes en la provincia, se puede estimar una reducción de consumo de agua subterránea del orden de 9.703 m³/día, lo que supone al año más de 3,5 millones de m³, es decir reducir la explotación hídrica de la industria cerámica en un 43 %. Para este primer diseño de la red de suministro de agua regenerada se han establecido limitaciones por distancia, y se ha tenido en cuenta el posible crecimiento en la producción que puedan tener las empresas, de cara a garantizar el futuro de la red.

Estimando una media de consumo de agua de 16 l/m² en la producción cerámica, y teniendo en cuenta que en 2019 dicha producción fue de 510 millones de metros cuadrados de baldosas, lo que conllevó un consumo de agua de 8,16 millones de m³, este proyecto se traduciría en una producción de hasta 219 millones de m² de baldosas con aguas regeneradas. En general, según las subredes diseñadas, en todas ellas a excepción de la A, quedaría un margen de efluente secundario susceptible de ser utilizado en caso de un incremento de la producción cerámica. Para poder abastecer a toda la industria de la zona A, se deberían importar efluentes de otras depuradoras más alejadas; aspecto no contemplado en este estudio. La sustitución de parte del consumo de agua de pozo por aguas regeneradas del sector industrial cerámico supondría preservar el futuro de dicho sector en la provincia (al reducir la presión hídrica de la zona) siendo este sector industrial el principal motor de la provincia de Castellón. Además, esto supondría una recuperación y preservación de las masas de agua subterráneas. Todo esto conllevaría a que REWACER tenga un impacto económico y ambiental positivo en la zona.

Salir de la zona de confort:

Hacia un ecosistema de colaboración para impulsar la circularidad de la economía

Cuando la Comisión Europea adopta a finales de 2015 un ambicioso paquete de medidas sobre la economía circular, impulsando esta política dentro de la UE de forma decidida con el desarrollo de otras estrategias estatales y regionales, es cuando se pone de manifiesto la escasa presencia de un sector, el agua, en las implicaciones de la concepción de la economía circular, a pesar de la circularidad que implica el propio ciclo del agua.

Esto motivó la creación de un Comité Técnico sobre Agua y Economía Circular en el marco de Conama (www.conama.org) en el que expertos de todos los ámbitos se reúnen desde 2016, para impulsar al sector del agua dentro de la economía circular. Uno de sus primeros pasos fue definir un esquema de economía circular en el sector, con un doble fin.

Por un lado, hacer ver dentro del amplio sector del agua, que su contribución a la economía circular no sólo se circunscribe a la reutilización del agua, sino que todos los agentes que forman parte de la planificación y gestión del agua, desde su captación hasta su devolución al medio natural, tienen un papel y una responsabilidad en la economía

circular. Desde la planificación hidrológica, que en el ámbito del agua tiene un papel análogo al que el ecodiseño ejerce en los ciclos materiales dentro de la economía circular, pasando por las oportunidades de aprovechamiento del nexo agua-energía, del ciclo de nutrientes, los subproductos que pueden generar los lodos de potabilización y depuración, las necesidades de optimización, eficiencia y creación de sistemas más resilientes a fenómenos como el cambio climático, y por su puesto las distintas aplicaciones de la reutilización y también la desalación. Todo ello, sin olvidarnos un principio fundamental de una economía circular, la capacidad de restituir el capital natural, preservando, fundamentalmente en este caso, la calidad del estado de las masas de agua y los servicios ambientales que generan.

Era necesario crear este mapa, para que cada agente dentro del sector conozca su interdependencia con el resto de agentes, y compartir una visión integradora de cómo cada uno contribuye a hacer más circular el modelo económico, o productivo en cada caso.

Por otro lado, para dar una señal a los decisores y planificadores en materia de economía circular, que el ciclo del agua es una dimensión esencial a integrar en las estrategias y planes de la misma.

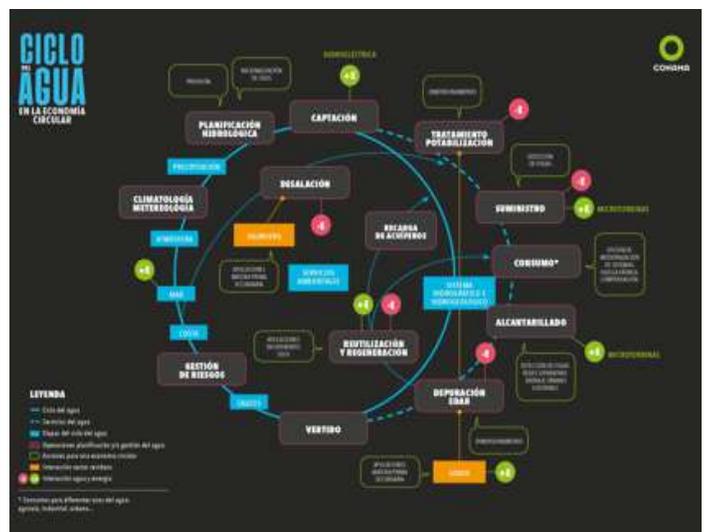


Imagen 1. Mapa conceptual del agua en la economía circular elaborado por el Comité Técnico de Agua y Economía Circular de Conama

Debemos recordar que el agua tiene una corresponsabilidad con la circularidad de otros sectores con los que interacciona, como la agricultura, la industria, el urbanismo o el turismo.

De hecho, llama la atención que, pese a tener más internalizada la circularidad que otros sectores, el agua no tiene el suficiente protagonismo en las estrategias, planes y programas y está pobremente representado en los esquemas conceptuales sobre economía circular.

En 2020, la nueva política europea ha centrado su base de acción en el nuevo Pacto Verde, bajo la cual ha aunado e interconectado las políticas climáticas, la economía circular, la agroalimentaria, la nueva estrategia industrial y la de biodiversidad. Esta interdependencia e integración de las políticas sectoriales es la nueva visión que debe extenderse, como práctica frente a la mera suma de políticas sectoriales y división de competencias.

El reto del sector agua no está sólo en ahondar en sus consabidos viejos problemas que aún debe resolver, como ha sucedido con la complicada negociación del reglamento europeo de reutilización, sino que por un lado debe actuar con mirada amplia e integrando a otros sector en las próximas revisiones de la directiva de depuración y de lodos, sino también personarse con una posición firme pero sinérgica en las políticas de economía circular a nivel estatal, con el desarrollo del futuro plan de acción de la estrategia de economía circular y resto de políticas de interés como toda la agenda climática, el próximo programa de trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, el programa operativo de la PAC, la futura estrategia



Presentación del Comité Técnico de Agua y Economía Circular de Conama

de biodiversidad, etc. y comprometerse a una política integradora.

Es necesario sacar al sector del agua de la zona de confort y generar un impulso del sector para interactuar con otras políticas y, a nivel de innovación y gestión, colaborar más estrechamente y cotidianamente con otros sectores para generar un ecosistema de colaboración sinérgica, que impulse la circularidad de la economía.

Afortunadamente, hay signos muy positivos desde la innovación, como se puede observar a lo largo de toda esta publicación, impulsada por la Plataforma Tecnológica Española del Agua, donde se vislumbra un gran número de agentes implicados y de esfuerzo planificado hacia la consecución del objetivo de esta publicación: fomentar la relación entre el sector y la economía circular, en varios frentes y facetas. Como se percibe claramente a lo largo de la publicación, la pluralidad es alta y, también, el esfuerzo colectivo. Todo ello, debe contribuir a caminar hacia un mejor posicionamiento, y una invitación a la participación y colaboración en los distintos grupos de trabajo ya existentes, que han sido presentados en buen número a lo largo de esta edición especial.

Palabras clave

Economía Circular, Pacto Verde Europeo, adaptación al cambio climático, resiliencia

Eduardo Perero Van Hove
Responsable de Agua y Economía Circular
Eduardo.perero@conama.org

CONAMA

Socios de la Plataforma Tecnológica Española del Agua



Socios Observadores



SECRETARÍA TÉCNICA

- Enrique Fernández Escalante (TRAGSA)
- ARIEMA Energía y Medioambiente S.L
- ✉ secretariatecnica@plataformaagua.org
- ☎ 91 804 53 72 / 91 241 95 31
- 🏠 Calle Montalbán, 3 - 5º Derecha 28014, Madrid, España

MÁS INFORMACIÓN

- 🌐 www.plataformaagua.org
- 🐦 @PlataformaAgua
- 🌐 www.linkedin.com/in/PTEA

Ventajas de ser socio de la PTEA



Papel nacional e internacional de la Plataforma

- 
 Participación en Grupos Interplataforma: Economía Circular, Ciudades Inteligentes y BigData e Inteligencia Artificial
- 
 Promoción en los eventos más importantes del sector
- 
 Movilización de fuentes de financiación pública y privada
- 
 Reducción de la fragmentación en las actividades de Investigación y Desarrollo
- 
 Efecto positivo sobre una amplia gama de políticas

Por qué hacerse socio

- Integración en la mayor red de I + D + i en agua de España
- Cartas de apoyo a proyectos
- Búsqueda de socios
- Ventajas especiales y descuentos para eventos organizados por la PTEA

Posicionamiento como agente del sector

- Participación en el Catálogo de socios
- Publicidad en la web PTEA
- Participación en los grupos de trabajo técnico

Estar al día de los avances del sector

- Boletín informativo de noticias y eventos
- Información sobre cursos, seminarios, jornadas, etc.
- Información sobre convocatorias nacionales e internacionales

www.plataformaagua.org

HAZTE SOCIO Y PARTICIPA EN LA PTEA

Impulso del sector nacional

- Apoyo al sector nacional
- Contacto con las Administraciones Públicas como referente del sector



Difusión de sus actividades

Fomento de sus casos de éxito. Ejemplo:

- Jornadas
- Eventos
- Ferias
- Revista IDiagua







Imágenes revista

Las imágenes han sido proporcionadas por los autores y editores, excepto:

Imagen portada publicada por Mauro Manca el 28 de marzo de 2018 en [energrendesign](#)

Imagen páginas 20-21 publicada por [wirestock](#)

Imagen páginas 48-49 publicada por [buscaraguasubterranea.com](#)

Imagen página 55 publicada por [wikipedia](#)

Imagen página 56 publicada por [Wikimedia Commons](#)

Imagen páginas 58-59 publicada por [Kireyonok_Yuliya](#)

Imagen páginas 68-69 publicada por [wirestock](#)



Revista sobre tendencias en I+D+i de la
Plataforma Tecnológica Española del Agua

