

# WATERREUSE: EL RETO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE PROCESO EN LA INDUSTRIA

PEDRO TRINIDAD, PEDRO MUÑOZ, JOSÉ AGUIRRE, MANUEL SUSARTE Y MIGUEL OCTAVIO. DESTILERÍAS MUÑOZ GÁLVEZ, S.A – MUGASA  
 LUÍS DUSSAC Y LUÍS MIGUEL AYUSO. CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE LA CONSERVA Y ALIMENTACIÓN - CTC



LOS PRONÓSTICOS DE CRECIMIENTO EN LA UE PARA 2030 MUESTRAN QUE, CONSIDERANDO EL CONSUMO DE AGUA EN LA AGRICULTURA, LA INDUSTRIA Y EL ÁMBITO DOMÉSTICO, EXISTIRÁ UNA BRECHA ENTRE LA DEMANDA Y LA OFERTA ENTORNO AL 40%. DICHA BRECHA TENDRÁ QUE SER RESUELTA A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS COMO LA REUTILIZACIÓN.

La mejora en la gestión de este recurso deberá tener su reflejo tanto en la disminución de la cantidad extraída como en el aumento del tratamiento de aguas residuales, avanzando hacia una mejora de la conexión entre mayor productividad, menor consumo y vertido de efluentes, y disminución de la contaminación.

Una opción para disminuir o evitar el impacto ambiental de las actividades industriales, aún cuando la industria continúe

creciendo, es a través de prácticas de producción más limpias y sostenibles.

Una producción limpia tiene muchas facetas, y uno de sus principales objetivos es avanzar hacia vertido cero, trabajando para convertir las corrientes residuales en insumos útiles para otros procesos. Para el caso del agua, esta filosofía se refleja en la Directiva 2000/60/CE, que establece un marco de acción comunitaria en este ámbito.

El proyecto WaterReuse, cofinanciado por el Programa LIFE+, propone un innovador sistema para mejorar la gestión eficiente del agua en el sector industrial. Será desarrollado por Destilerías Muñoz Gálvez, S.A., una PYME del sector químico, y validado en industrias alimentarias, en colaboración con el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación.

### **“ES NECESARIO AVANZAR HACIA UNA MEJOR CONEXIÓN ENTRE MAYOR PRODUCTIVIDAD Y MENOR CONSUMO Y VERTIDO DE EFLUENTES”**

Ambos sectores, químico y alimentario, son estratégicos en nuestro ámbito y se enfrentan a importantes retos económicos y medioambientales, estando sujetos a cada vez más estrictas normativas europeas de emisiones.

A pesar de que no existen datos precisos para determinar la cantidad de agua utilizada por la Industria Alimentaria, según el informe de la Confederación Europea de Industrias Agroalimentarias, el consumo puede oscilar entre un 8% y el 15% del total de la industria. Esto supone del 1% al 1,8% del agua consumida en Europa.

La Industria Química es clave para el desarrollo europeo. Debido a su fuerza de trabajo 1,19 millones de personas -, y a sus ventas - 539.000 millones EUR - según CEFIC, es uno de los mayores sectores industriales y una importante fuente de empleo en muchas regiones de la UE. Aunque hay grandes diferencias entre sus subsectores, los aspectos ambientales más relevantes que lo caracterizan son un elevado consumo de agua y energía, junto con la generación de aguas residuales.

Los datos facilitados por el Instituto Nacional de Estadística de España (INE), que se pueden extrapolar a nivel europeo, muestran que un 29,15% del agua utilizada en la producción pertenece al sector químico, que ocupa el primer lugar en el uso en la industria. Es cierto que presenta un alto retorno al medio de este recurso, en torno al 85%, pero un análisis adecuado desde la perspectiva medioambiental debe incluir también el consumo de energía que implica la extracción del agua.

En un contexto de desarrollo sostenible, un uso eficiente del agua está estrechamente relacionado con el uso eficiente de otros recursos como la energía. Según la Alianza Mundial Watergy, entre el 2 y el 3% del consumo mundial de energía se utiliza en el bombeo y tratamiento del agua de uso urbano e industrial. La reducción de la extracción de agua a escala europea es un reto que debe abordarse con el fin de avanzar hacia un uso eficiente de la energía. La reutilización de agua de proceso puede ser parte de la solución.

#### **Residuos con carga orgánica**

La directiva europea sobre emisiones industriales, que establece los umbrales de contaminantes para la industria, recoge el balance de la demanda de oxígeno como un elemento de influencia desfavorable. Los umbrales permitidos con respecto a DQO - Demanda Química de Oxígeno - y TSS - Sólidos

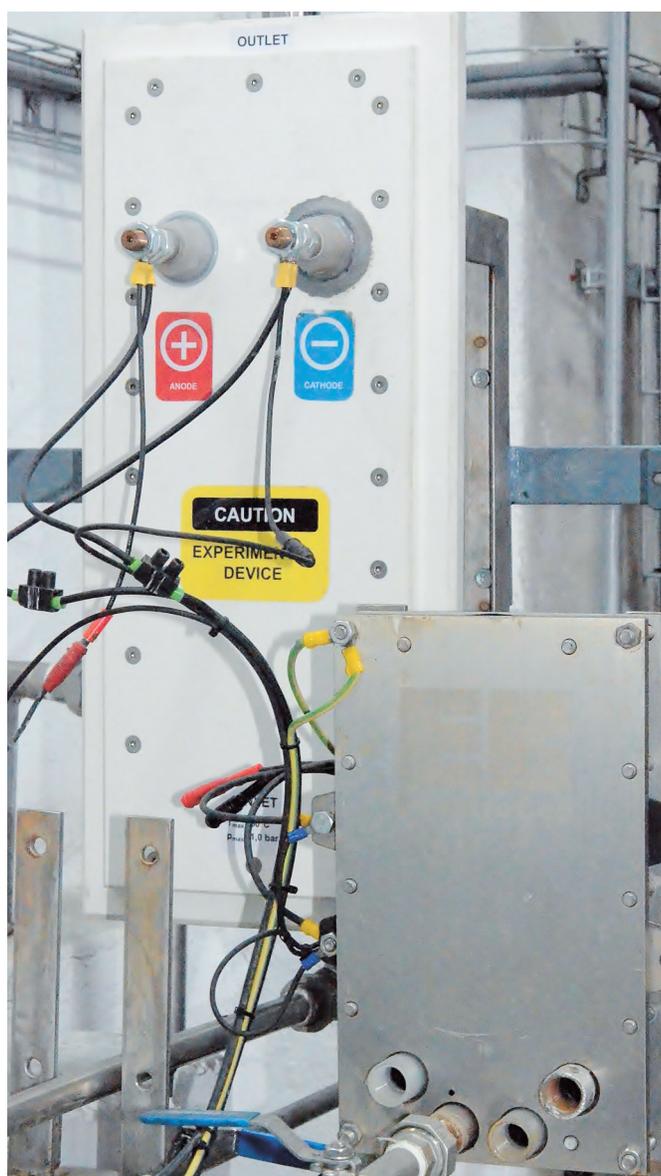


Suspendidos Totales - dependen del tipo de industria. En muchos casos la descarga de agua con estos contaminantes se produce a una depuradora, regulándose a nivel municipal y/o regional los límites de las emisiones.

### **“EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE, UN USO EFICIENTE DEL AGUA ESTÁ ESTRECHAMENTE RELACIONADO CON EL USO EFICIENTE DE OTROS RECURSOS COMO LA ENERGÍA”**

Los datos de Eurostat, E-PRTR, EPER y CEFIC, aunque con diferentes segmentaciones, y limitaciones debido a confidencialidad de algunos datos, muestran que la Industria Química Europea es una fuente importante de vertido de DQO al medio ambiente, apreciándose a la vez una significativa reducción de las emisiones de forma continuadas llegando a reducciones del 37% en DQO vertida en un periodo de 5 años.

Estos residuos son habitualmente tratados en EDAR biológica, un tratamiento estándar para el agua industrial y urbana. A



pesar de los esfuerzos llevados a cabo para extender esta tecnología en el abordaje de residuos orgánicos, los resultados son mejorables, existiendo también margen para la optimización de su consumo de energía y de los productos químicos utilizados. La presencia de DQO refractaria puede producir, en casos extremos, daño a la flora biológica y llegar a la inhibición del tratamiento biológico.

**“A PESAR DE LOS ESFUERZOS LLEVADOS A CABO PARA EXTENDER EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EDAR EN EL ABORDAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE ORIGEN INDUSTRIAL, LOS RESULTADOS SON MEJORABLES”**

Además de los tratamientos biológicos, existe una amplia gama de otras técnicas consideradas como las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), BAT en el acrónimo inglés, reconocidas y recomendadas por la Comisión Europea y entre las que se encuentran las tecnologías empleadas en WaterReuse.

### Solución propuesta

WaterReuse intenta avanzar hacia una solución que aborde estos retos, haciendo uso de las MTD. Se pretende validar una innovadora combinación de tecnologías con notable mejora de la energía consumida.

El proyecto tiene como objetivo testar y difundir un sistema que permitirá la reutilización de hasta un 95% del agua de proceso en la industria, considerando las diferentes reglamentaciones relativas a la calidad del agua y las especificaciones para su reutilización. Además de buscar la mayor eficacia, se pretende realizarlo con la máxima eficiencia.

Para ello será diseñado un sistema de gestión de efluentes con el fin de caracterizarlos, aplicando posteriormente una combinación optimizada de tres tecnologías de reducción de carga orgánica: filtración con membranas, fotoquímica y electro-oxidación.

**“EL PROYECTO TIENE COMO OBJETIVO TESTAR Y DIFUNDIR UN SISTEMA QUE PERMITIRÁ LA REUTILIZACIÓN DE HASTA UN 95% DEL AGUA DE PROCESO EN LA INDUSTRIA”**

El tratamiento debe ser energéticamente eficiente, de forma que se determine hasta que extensión es eficaz cada una de dichas tecnologías e integrar la gestión energética con la generación de energía eléctrica a través de paneles solares.

La gestión de la información se realizará sobre modelos que permitan el cálculo y la minimización de la Huella de Carbono, cuya reducción se conseguirá generando energía renovable con paneles solares que disminuyen el consumo de energía primaria de la red eléctrica y mediante el tratamiento fotoquímico, por utilizarse directamente luz solar, evitando el uso de otras energías. Además, en comparación con la EDAR biológica, se elimina la emisión de CO<sub>2</sub> procedente de la respiración celular de los sistemas aerobios.

Los efluentes serán sometidos inicialmente a una filtración con membranas, que eliminarán los sólidos en suspensión así como aquellas moléculas disueltas de mayor tamaño. Se espera una eficacia de prácticamente el 100% para los sólidos totales suspendidos e igualmente elevado para sustancias coloidales.

Tras la filtración, el agua será tratada en reactores fotoquímicos. Por medio de luz solar el catalizador se activa produciendo radicales oxidantes que reaccionan con la materia orgánica disuelta, mineralizándola. Este sistema tiene muy bajo coste operativo.

Por último, la electro-oxidación actúa sobre la materia orgánica que no ha podido ser tratada con las técnicas anteriores, igualmente mineralizándola. El sistema es capaz de reducir la DQO hasta valores muy bajos, desde cifras inferiores a los parámetros habituales de vertido hasta su completa eliminación, a costa de un mayor consumo de energía.

Para lograr la mayor eficiencia energética posible, es necesario optimizar la contribución al tratamiento de cada una de las tecnologías, buscando el punto óptimo.

La aplicación en serie de estas tecnologías o la aplicación selectiva de sólo alguna de ellas, así como el nivel de contaminación máxima para pasar a la siguiente fase, vendrá determinada por un sistema de gestión que tiene como base un modelo matemático para el proceso global, con optimización en función de variables técnicas, legales, medio ambientales y económicas.

La eficacia en la reducción de la carga orgánica ya ha sido ensayada en efluentes reales a escala de laboratorio usando las tres tecnologías, demostrándose como su combinación logra tratar cualquiera de los efluentes tratados. Se han conseguido reducir DQO muy altas, del orden de 200.000 ppm, obteniendo valores finales muy bajos, que permiten la reutilización del agua.

**“LA EFICACIA EN LA REDUCCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA CON EL SISTEMA WATERREUSE YA HA SIDO VALIDADA A ESCALA DE LABORATORIO CON EFLUENTES REALES”**

En dichos ensayos con métodos electroquímicos, se ha logrado un patrón similar al mostrado en la gráfica adjunta. Se aprecia como inicialmente la reducción es lineal respecto del tiempo y, por lo tanto independiente de la concentración de efluente; sin embargo a lo largo de la electrólisis, tras la reducción de la DQO en solución, la cinética de reacción cambia hacia orden uno, disminuyendo por lo tanto la velocidad de la misma así como la eliminación de la carga orgánica.

El consumo eléctrico es proporcional a la cantidad de carga orgánica eliminada, penalizándose con un incremento cuando se intentan lograr concentraciones finales muy bajas. Es importante considerar que, aparte del consumo debido propiamente a la cantidad de carga eléctrica necesaria para llevar a cabo la oxidación, también influyen la conductividad del electrolito y su efecto sobre el voltaje de la celda, de forma que pese a que no afecta a la eficacia, el sistema mejora en efluentes con altas conductividades al disminuir la resistencia del electrolito al paso de la corriente eléctrica y por tanto el voltaje necesario.

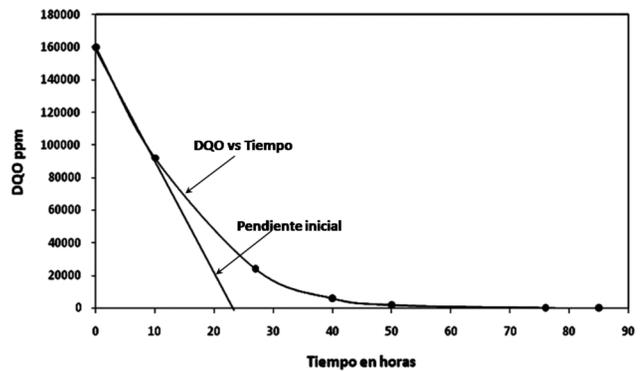
**Ventajas y limitaciones de Waterreuse**

La tecnología de WaterReuse pretende ser una alternativa al tratamiento aerobio industrial. A continuación se exponen las ventajas del sistema en comparación con el tratamiento biológico industrial clásico:

**Posibilidad de transferencia de tecnología**

El sistema es transferible a otras industrias que producen efluentes con carga orgánica, en especial en las que dicha carga orgánica es refractaria a los tratamientos aerobios y particularmente: *Sector de aceitunas de mesa y encurtidos.*

Salmueras residuales con muy altos valores de conductividad (50.000 – 95.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), contenido medio en sólidos en sus-



Gráfica1: Reducción de DQO mediante oxidación electroquímica bajo control galvanostático a escala laboratorio

pensión (1.000-3.000 mg/L), elevada DQO (> 20.000 mg/L) y pH s ácidos (4.5 – 5.5) y presencia de fenoles que dificultan su depuración biológica. El tratamiento eliminará totalmente los sólidos en suspensión con el uso de la filtración con membranas y la DQO con el tratamiento electroquímico. La presencia de alta salinidad favorecerá el tratamiento electroquímico para eliminar la DQO sin embargo no se producirá reducción de la salinidad.

*Sector de envasado de frutas y verduras.*

Altos caudales de aguas residuales, con salinidad media (1.000 y 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), carga contaminante orgánica relativamente elevada (1.500 a 9.000 mg/L de DQO) y sólidos en suspensión y pH's muy variables. El tratamiento será en general aplicable por reducción de sólidos en suspensión, DQO y eliminación de microbiología. Aplicable a efluentes complejos de etapas puntuales del proceso de elaboración. La desventaja es que no afecta al contenido salino.

**“EL SISTEMA OFRECE CLARAS VENTAJAS FRENTE AL TRATAMIENTO AEROBIO Y TIENE AMPLIAS POSIBILIDADES DE TRANSFERENCIA AL SECTOR DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

*Sector lácteos.*

Elevados caudales con alto contenido salino, demanda química de oxígeno (DQO) de hasta 70.000 mg/L, elevado contenido en proteínas, pH's ligeramente ácidos y contenido en sólidos en suspensión elevados y variables. El tratamiento eliminará totalmente los sólidos en suspensión con el uso de la filtración con membranas y la DQO con el tratamiento. La presencia de alta salinidad favorecerá el tratamiento electroquímico. Permite un alto reciclaje del agua.

*Sector golosinas:*

Caudales medios con un contenido salino relativamente bajo (< de 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), elevados contenidos en DQO (> 30.000 mg/L) y azúcares. Sólidos en suspensión variables pero puntualmente muy elevados (> 10.000 mg/L) y pH's ligeramente ácidos (6-7). El tratamiento eliminará totalmente los sólidos en suspensión con el uso de la filtración con membranas y la DQO con el tratamiento electroquímico.

Variable en el efluente	WaterReuse	Tratamiento aerobio
Altas DQOs	Puede tratar DQOs muy altas	Limitado a DQO medias y bajas, no acepta valores altos
Toxicidad para microorganismos	Insensible a la toxicidad	Sensible a la toxicidad, pudiendo llevar a la muerte de las bacterias y fin del tratamiento
Cambios de caudal y composición	No afectan al sistema	Influyen negativamente pudiendo llevar a la inhibición del tratamiento
Formación de lodos/fangos	Mínimos: sólo el rechazo de filtración. Fotoquímico y electro-oxidación no generan	Cantidades muy importantes
Espacio ocupado	Mayoritariamente los tanques con efluente. Membranas y electro-oxidación muy poco espacio,	Grandes tanques de digestión con tiempos de residencia de hasta semanas especialmente para sustancias refractarias. Tanques de sedimentación grandes
Automatización / trabajo manual	Automatizable, casi sin trabajo manual	Automatizable pero necesita trabajo manual, especialmente en la zona de fangos
Consumo energético	Minimizado por la generación eléctrica con paneles solares y uso de fotoquímica	Altos, principalmente en equipos de aireación
Ampliaciones	Muy modular y sencilla, no necesita obras	Necesita obra civil y superficies importantes
Puesta en Marcha y Parada	Instantáneas “apretar un botón”	Largos tiempos (semanas-meses) de crecimiento y adaptación de la flora bacteriana. Si para y muere la flora hay que empezar de cero.
Capacidad reutilización del agua	Muy alta, especialmente en DQO, y contenido bacteriano	Necesita de tratamiento terciario
Calidad Microbiológica del agua tratada	Virtualmente exenta de bacterias por destrucción oxidativa	Necesita de tratamiento terciario para cumplir
Huella de Carbono	No hay emisión de CO2 procedente de respiración celular. Energía usada procedente en parte de paneles solares	Aumenta huella de Carbono por el uso de energía eléctrica para aireación y emisión directa de CO2 procedente de respiración celular

## Bibliografía

- Managing Water under Uncertainty and Risk. World Water Assessment Programme. UNESCO 2012.
- Towards efficient use of water resources in Europe. European Environment Agency. 2012.
- Oportunidades de mejora de la gestión ambiental en la industria alimentaria española. Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas – FIAB -, 2008.
- Facts and Figures 2012. The European chemical industry in a worldwide perspective. CEFIC European Chemical Industry Council.
- High Level Group on the Competitiveness of the European Chemicals Industry, Final Report. European Commission, Enterprise and Industry Directorate-General, 2009.
- Estadísticas e indicadores del agua. Boletín Informático del Instituto Nacional de Estadística (INE).
- Confederation of the Food and Drink Industries in the EU (CIAA). 2007, Annual report.
- Facts and figures 2012. The European chemicals industry in a worldwide perspective. CEFIC.
- Watery. Agua y Energía: aprovechando las oportunidades de eficiencia de agua y energía. Alliance to Save Energy, 2003.
- European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR). <http://prtr.ec.europa.eu>
- Best Available Techniques Reference Document (BREFs). <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- D. Pletcher and F. C. Walsh. Industrial Electrochemistry, 2nd ed., Chapman & Hall, London, (1990).
- F. C. Walsh. A First Course in Electrochemical Engineering, The Electrochemical Consultancy, Romsey (1993).
- K. Juttner, U. Galla, H. Schmieder, Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry, Electrochimica Acta 45, 2575 – 2594, (2000).
- P. Cañizares, J. García-Gómez, J. Lobato y M. A. Rodrigo, El tratamiento electroquímico en la depuración de efluentes industriales líquidos como alternativa a tratamientos convencionales, Ingeniería Química, Septiembre 188-207, (2004).
- Membrane technologies for water applications, Directorate-General for Research, Environmental technologies, Publications Office of the European Union, 2010.
- H. Márquez Lona, F. Tiscareño Lechuga. La foto-oxidación en el tratamiento de aguas residuales, Ingeniería Química, Junio, 101-108, (1999).