



www.lifecleanup.eu

Layman report



LIFE16 ENV/ES/000169





ÍNDICE

	Página
01. Introducción y antecedentes del proyecto.	03
02. ¿En qué consiste life clean up?	04
2.1 El problema.	04
2.2 Objetivo.	05
2.3 Descripción de la solución metodológica.	06
2.4 Tecnologías empleadas.	07
03. Principales acciones y resultados.	09
04. Sostenibilidad y replicabilidad del proyecto.	12
05. Difusión del proyecto.	13

PROYECTO LIFE CLEAN UP

Proyecto LIFE
Número LIFE16 ENV/ES/000169.



01

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES DEL PROYECTO



Presupuesto total
1.492.412€



Asociados
Instituciones

Este documento se presenta como resumen de las principales actividades desarrolladas dentro del proyecto LIFE CLEAN UP (con número de proyecto LIFE16 ENV/ES/000169).

Este proyecto se inició durante el segundo semestre de 2017, en el mes de octubre, finalizó en septiembre de 2020 y se prorrogó hasta junio de 2022 tras cumplir los objetivos que se perseguían, poniendo el conocimiento científico al servicio del medio ambiente.

LIFE CLEAN UP es el resultado de una estrecha colaboración entre la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM, de España), como coordinadora, la Universidad de Bari Aldo Moro (UNIBARI, de Italia), el Consiglio Nazionale delle Ricerche (Instituto de Procesos Físicos y Químicos de Italia, CNR-IPCF), el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación (CTNC, en España) y las empresas privadas HIDROGEO, HIDROTEC y REGENERA (todas ellas españolas).

El presupuesto total del proyecto ascendió a 1.492.512 euros; de los cuales casi el 60 % (895.506 euros) fue cofinanciado por la Unión Europea a través del Programa LIFE como proyecto de proximidad al mercado.

02

¿EN QUÉ CONSISTE LIFE CLEAN UP?



LIFE CLEAN UP surgió con el objetivo de mejorar la gestión de la depuración de las aguas residuales utilizando una tecnología eficaz y respetuosa con el medio ambiente que permita obtener un agua tratada libre de contaminantes emergentes.

2.1 EL PROBLEMA

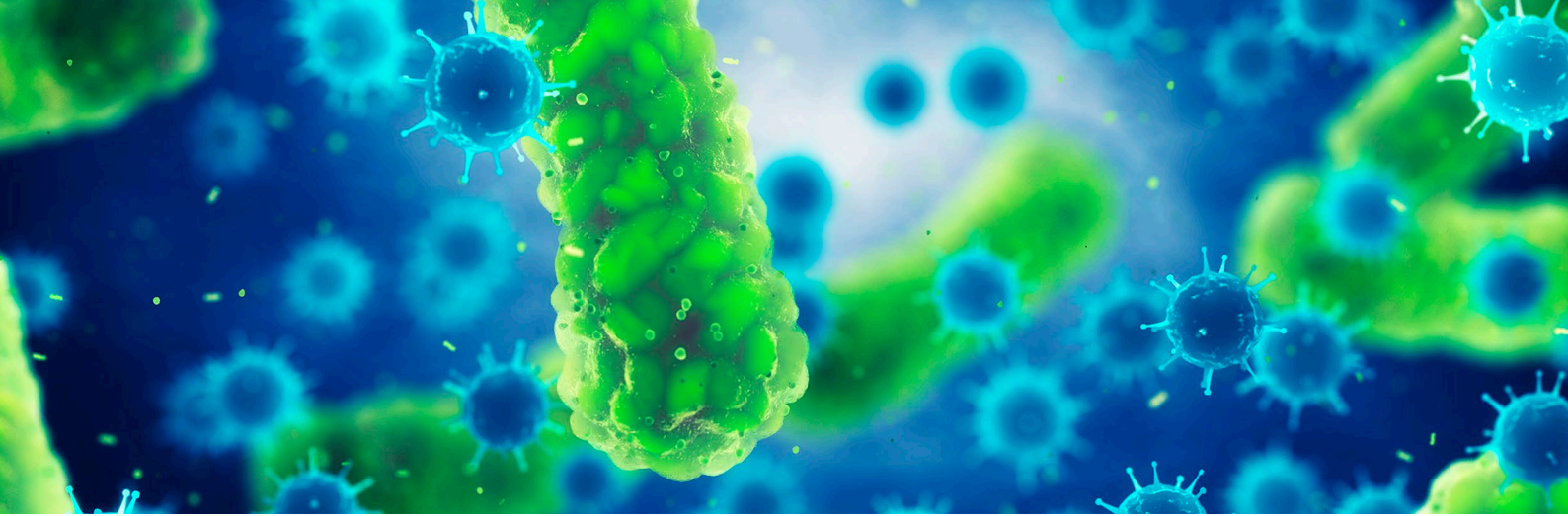
El suministro de agua es esencial para la subsistencia humana, el desarrollo socioeconómico y la salud de los ecosistemas, especialmente en las zonas áridas o semiáridas, donde la escasez de agua exige una gestión adecuada de los recursos hídricos. Esta se ha convertido en uno de los principales riesgos para el desarrollo sostenible en muchas zonas del mundo. Así, en un escenario en el que el estrés hídrico y el cambio climático son cada vez más acusados, la reutilización del agua se presenta como una alternativa fiable a los recursos hídricos convencionales. Sin embargo, para garantizar una reutilización segura del agua, se necesita un marco legal que garantice la seguridad, así como un nivel alto de protección tanto del medio ambiente como de la salud humana y animal. A tal efecto, el Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, establece los requisitos mínimos de calidad y control del agua para su reutilización como agua de riego agrícola, en el contexto de la gestión integrada del agua. En este reglamento, además de los indicadores de calidad microbiológica (*E. coli*, *C. perfringens*, esporas y colifagos), se consideran las sustancias de preocupación

emergente (metales pesados, plaguicidas, subproductos de la desinfección, productos farmacéuticos, etc.) como requisitos adicionales en la evaluación de riesgos para la salud humana.

Es el caso de los contaminantes emergentes (CE), que proceden principalmente de la industria, del uso doméstico (productos farmacéuticos, cosméticos, de limpieza, etc.) y de la agricultura, y cuya contaminación del agua plantea riesgos medioambientales importantes.

Eliminar estos contaminantes supone un problema porque los métodos de depuración convencionales no consiguen extraer estos compuestos por completo y los métodos avanzados de tratamiento del agua son inviables por su elevado coste.

Por tanto, la escasa capacidad de las tecnologías convencionales en la eliminación de estos CE, unida a las crecientes políticas de restricciones legales al vertido de efluentes y a la reutilización de las aguas regeneradas, así como la concienciación medioambiental, plantean un reto que precisa de respuestas tecnológicas eficaces y medioambientalmente sostenibles.



2.2 OBJETIVO

Ante la problemática expuesta, el objetivo principal del proyecto LIFE CLEAN UP es la validación de un sistema de eliminación de CE y microorganismos patógenos, que no se eliminan adecuadamente utilizando los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. Para esta propuesta se empleó una combinación de tecnologías entre las que se incluyen técnicas de filtración, adsorción y procesos de oxidación avanzada (POA).

En concreto, **los objetivos** específicos planteados eran:

01

Optimizar la capacidad de adsorción de los materiales utilizados para las diferentes familias de CE.

02

Adaptar la metodología para el desarrollo de polímeros y biomateriales para el escalado industrial.

03

Validar, económica y medioambientalmente, la tecnología de los POA aplicados, como el pulso de luz, la fotocatalisis y los fotosensibilizadores.

04

Validar y probar un prototipo que integre las tecnologías propuestas (la retención mediante materiales adsorbentes y la destrucción mediante POA) a escala semiindustrial en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

05

Validar el proceso comparando los resultados obtenidos en la planta con los obtenidos en laboratorio.

06

Probar el uso de energías renovables para la implantación del sistema a escala industrial.

07

Facilitar la reproducción a escala industrial mediante estudios de viabilidad y análisis de costes y beneficios.

08

Habilitar la transferencia del sistema de depuración a otros sectores industriales.

09

Concienciar sobre las causas y consecuencias de los contaminantes emergentes y sobre las opciones disponibles para minimizar su aparición.

10

Desarrollar un producto comercial para lanzar al mercado una vez finalizado el proyecto.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN METODOLÓGICA

Se ha empleado una combinación de tecnologías para eliminar los CE del efluente de las EDAR. La figura 1 muestra el esquema experimental de la planta piloto. El sistema cuenta con una primera etapa de pretratamiento basada en la micro y ultrafiltración [1], que asegura la calidad microbiológica del agua y prolonga la vida útil de los polímeros basados en ciclodextrina (CD), material eficiente para adsorber

una gran cantidad de CE [2] y que puede ser reutilizado. En la salida, el agua se somete a un POA por fotocatalisis (FC) [3] para degradar los contaminantes que no se hayan extraído. El producto de desorción cargado de CE se acumula en un tanque de rechazo para ser tratado posteriormente mediante un sistema de luz pulsada [4] que destruye los contaminantes desorbidos.

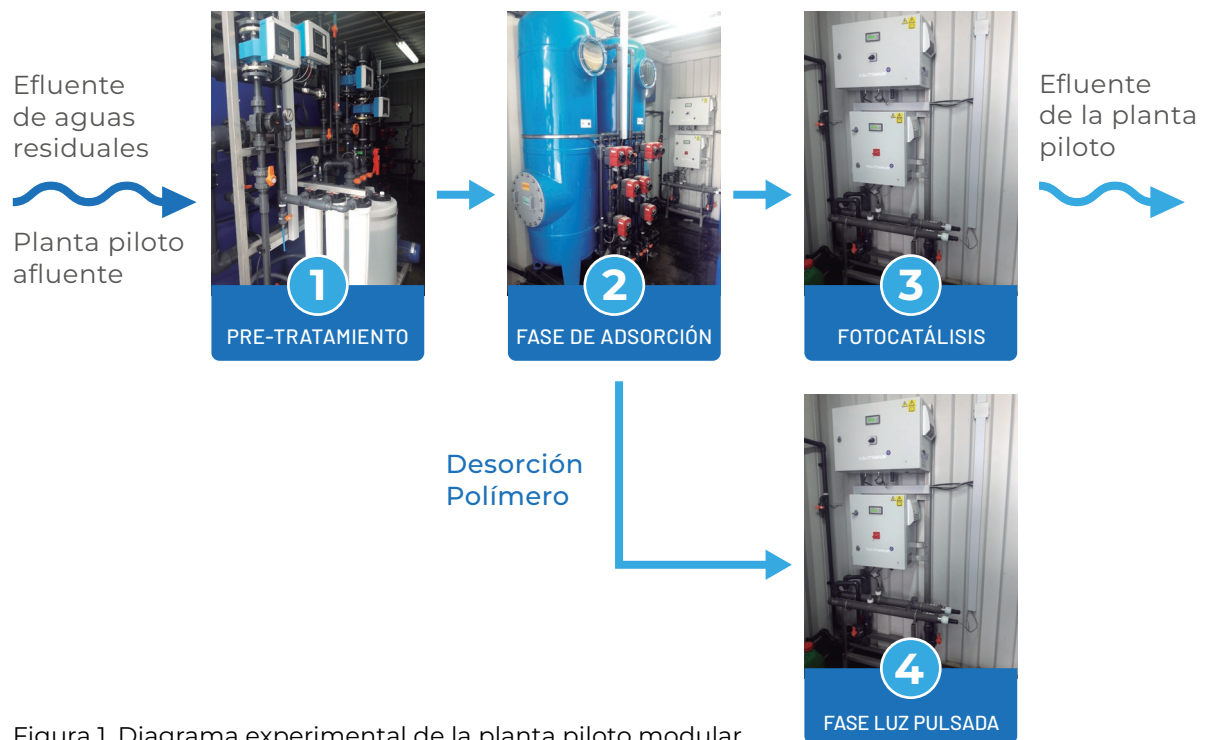
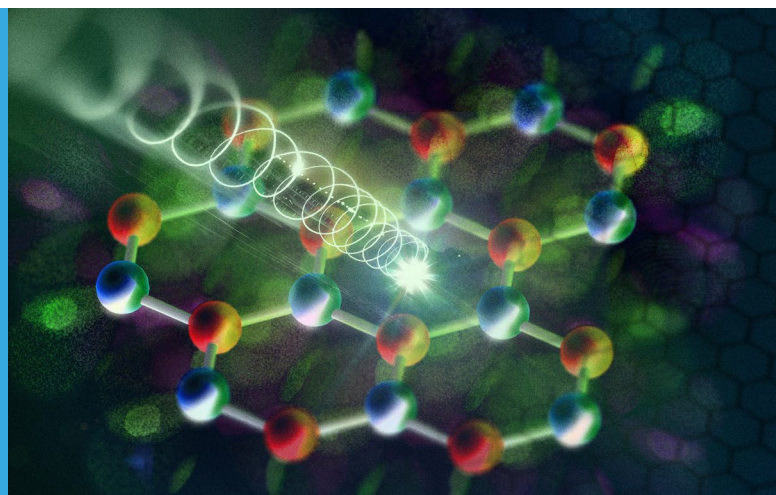
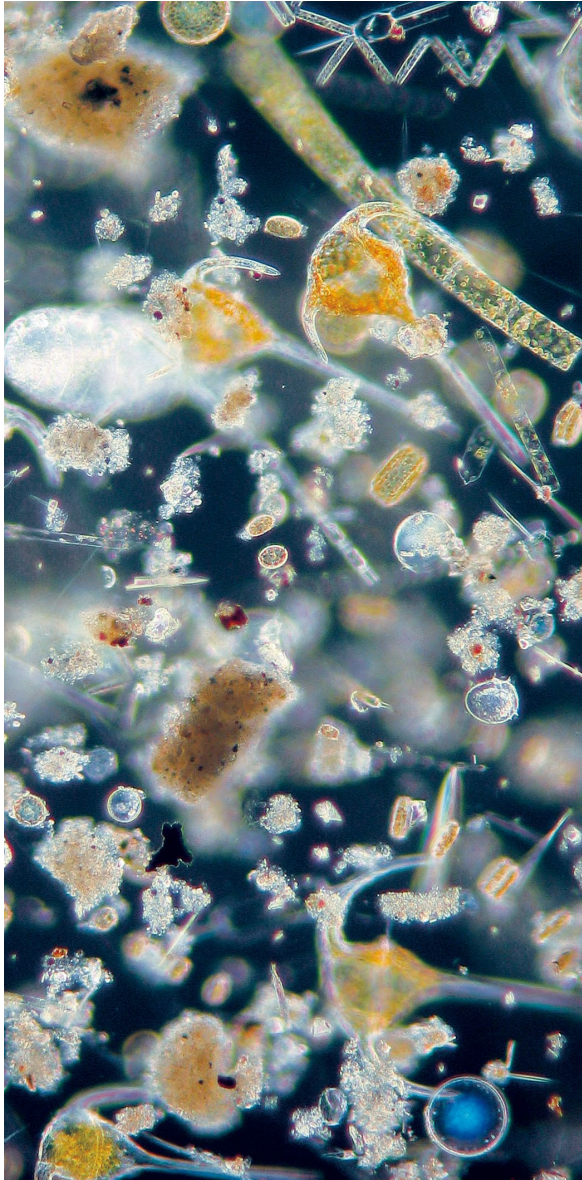


Figura 1. Diagrama experimental de la planta piloto modular.

Gracias a este proyecto, se ha construido y probado un prototipo cuya unidad contiene material adsorbente en su interior (que será reutilizable) y está conectada a dos lámparas de fotocatalisis para degradar los contaminantes restantes y a un equipo de luz pulsada que elimina los CE atrapados en la cavidad interna de los polímeros basados en ciclodextrina una vez que se regenera.





2.4 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

01. Pretratamiento - Filtración por fases

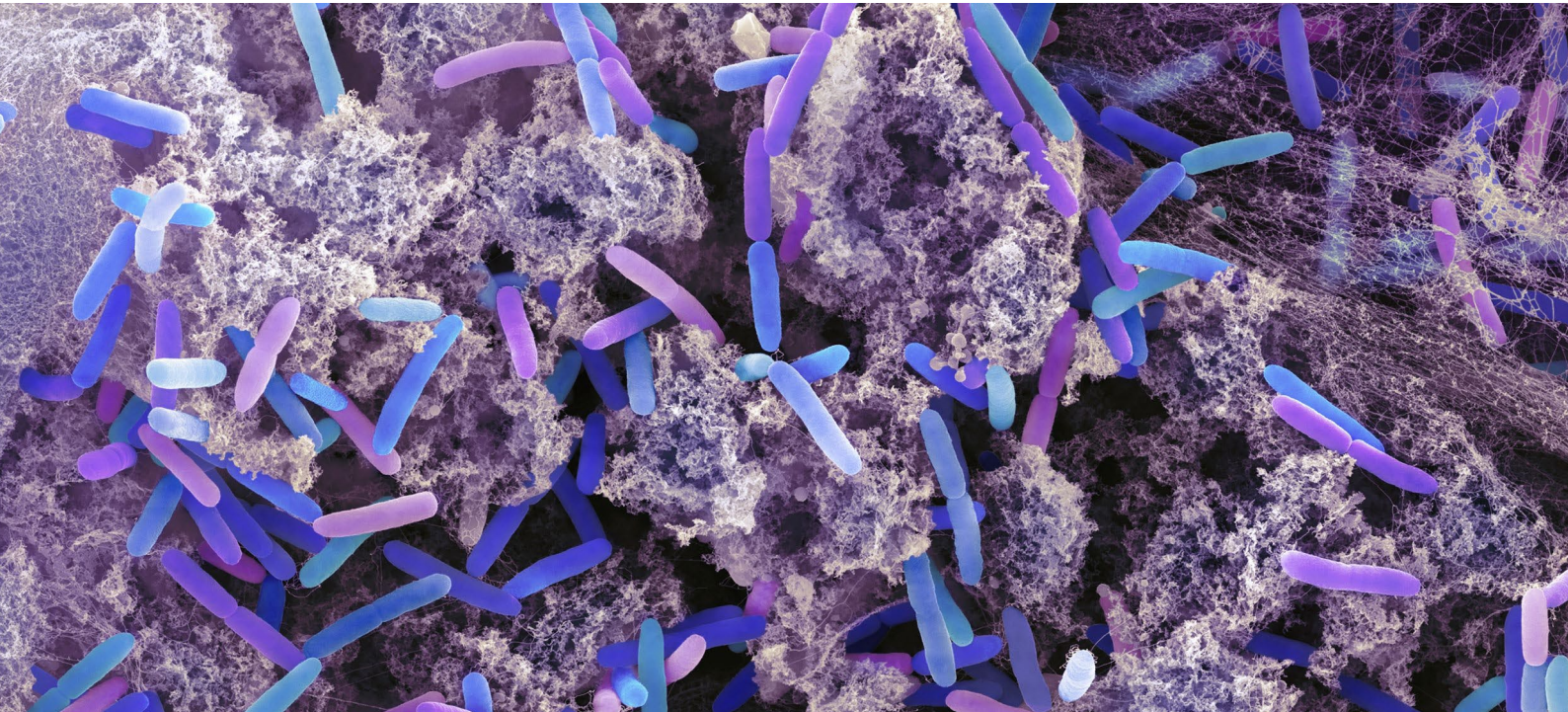
La filtración es un método físico basado en la retención y eliminación de contaminantes en función del tamaño mínimo de las partículas que tiene una gran capacidad de desinfección. En este caso, se han utilizado membranas de micro y ultrafiltración para mejorar la calidad del agua y como pretratamiento para aumentar la eficacia de los pasos posteriores del tratamiento.

02. Fase de adsorción - Polímeros de ciclodextrina

Las ciclodextrinas (CD) son oligosacáridos cíclicos formados por unidades de D- glucosa unidas por enlaces alfa-1,4-glucosídicos, obtenidos a partir del procesamiento enzimático del almidón. Las CD alfa, beta y gamma, que constan de seis, siete y ocho unidades de D-glucosa respectivamente, son las más comunes. Pueden entrecruzarse con agentes polimerizadores como la epiclorhidrina (EPI) para formar una red insoluble de mayor tamaño y con propiedades diferentes a las del monómero de CD inicial, siendo fácilmente extraíble de las aguas residuales tras la adsorción de los contaminantes y reutilizable, ya que una vez saturado el polímero un agente caotrópico puede regenerarlo, permitiendo que se utilice más veces.

De hecho, la red tridimensional formada confiere al polímero características anfifílicas: tanto propiedades hidrofílicas debido a la aparición de unidades de glucosa (CD) (principalmente grupos hidroxilos) como propiedades hidrofóbicas, principalmente debido a los grupos metilo y enlaces éter del agente reticulante, y enlaces CD-glicerilo. Esto resulta ventajoso en la eliminación de trazas de contaminantes de distinta naturaleza en soluciones complejas, en comparación con los sorbentes convencionales como el carbón activo o las resinas de intercambio iónico.

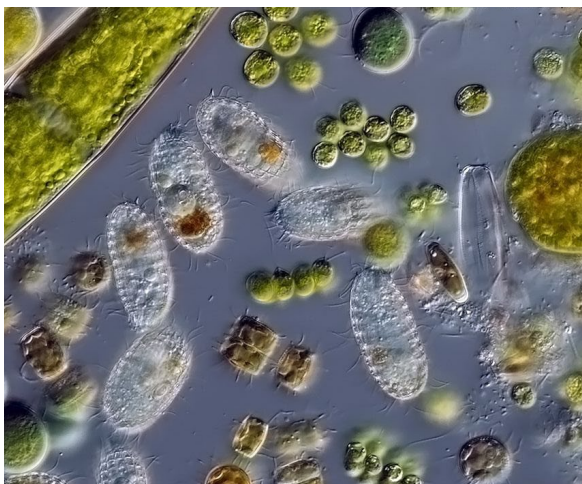
De hecho, la red tridimensional permite al polímero atrapar contaminantes a través de interacciones adicionales (externas a las cavidades de inclusión), que complementan la capacidad de sorción considerando únicamente los complejos de inclusión. Debido a esta unión adicional, se ha demostrado que las constantes de estabilidad de estos complejos de contaminantes son a menudo mayores que las de las interacciones nativas entre CD y contaminantes, lo que justifica toda la gama de resultados de sorción obtenidos en este proyecto.



03. Fase de oxidación – Fotocatálisis

La fotocatalisis es una tecnología sostenible basada en una reacción fotoquímica en presencia de una fuente de luz en la superficie de un catalizador o sustrato, material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. En el proceso se producen reacciones de oxidación y reducción que implican la generación de radicales hidroxilos, con alto potencial oxidante.

De esta manera, se consigue eliminar la mayor parte de los contaminantes del agua. El TiO_2 es el fotocatalizador más utilizado para la degradación de contaminantes orgánicos por su bajo coste, estabilidad, baja toxicidad y respeto al medio ambiente.



04. Fase de regeneración y destrucción de los contaminantes retenidos – Luz pulsada

La regeneración del adsorbente se lleva a cabo con una solución de NaCl 0,1 M que no altera la capacidad de adsorción del polímero, lo que permite una regeneración sencilla y rápida, y una recuperación casi completa de los contaminantes retenidos. Así se evita usar disolventes orgánicos o los elevados costes energéticos, siguiendo los principios de la química sostenible.

Los sistemas de luz pulsada producen un espectro continuo de luz que va desde los infrarrojos hasta los rayos UV-C, en el que estos últimos son los más eficaces en la degradación de los contaminantes emergentes.

Los equipos de luz pulsada se diseñan y se construyen normalmente para inactivar los microorganismos y operar de forma discontinua.

Cabe destacar, por tanto, que en este proyecto se ha adaptado el equipo de luz pulsada para permitir un flujo de trabajo continuo (incorporando un tubo especial que atraviesa la cámara de tratamiento y permite el paso de los rayos UV) y que hasta la fecha no hay ningún equipo de estas características en el mercado.

03

PRINCIPALES ACCIONES Y RESULTADOS

Destrucción de contaminantes

80% productos farmacéuticos 100% residuos fitosanitarios

01. Caracterización de CE en aguas residuales tratadas en EDAR

La identificación de los contaminantes que estaban presentes en las aguas residuales analizadas de forma recurrente nos permitió centrarnos en las acciones subsiguientes del proyecto y elaborar una lista que incluía compuestos pertenecientes a diferentes familias, atendiendo a su peligrosidad e incidencia en las aguas analizadas. Los analitos incluidos fueron objeto de un estudio exhaustivo a lo largo del proyecto para aplicar las condiciones de trabajo más realistas.

02. Optimización del proceso de obtención de diferentes materiales adsorbentes de base polimérica

Una vez comparados los diferentes materiales de absorción, los resultados obtenidos en términos de adsorción, desorción, capacidad de regeneración, tiempo de contacto y costes apuntaban al polímero EPI-CDs como el modelo a utilizar para el escalado semiindustrial en el prototipo. Sin embargo, el proceso de síntesis de este material a tal escala es tóxico, por lo que finalmente se utilizó un polímero nCDs-BDE.

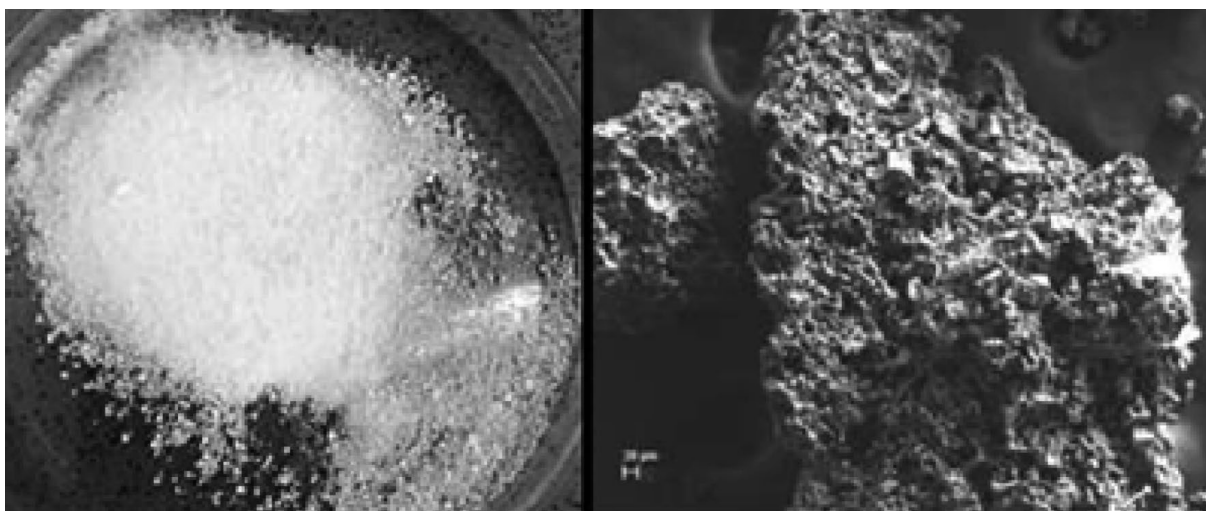


Figura 2. Fotografías del polímero de ciclodextrina de epiclorhidrina. (A) (Izquierda) Polímero EPI-CDs seco. (B) (Derecha) Micrografía SEM del polímero EPI-CDs.

03.

Optimización de procesos innovadores de oxidación avanzada

En las pruebas de fotocátalisis se probó que los tratamientos cortos de 5 segundos no eran eficaces para la mayoría de los compuestos. Así, los tiempos de contacto del prototipo semiindustrial varían entre 5

y 25 segundos. El paso del agua contaminada por la etapa de luz pulsada aumentó la tasa de degradación de los contaminantes emergentes.

04.

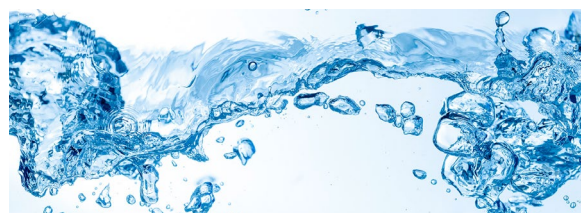
Estudios y cálculos preliminares del prototipo a nivel semiindustrial e instalación, puesta en marcha y optimización

Se diseñaron y dimensionaron diferentes unidades del prototipo: estructura/contenedor, tanque de alimentación, bomba de proceso, microfiltración, ultrafiltración, columnas de adsorción, instrumentación de medida y control, instalación eléctrica, tuberías, válvulas, fotocátalisis, tanque de producto, bomba de proceso de desorción y tanque de desorción.

El sistema constaba de dos líneas de adsorción alternativas, una activa y otra en regeneración/desorción/reposo para tratar un caudal de 3000 L/h. El resto del equipo instalado era el usual.

Se optó por una bomba sumergible para la recogida continua del efluente de la EDAR, de forma que lo transportara a un depósito para alimentar el sistema CLEANUP. Este depósito está equipado con indicadores de nivel máximo y mínimo para activar esta bomba y proporcionar el agua necesaria para el proceso de limpieza.

Una vez que el efluente está en el tanque de alimentación, una bomba centrífuga lo hace pasar por el sistema de pretratamiento, que consiste en un sistema de micro



y ultrafiltración dotado de membranas cerámicas para evitar que las sustancias no deseadas pasen y provoquen la obstrucción del material adsorbente. Una vez que el agua ha sido acondicionada físicamente, y tras controlar los parámetros de pH y turbidez, se introduce en uno de los dos filtros de material adsorbente.

Siempre está uno de los dos operando y el otro en proceso de desorción o espera, para que el proceso se mantenga continuo en todo momento. Al final del proceso de adsorción, el agua pasa por una unidad de fotocátalisis para que los restos de contaminantes emergentes que no hayan sido retenidos por el filtro de material adsorbente se eliminen por oxidación.

Finalmente, se conduce el agua a un depósito de producto que proporciona el almacenamiento necesario para el proceso de desorción, el retrolavado y el secado de los lechos de material adsorbente.

El depósito descarga el agua por desbordamiento en la corriente de salida de la EDAR, de modo que siempre permanece lleno y con agua en movimiento.



El proceso de desorción se lleva a cabo cuando se alcanza el tiempo de agotamiento estimado para el adsorbente. Para ello, una bomba de membrana recoge la solución desorbente a la concentración y caudal calculados y la introduce en la columna de polímeros de ciclodextrina con el fin de producir el desplazamiento del contaminante hacia la solución desorbente, y así dejar los polímeros de ciclodextrina con su capacidad de adsorción inicial.

05. Validación de la tecnología y viabilidad a nivel semiindustrial

Para validarlo, el prototipo se ha tenido en funcionamiento durante un año (2021). El sistema ha demostrado una capacidad de adsorción de alrededor del 45 % para los productos farmacéuticos y del 100 % para los residuos fitosanitarios. Pero la fase de destrucción de los contaminantes mediante fotocatalisis mejora el rendimiento global de eliminación de los productos farmacéuticos hasta un 80 %.

Además, el sistema permite la desinfección completa del agua residual, por lo que se puede considerar como un tratamiento terciario eficaz que no requiere la adición de reactivos (lo que le confiere claras ventajas sobre la cloración, el sistema de desinfección más utilizado hasta la fecha) y también permite la eliminación de las esporas de *C. perfringens*, que son muy resistentes a los tratamientos más utilizados en las EDAR, como la radiación UV y la cloración. Por tanto, desde el punto de vista microbiológico, el sistema propuesto permite cumplir con el nuevo Reglamento (UE) 2020/741,

El producto de desorción cargado de contaminantes se acumula en un tanque de evacuación para su tratamiento; luego es bombeado a una velocidad adecuada a través de un sistema de luz pulsada capaz de destruir los contaminantes arrastrados en la solución desorbente. Este proceso se ha optimizado para que su duración sea algo menor que el tiempo de saturación útil del lecho, para que se pueda calibrar el equipo de pulsos de luz de forma racional.

relativo a los requisitos mínimos que deben cumplir las aguas regeneradas para reutilización agrícola.

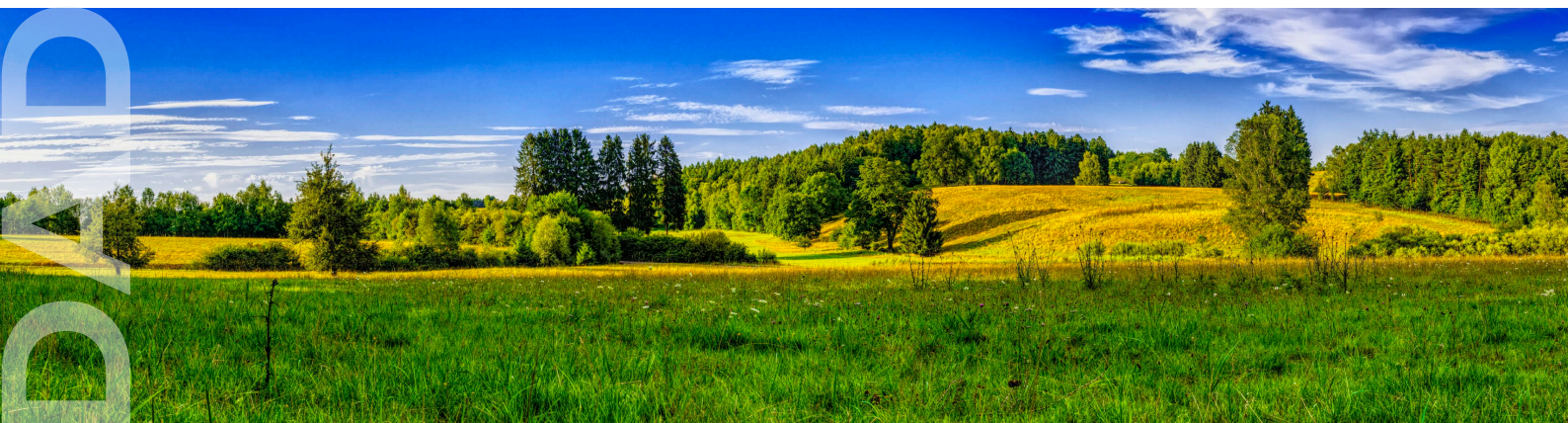
También hay que destacar la capacidad de regeneración y recuperación del polímero. Así, ante las pruebas de reutilización llevadas a cabo, las características físico-químicas dispares del agua de entrada o la etapa de regeneración cada 200 m³ de agua limpia, para el tratamiento de este tipo de agua sería aconsejable cambiar el material polimérico cada seis meses de funcionamiento continuo.



Figura 3. Vista exterior del prototipo.

04

SOSTENIBILIDAD Y REPLICABILIDAD DEL PROYECTO



Se seleccionaron dos sitios de replicación y cinco de transferencia y los resultados obtenidos apuntan al sector agroalimentario como objetivo para la fase inicial de explotación comercial y lanzamiento al mercado de la tecnología LIFE CLEAN UP.

En los sitios de replicación y transferencia elegidos, se estudió la presencia de los analitos de interés para determinar su idoneidad de cara a introducir la solución propuesta. Para los dos centros de replicación (EMAHSA y SOLVIC) y para tres de los centros de transferencia (Citromil, Ecologia Rizzi Arcangelo y Vivolat), se realizó una visita in situ.

La estrategia de comercialización de LIFE CLEAN UP se divide en dos fases: una primera, que se inicia inmediatamente después de la finalización del proyecto, con aplicaciones basadas en los resultados favorables del estudio de transferencia al sector agroindustrial; y una segunda fase, a medio plazo, en la que ya se contempla la replicación en las EDAR.

El mercado objetivo de la primera fase son las plantas industriales con un caudal máximo de tratamiento de 200 m³/día, y los escenarios comerciales propuestos son las industrias lácteas o agroalimentarias, así como otros sectores industriales como el farmacéutico o el sanitario. Y para comprobar que la tecnología LIFE CLEAN UP es viable, se deberá realizar un estudio previo de viabilidad técnica y económica según las características de cada cliente.

Para la segunda fase, con el fin de replicarlo en las EDAR, se requiere una modificación del polímero que aumente el caudal que puede tratar el sistema. En este sentido, lo que se propone investigar es la búsqueda y ensayo de un material más permeable, la reducción de la capacidad de hidratación del polímero desarrollado, o la modificación de su morfología, que también podría reducir los costes de fabricación. En esta fase se prevé la creación de la joint venture Life Clean Up para comercializar la tecnología desarrollada.

05

DIFUSIÓN DEL PROYECTO



Visitas a la web

171,070



Artículos

54

Durante estos cinco años, el proyecto LIFE CLEAN UP ha llevado a cabo actividades de difusión y divulgación, tanto al público general como a científicos de áreas afines.

En cuanto al público general, durante este tiempo LIFE CLEAN UP se ha mencionado en 54 artículos (tanto impresos como en línea), en un documental en la televisión regional y en tres entrevistas en la radio; y se ha organizado un concurso en un festival de cortometrajes, un concurso de spots de concienciación, tres visitas guiadas con medios de comunicación en la EDAR Cabezo Beaza, y dos visitas de estudiantes interesados en las aguas residuales y su reciclaje. El proyecto también ha participado en dos semanas de la ciencia (un evento regional centrado en la ciencia al que acuden más de 25.000 participantes), en 14 eventos de networking y en diferentes congresos. Los socios han conseguido llegar a más de 60.000 personas, solo en los eventos y el congreso. Además, los medios de comunicación en línea, las redes sociales, las visualizaciones del vídeo y las visualizaciones de la página web ascienden a 171.070.



Figura 4. Investigador de la UCAM recibe a los alumnos del máster para explicarles cómo funciona el prototipo industrial del proyecto y su sostenibilidad.



Figura 5. Visita de los medios de comunicación para mostrar el resultado final a la doctora Isabel Fortea, Directora General de Investigación e Innovación Científica de la Región de Murcia.

En cuanto a la comunicación técnica del proyecto, se han publicado varios artículos en revistas científicas (11), algunas de gran impacto, como Journal of Hazardous Materials, Chemical Engineering Journal o Science of the Total Environment.

Desde el proyecto también hemos participado en congresos y ferias (10 nacionales y 16 internacionales), así como en seis talleres y seminarios, y se organizó una conferencia sobre el mismo en la que participaron investigadores de otros proyectos y empresas relacionados con la gestión y el tratamiento del agua. Asimismo, se han organizado cinco visitas técnicas a la planta demostrativa para fomentar y apoyar la reproducción y transferencia del nuevo sistema de tratamiento a otras localidades y sectores.



Figura 6. El doctor José Antonio Gabaldón, investigador principal del proyecto, muestra el prototipo al Presidente de la Región de Murcia, Fernando López Miras, durante la Semana de la Ciencia de la UCAM.



Figura 7. Los científicos del proyecto participando en la red LIFE AMIA en 2022.



PROYECTO LIFE CLEAN UP

(LIFE Proyecto N° LIFE16 ENV/ES/000169).



SITIO DE TRANSFERENCIA

CITROMIL

Empresa procesadora de cítricos
Murcia (España)

SITIO DE RÉPLICA

EMAHSA

EDAR
Huelva (España)
Visita: 12/04/2022

SITIOS (MENORES) DE TRANSFERENCIA

Tres empresas queseras

Visita: 30/03/2022
Barbianco, Gioia de Colle (Italia)

SITIO DE RÉPLICA

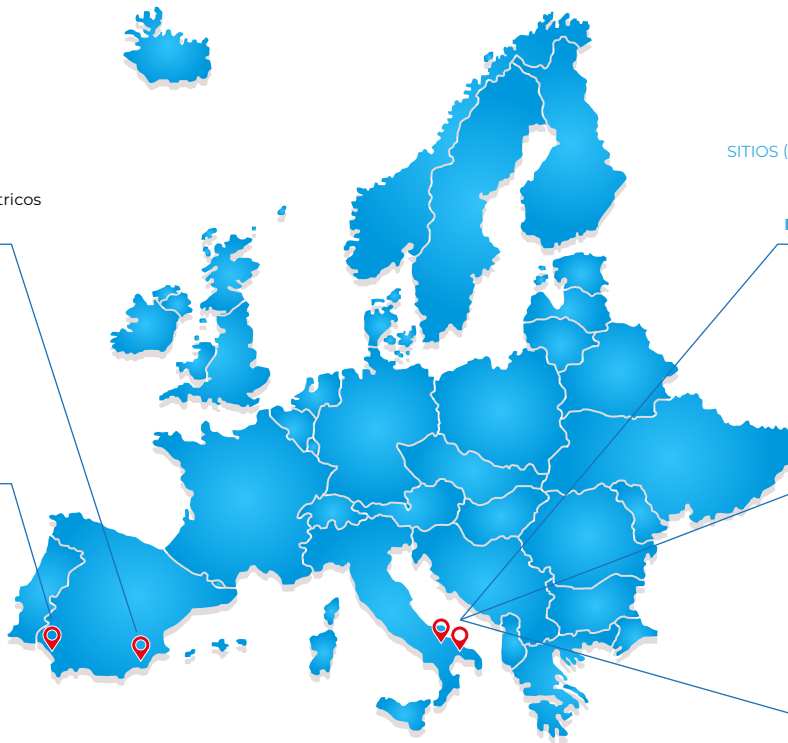
S.o.l.v.i.c.

WWTP
Canosa di Puglia (Italia)
Visita: 30/03/2022

SITIO DE TRANSFERENCIA

Ecologica RIZZI

Empresa procesadora de leche
Gioia de Colle (Italia)
Visita: 30/03/2022



Más información sobre el proyecto:
www.lifecleanup.eu



@LIFE_CleanUp



Life Clean Up



PROYECTO LIFE CLEAN UP

(LIFE Proyecto N° LIFE16 ENV/ES/000169).

