CONAMA 2026

Solución electroquímica para el tratamiento avanzado del agua y la eliminación de microcontaminantes

Experiencia de transferencia tecnológica de investigación de alto impacto en la Universidad de Barcelona

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: María Fernanda Murrieta Chagollán, Directora General, Electraqua Tech S.L.-Universidad de Barcelona

Otros Autores: Birame Boye, Director de Operaciones, Electraqua Tech S.L.

Ignacio Sirés Sadornil, Catedrático de la Universidad de Barcelona/Asesor Científico en Electraqua Tech S.L.

Índice

1. Introducción 1

1.1. La problemática de los microcontaminantes orgánicos en el ciclo del agua 1

1.2. Nuevo marco regulatorio, Directiva (UE) 2024/3019 2

2. Caso de transferencia tecnológica de impacto de la Universidad de Barcelona a la creación de Electraqua Tech S.L. 2

3. Solución tecnológica desarrollada. 3

4. Resultados de validación técnica. 5

5. Conclusiones. 7

6. Bibliografía 8

7. Agradecimientos. 8

1. Introducción

1.1. La problemática de los microcontaminantes orgánicos en el ciclo del agua

En los últimos años, la **disponibilidad de agua** se ha visto fuertemente afectada por diversos factores, entre ellos, el uso desmesurado de los recursos hídricos naturales, los efectos del cambio climático y la contaminación. Uno de los principales retos a nivel mundial ha sido la presencia de agentes tóxicos presentes en cuerpos naturales de agua, ocasionada por el **vertido no regulado de aguas residuales** que no fueron tratadas de forma adecuada y se han puesto en contacto con el ambiente. El más reciente informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente, con datos de 19 Estados miembros de la Unión Europea, muestra el estado de las masas de aguas superficiales en Europa, demostrando que únicamente el 37% se encuentran actualmente en buen estado ecológico y el 29% se encuentran en buen estado químico [1].

La presencia de **microcontaminantes orgánicos**, especialmente compuestos farmacéuticos, en los sistemas acuáticos se ha convertido en un problema creciente a nivel global. Estos contaminantes, liberados principalmente a través de aguas residuales urbanas e industriales, son difíciles de detectar y eliminar, generando una contaminación persistente incluso en bajas concentraciones. Entre los compuestos más relevantes se encuentran **antibióticos, analgésicos, antidepresivos y hormonas**, cuya presencia en el ambiente acuático ha sido asociada a impactos significativos en la salud humana y los ecosistemas. En particular, la liberación de antibióticos contribuye al desarrollo de **resistencia antimicrobiana**, considerada una de las principales amenazas para la salud pública a nivel mundial, causando alrededor de 33.000 muertes al año [2]. La principal fuente de estos contaminantes son las **aguas residuales**, tanto urbanas como industriales. Se estima que una gran parte de estas aguas se vierte al medio sin un tratamiento adecuado, lo que favorece la acumulación de microcontaminantes en ríos y acuíferos. Este problema es especialmente relevante en zonas con alta concentración de actividad farmacéutica y en grandes zonas urbanas, donde los efluentes contienen mayores cargas de compuestos activos. A pesar de los avances en tratamiento de aguas, las **tecnologías convencionales** presentan importantes **limitaciones**. Los sistemas biológicos, ampliamente implantados en más del 85% de las estaciones depuradoras en Europa, muestran una baja eficacia frente a compuestos persistentes, con tasas de **eliminación inferiores al 30%** [3] Por otro lado, tecnologías como la adsorción con carbón activo o la ozonización presentan limitaciones adicionales, como la generación de **residuos sólidos contaminados** o la formación de **subproductos tóxicos** (bromatos, nitrosaminas), así como elevados costes operativos y energéticos. Este escenario se ve agravado por un contexto regulatorio cada vez más exigente [4].

1.2. Nuevo marco regulatorio, Directiva (UE) 2024/3019.

Ante este escenario, la Unión Europea ha implementado requisitos más estrictos de calidad de vertido mediante la aprobación de la Directiva (UE) 2024/3019 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Esta normativa introduce la obligatoriedad de implantar tratamientos cuaternarios destinados a eliminar un amplio espectro de microcontaminantes (exigiendo rendimientos mínimos del 80%) y establece esquemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) que repercuten directamente en los sectores farmacéutico y cosmético. En España, donde se concentran alrededor de 174 instalaciones productoras de compuestos farmacéuticos, con especial relevancia en Cataluña, existe una necesidad urgente de incorporar soluciones tecnológicas modulares, libres de reactivos peligrosos y capaces de integrarse en las líneas de depuración existentes. Esta necesidad representa una oportunidad clara para soluciones innovadoras que permitan garantizar el cumplimiento normativo y avanzar hacia una gestión más sostenible del agua.

2. Caso de transferencia tecnológica de impacto de la Universidad de Barcelona a la creación de Electraqua Tech S.L.

La creación de Electraqua Tech S.L. surge de una sólida trayectoria de investigación en tecnologías electroquímicas para aplicaciones ambientales en el Laboratorio de Electroquímica de Materiales y del Medio Ambiente (LEMMA) de la Universidad de Barcelona. La madurez de la tecnología y el primer modelo de negocio se han consolidado gracias a financiación pública de diversos proyectos, incluyendo convocatorias enfocadas a la valorización y transferencia tecnológica:

- Proyecto: ‘Escalado de un sistema electroquímico para descontaminación o desinfección simultánea de agua’. Convocatoria ‘Convocatoria Fondo para el Impulso de la Innovación (F21) 2020’.
- Proyecto: ‘Nuevo reactor electroquímico para el tratamiento en continuo de aguas residuales: Caracterización de indicadores cuantitativos’. Convocatoria ‘Industria del Conocimiento 2021 (modalidad Producto)’.
- Proyecto: ‘In-situ green synthesis of hydrogen peroxide using a novel electrochemical reactor to upgrade the productivity of advanced wastewater treatment systems’. Convocatoria ‘Prueba de Concepto 2023 de Barcelona Deep Tech Node’.
- Proyecto: ‘Plan de negocio de un nuevo Reactor Electroquímico para la Regeneración de Aguas Residuales y la Síntesis de desinfectantes’. Convocatoria ‘INNOVADORS 2023’.

- Proyecto: ‘MENTAQUA’. Convocatoria ‘Mentor in Residence’.

Con el objetivo de trasladar este conocimiento a un entorno industrial y generar un impacto ambiental, en noviembre de 2024 se constituye formalmente Electraqua Tech S.L., spin-off

participada de la Universidad de Barcelona. Durante su primer año de actividad tras la constitución, la compañía centró sus esfuerzos en asegurar la viabilidad económica y la validación comercial asegurando financiación pública y privada:

- Proyecto: 'Plan de desarrollo industrial y comercialización de sistemas de oxidación electroquímica avanzada de microcontaminantes basados en la tecnología ELECTRAQUA'. Convocatoria 'NEOTEC 2025'.
- Proyecto: 'Investigación industrial del sistema electroquímico ELECTRAQUA para el tratamiento avanzado de contaminantes orgánicos persistentes en aguas residuales multisectoriales'. Convocatoria 'Ayudas Torres Quevedo 2024'.
- Proyecto: 'Diseño y optimización de un nuevo sistema industrial para el tratamiento electroquímico avanzado de efluentes de la industria farmacéutica e introducción del producto comercial en el mercado'. Convocatoria 'Ayudas Torres Quevedo 2024'.

Asimismo, la empresa ha firmado un primer acuerdo de colaboración con una empresa farmacéutica ubicada en Cataluña para realizar pruebas de validación en entornos reales mediante un estudio de viabilidad, así como la oportunidad de realizar un primer piloto a escala industrial en sus instalaciones. Recientemente, la spin-off fue aceptada para participar en el programa de aceleración CAJAMAR INNOVA AGUA 2026, con el objetivo de optimizar su modelo de negocio, realizar validaciones en entornos reales, y definir su estrategia de desarrollo de producto y plan de comercialización.

3. Solución tecnológica desarrollada.

Electraqua ha desarrollado una tecnología innovadora basada en un **reactor electroquímico** diseñado para la eliminación de **contaminantes emergentes**, especialmente compuestos farmacéuticos presentes en aguas residuales industriales. La solución se fundamenta en la **generación in situ de peróxido de hidrógeno** (H_2O_2) a partir de aire y electricidad, sin necesidad de añadir reactivos químicos externos. Este peróxido de hidrógeno es posteriormente activado dentro del propio sistema para generar especies altamente oxidantes, capaces de degradar completamente los contaminantes orgánicos presentes en el agua. A diferencia de otros procesos de oxidación, la tecnología desarrollada permite la **mineralización de los contaminantes**, evitando la acumulación de subproductos intermedios con mayor toxicidad. El elemento principal de la tecnología es un reactor electroquímico equipado con un electrodo de difusión de gas, el más eficiente para la producción de H_2O_2. Este diseño permite operar en continuo y con mayor capacidad volumétrica (comparada con otras celdas electroquímicas), reduciendo los tiempos de tratamiento y mejorando la eficiencia global del proceso. Además, el sistema se plantea como una solución **modular, descentralizada, autónoma y fácilmente integrable** en plantas de tratamiento existentes, especialmente como etapa posterior a tratamientos secundarios o terciarios, sin requerir modificaciones significativas en la infraestructura.

La principal innovación de la tecnología radica en el concepto de generación in-situ de oxidantes, así como en el diseño innovador del reactor electroquímico que supone ventajas competitivas frente a las soluciones actuales en el mercado. La Tabla 1 presenta las principales necesidades identificadas de las soluciones existentes y la necesidad tecnológica que justifica el desarrollo de la tecnología propuesta. Un ejemplo es el uso de ozono, con limitaciones asociadas a la formación de subproductos tóxicos como bromatos y nitrosaminas, además de requerir sistemas complejos, el suministro de oxígeno de alta pureza y sistemas para la eliminación del ozono residual. Por otro lado, el uso de carbón activo actúa como un proceso de separación, es decir, no degrada los contaminantes, generando residuos sólidos que requieren un proceso de regeneración costosa e intensa en términos de energía, además de la gestión de residuos sólidos altamente contaminados.

Frente a estas alternativas, la tecnología desarrollada por Electraqua presenta ciertas **ventajas**:

1) Eliminación completa de los contaminantes, no sólo los separa.
2) Ausencia de subproductos tóxicos, el peróxido residual se descompone naturalmente en agua y oxígeno.
3) Generación in-situ de oxidantes, eliminando riesgos y costos logísticos y de almacenamiento.
4) Aumento en la eficiencia del reactor, gracias al uso de electrodos de difusión de gas que optimizan la transferencia de masa y con ello la generación de H_2O_2.

Tabla 1. Necesidades tecnológicas identificadas

Aplicación	Situación actual	Limitaciones	Necesidad
Desinfección del agua de proceso	Implementación de sistemas de cloración química y electroquímica, uso de H_2O_2 químico, ozono	Químicas, riesgos de transporte y manejo de químicos, limitaciones de la cadena de suministros, subproductos (organoclorados, THMs, cloraminas, HAAs), zonas muertas en recipiente y en tubería; perdida eficiencia, O_3 residual, consumo energético	Pasar a tecnología avanzada sin químicos añadidos, Tecnología para disminuir la dependencia de proveedores externos, que no genere subproductos tóxicos
Tratamientos convencionales en EDAR	Baja eliminación de compuestos farmacéuticos (< 30%)	- Baja eliminación de microcontaminantes - Vertido al ambiente de las aguas residuales - Tecnologías inadecuadas ante futuras normativas	Tecnología con mayor eficiencia en eliminación de microcontaminnates (>90%) que garantice cumplir con normativas futuras (Directiva UE 2024/3019)

Tecnologías de adsorción	El carbón activo es una de las tecnologías empleadas actualmente como tratamiento terciario	- Eficiencias limitadas por las propiedades de los contaminantes - Producción de lodos - Necesidad de sistemas de recuperación de CA - Costes de regeneración del CA - Costes de gestión de residuos	Proceso electroquímico sin la generación de residuos ni la implementación de etapas de recuperación de sólidos
Procesos de oxidación avanzada	Aplicación de ozono como alternativa al corto plazo para la eliminación de microcontaminantes	- Generación de subproductos (nitrosaminas, bromatos) - Requiere oxígeno puro y sistemas de gestión del O_3 residual - Oxidante selectivo	Sistemas de generación de otros radicales menos selectivos (•OH) con mayor capacidad de mineralización, sin formación de subproductos tóxicos
Compra y aplicación de H_2O_2	Empleado en procesos tipo Fenton o UV/H_2O_2 para la generación de radicales •OH	- Compra y almacenamiento de H_2O_2 - Generación de lodos - Baja estabilidad del reactivo - Necesidades regulatorias y de seguridad en la manipulación	Generación in situ mediante sistema electroquímico eliminando riesgos de logística y costes adicionales
Escalado de tecnologías electroquímicas	Estudios a escala laboratorio y piloto	- Baja capacidad volumétrica - Modo de operación en recirculación - Dimensiones de GDEs < 100 cm^2 - Pocas configuraciones para uso industrial	Desarrollo de reactores modulares con GDEs de mayor capacidad volumétrica
Normativa y mercado	La directiva UE 2024/3019 establece el tratamiento cuaternario como obligatorio	Tecnologías convencionales no garantizan cumplimiento de normativas,	Soluciones alineadas con el nuevo marco regulatorio europeo, lista para su integración al mercado como un producto innovador y sostenible

4. Resultados de validación técnica.

El desarrollo experimental ha permitido escalar el reactor electroquímico a escala de laboratorio y con capacidad de 0,5 L hasta un prototipo pre-piloto de 1,5 L capaz de operar en modo continuo. El sistema de mayor capacidad integra la celda electroquímica con electrodo de difusión de gas, el circuito hidráulico de bombeo, un compresor de aire y la fuente de alimentación regulada.

Los primeros ensayos de validación se han realizado en entornos controlados y con diferentes matrices acuosas, incluyendo, medios sintéticos que simulan las condiciones equivalentes a las salidas de tratamientos terciarios de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), así

como condiciones similares a efluentes industriales generados en una empresa del sector farmacéutico. Asimismo, se han realizado los primeros ensayos de eliminación de contaminantes en medios reales, empleando efluentes de una EDAR y del sector farmacéutico.

Producción de H_2O_2.

Se obtuvo una generación estable de concentraciones de H_2O_2 de hasta 10 mM (equivalentes a 350 mg/L), operando a densidades de corriente moderadas en un medio simulado. La concentración obtenida supera los valores de H_2O_2 necesario para llevar a cabo el proceso de tratamiento y eliminación de los contaminantes de forma eficiente. Dichos resultados, mostrados en la Figura 1, demuestran la capacidad de generación de H_2O_2 del reactor electroquímico en condiciones similares a un entorno real, constituyendo una evidencia de su gran potencial para su aplicación en la eliminación de contaminantes.

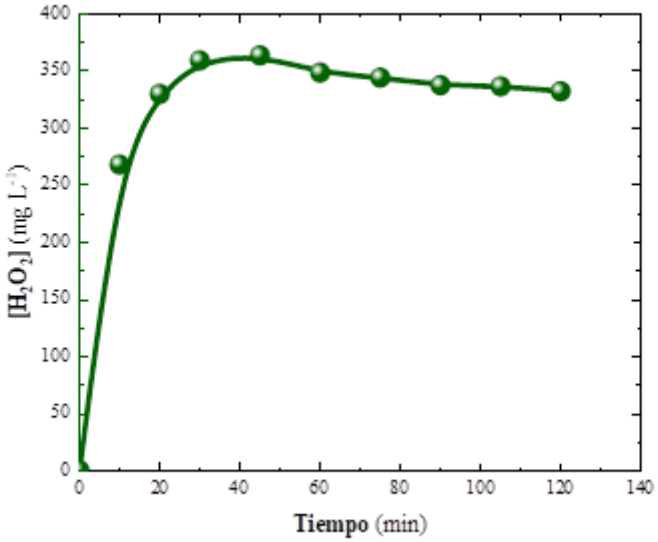


Figura 1. Perfil de concentración de H_2O_2 generado in-situ empleando el reactor electroquímico desarrollado operando en modo continuo en un medio simulado.
Fuente: Electraqua Tech S.L.

Eliminación de compuestos farmacéuticos.

En una primera fase experimental se llevaron a cabo ensayos en un medio simulado, evaluando a la eficiencia de degradación de dos compuestos farmacéuticos modelos suministrados por una empresa del sector. El tratamiento se llevó a cabo mediante un proceso tipo electro-Fenton operando en modo continuo sin recirculación.

Durante estas pruebas se alcanzaron rendimientos de eliminación superiores al 80 %, Figura 2, resultados que pueden mejorarse mediante la optimización de los tiempos de residencia y de la densidad de corriente aplicada.

Estos resultados evidencian la robustez y versatilidad del reactor para degradar eficientemente moléculas de distinta naturaleza química en matrices complejas. Adicionalmente, el hecho de operar sin la adición de reactivos químicos externos minimiza los riesgos logísticos y refuerza el enfoque ambiental sostenible del proceso, además de confirmar su potencial para dar cumplimiento a futuros requerimientos enfocados a este tipo de contaminación y a la economía circular del agua.

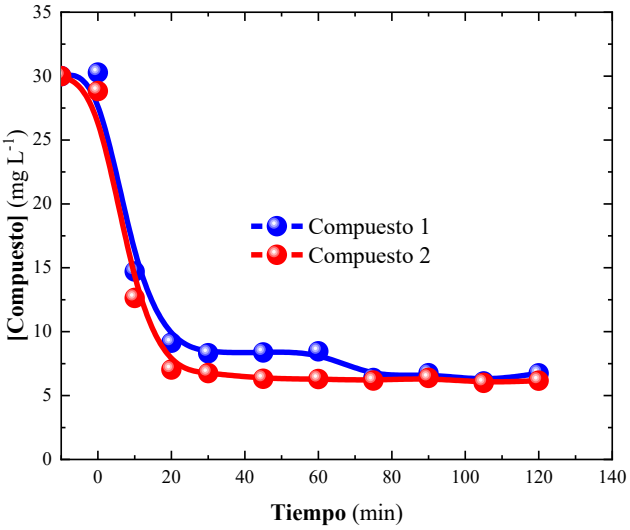


Figura 2. Perfil de concentración de dos moléculas modelo durante el tratamiento mediante el proceso Electro-fenton empleando el reactor electroquímico desarrollado operando en modo continuo un medio simulado.
Fuente: Electraqua Tech S.L.

5. Conclusiones.

El desarrollo del reactor electroquímico modular equipado con electrodos de difusión de gas ha mostrado una viabilidad técnica para la generación in-situ de peróxido de hidrógeno H_2O_2 a partir de aire y electricidad, alcanzando concentraciones estables de hasta 10 mM (350 mg L^{-1}) en régimen continuo y suprimiendo los riesgos logísticos y de almacenamiento asociados a los reactivos químicos comerciales. Los ensayos de validación a escala pre-piloto (TRL 5–6) empleando medios simulados y reales dan evidencia de la eficacia del proceso electro-Fenton, logrando rendimientos de eliminación de compuestos farmacéuticos modelos superiores al 80 % en un tiempo de respuesta rápido (estado estacionario a los 30 minutos), confirmando la capacidad del sistema en la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes. La tecnología desarrollada se posiciona como una solución competitiva y sostenible frente a los tratamientos cuaternarios empleados actualmente, superando las limitaciones presentadas por el carbón activo y de la ozonización, al mineralizar los contaminantes sin generar residuos secundarios peligrosos ni subproductos sólidos tóxicos. El sistema desarrollado ofrece una alternativa alineada con

las exigencias del nuevo marco normativo europeo, concretamente la Directiva (UE) 2024/3019 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas, facilitando su integración modular y descentralizada como etapa de afino en plantas industriales y EDAR.

El recorrido de Electraqua Tech S.L. representa un caso de transferencia de conocimiento desde la investigación científica de excelencia desarrollada en el LEMMA de la Universidad de Barcelona hacia su aplicación industrial, y busca consolidarse mediante financiación competitiva y colaboraciones estratégicas como un motor clave para la circularidad y la conservación de los recursos hídricos.

6. Bibliografía

[1] Europe's state of water 2024: the need for improved water resilience, EEA report.

[2] European Centre for Disease Prevention and Control. An agency for European Union.

[3] Adhikari, S., Lee, H. H. y Kim, D.H. (2024). 'Primary' antibiotics in wastewater treatment plants. *iScience*, 27(9), 110789.

[4] Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L. F., Abegglen, C., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M. y Barry, D. A. (2013). Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? The Science of the Total Environment, 461-462, 480-498.

7. Agradecimientos.

Este trabajo ha sido financiado por El Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI) a través del Programa Neotec (SNEO2025-1452), y por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/Agencia Estatal de Investigación (MICIU/10.13039501100011033) mediante dos ayudas Torres Quevedo (PTQ2024-013974 y PTQ2024-013987).

CONAMA 2026