

## **Proyecto ECOLODO. Una apuesta por la desodorización ecológica y la economía circular/ECOLODO Project. A commitment by ecological deodorization and circular economy.**

**Autores:** Mercedes Calzada Garzón (Especialista I + D, Valoriza Agua/SACYR, [macalzada@sacyr.com](mailto:macalzada@sacyr.com)), Patricia Terrero Rodriguez (Especialista I + D, Valoriza Agua/SACYR, [pterrero@sacyr.com](mailto:pterrero@sacyr.com)), Elena Campos Pozuelo (J'Departamento I + D, Valoriza Agua/SACYR, [ecamposp@sacyr.com](mailto:ecamposp@sacyr.com)), Domingo Zarzo Martinez (Dir. Técnico, Valoriza Agua/SACYR, [dzarzo@sacyr.com](mailto:dzarzo@sacyr.com)), Yuriy Budyk (Investigador, IUACA Universidad de Alicante / [yb12alu@ua.es](mailto:yb12alu@ua.es)), Blanca Calderón (Investigador, IUACA Universidad de Alicante / [blanca.calderon@ua.es](mailto:blanca.calderon@ua.es)), Andres Fullana Font (Jefe Grupo Investigador, IUACA Universidad de Alicante / [andres.fullana@ua.es](mailto:andres.fullana@ua.es))

### **Resumen:**

Los olores que generan las emisiones provocadas por la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales, además de un posible riesgo para la salud humana, ponen en cuestión la ubicación y forma de operación de las estaciones depuradoras (EDAR). Asimismo, la producción y el almacenamiento de los lodos procedentes de estas instalaciones, que en su gran mayoría producen también muchos olores, suponen un problema creciente, costoso económicamente y de difícil solución.

El objetivo de este proyecto ha sido desarrollar un material adsorbente y sistema de desodorización de alta eficiencia a partir de los propios lodos procedentes de depuradoras (ECOLODO). De esta forma se convierte un residuo de bajo valor añadido, que provoca problemas medio ambientales en las EDARs, en un recurso aprovechable para la propia gestión de olores, como estrategia de economía circular para todo el proceso. El proyecto se ha desarrollado en la EDARi de Helados Alacant y para llevar a cabo nuestro objetivo contamos con la colaboración del Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante. Las tareas que se han desarrollado incluyen el tratamiento térmico previo y auto mantenido de los lodos, la activación con diferentes elementos y nano materiales, la caracterización cualitativa de los carbones producidos y la medida de eficiencia de los mismos en eliminación de olores.

Los resultados obtenidos nos han permitido comprobar que gracias al alto contenido en hierro de los lodos de EDARs, en los carbones activados obtenidos a partir de ellos no solo se produce una adsorción adecuada de muchos de los contaminantes, sino que esta se ve potenciada por un efecto catalítico. Este efecto se mantiene en el tiempo, incluso en condiciones de humedad significativa, lo que proporciona a estos productos un valor añadido con respecto a los carbones comerciales convencionales. Las conclusiones preliminares y las perspectivas de implementación tecnológica de este proyecto serán analizadas en esta ponencia.

### **Palabras claves:**

Carbón activo, efecto catalítico, desodorización, lodos, pirólisis

### **Abstract:**

The odors generated by the emissions caused by the decomposition of organic matter from wastewater, as well as a possible risk to human health, call into question the location and operation of sewage treatment plants (WWTP). In addition, the production and storage of sludge from these facilities, which also produce many odors, are a growing problem, costly and difficult to solve economically.

The objective of this project has been to develop an adsorbent material and high efficiency deodorization system from the sludge coming from sewage treatment plants (ECOLODO). In this way, it becomes a waste of low added value, which causes environmental problems in WWTPs, a resource that can be used for odor management itself, as a circular economy strategy for the entire process. The project has been developed in the WWTP of Helados Alacant and to carry out our objective we have the collaboration of the Institute of Water and Environmental Sciences of Alicante University. The developed tasks include the previous thermal

treatment and self-maintained of the sludge, the activation with different elements and nano materials, the qualitative characterization of the coals produced and the efficiency of the same in odor eliminations.

The results obtained have allowed us to verify that thanks to the high iron content of sewage sludge, the activated carbon obtained from them not only produces an adequate adsorption of many of the pollutants, but also it is visible enhanced by a catalytic effect. This effect is maintained over time, even in conditions of significant humidity, which gives these products an added value compared to conventional commercial coals. The preliminary conclusions and the perspectives of technological implementation of this project will be analyzed in this paper.

**Keywords:**

Active carbon, catalytic effect, deodorization, sludge, pyrolysis

## 1 INTRODUCCIÓN

La Directiva Marco de Residuos constituye el principal instrumento normativo para cambiar el enfoque de la gestión de los residuos en Europa, al centrar su objetivo en la prevención y el reciclado según la Directiva 2008/98/CE Marco de Residuos (PEMAR, 2016 -2022). Esta directiva refuerza el principio de jerarquía en las opciones de gestión de residuos. Siguiendo esta jerarquía, la prevención es la mejor opción de gestión, seguida de la preparación para la reutilización, del reciclado, de otras formas de valorización (incluida la energética) y por último de la eliminación (el depósito en vertedero entre otras).

En el marco de la Estrategia 2020 la hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos recoge los objetivos y los medios para transformar la economía actual. Se trata de sustituir una economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una economía innovadora y circular en la que se reincorporen al proceso productivo una y otra vez los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas, con el objetivo de fomentar que los ciudadanos vivan bien dentro de los límites ecológicos del planeta (EUROPA, 2020).

Esta es precisamente la base incentivadora de este proyecto cuyo objetivo es desarrollar un material adsorbente y un sistema de desodorización de alta eficiencia a partir de lodos procedentes de depuradoras, denominándose ambos ECOLODO. Por una parte valorizar un residuo cuya generación, almacenamiento y olores que genera constituyen un problema creciente en muchos casos, y por la otra darle una utilidad importante en la propia desodorización de la depuradora. El proyecto se ha llevado a cabo en la EDAR de Helados Alacant y la Universidad de Alicante. Para el diseño y desarrollo del material adsorbente se realizó una experimentación previa en laboratorio con diferentes estrategias de activación física y química además de la utilización de algunos nanomateriales.

Los objetivos técnicos específicos desarrollados fueron los siguientes:

- Caracterización del lodo, diseño y desarrollo del material adsorbente a partir de la activación y pirólisis a escala laboratorio.
- Desarrollo del proceso pirolítico en planta piloto. Producción de los carbones de lodo seleccionados. Caracterización y evaluación de grados de eficiencia. Pruebas de contraste con carbones comerciales.
- Análisis de escalado de la tecnología y proceso desarrollados.

A continuación se describen tanto los trabajos realizados en el laboratorio y en las plantas piloto, como los principales resultados de testeo obtenidos en contraste con los carbones activos comerciales.

## 2 METODOLOGÍA

El lodo residual de EDAR constituye la materia prima para el proceso de producción del carbón ECOLODO que comienza con la entrada del mismo al reactor de presecado y activación, posteriormente pasa al reactor pirolítico donde se produce la transformación de lodo a carbón pirolizado. Durante este proceso se produce además la fracción de gases no condensables y el biofuel, cuya capacidad energética se aprovecha en el sistema para hacerlo automantenido. La peletización posterior permite obtener el producto acabado que alimenta el filtro de carbón encargado de la desodorización de la planta o módulo de esta correspondiente.

### 2.1 Sistema experimental de laboratorio

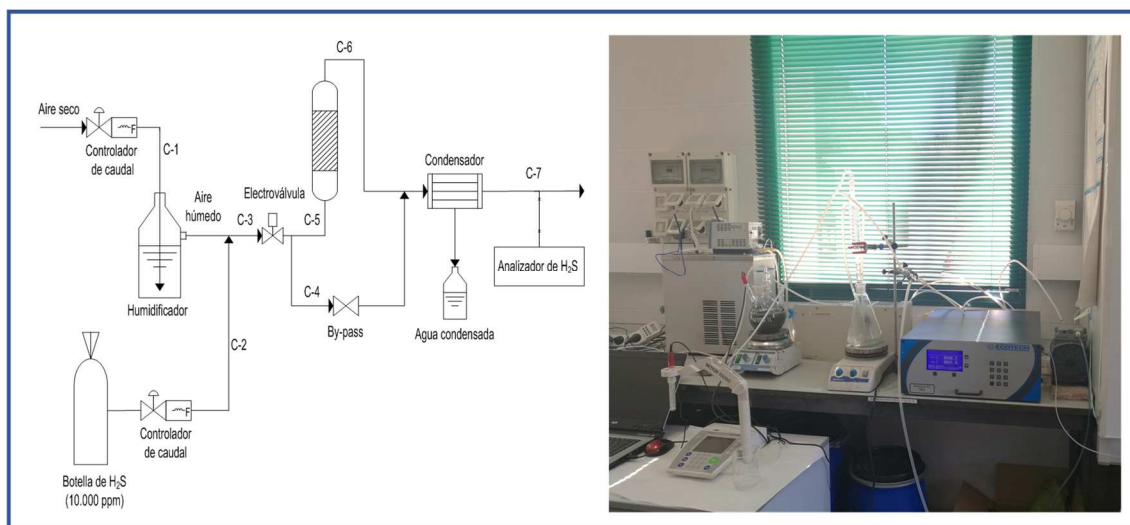
Para la realización de los experimentos, primeramente se caracterizó el lodo procedente de EDAR para obtener la máxima información acerca de su estructura, composición y propiedades. Para ello se emplearon técnicas de análisis elemental, fluorescencia de rayos-X y termogravimetría. Posteriormente para la fabricación de los carbones fueron probadas distintas configuraciones y métodos de activación física y química, y por último se diseñó un sistema de desodorización a escala para su validación. Hay que señalar que todos los experimentos fueron realizados en condiciones de humedad, ya que en la práctica industrial se ha comprobado que los carbones comerciales funcionan peor en condiciones de humedad, lo que limita en muchos casos su eficacia y rendimiento, incluso pudiendo llegar a condicionar su uso (Gong, et al., 1993) (Biron, et al., 1998).

Durante la investigación además se definieron los criterios de selección de las diferentes alternativas, en función de su posible mejora y optimización en cuanto a la factibilidad de una fabricación a escala posterior y a una alta eficiencia de desodorización. En este sentido, en las últimas dos décadas se han producido importantes avances en el campo de la nanotecnología, y la obtención de nanomateriales con altas relaciones superficie-volumen y excelentes propiedades para la eliminación de contaminantes (Fenglian, et al., 2014). Entre los nanomateriales empleados para la remediación del medioambiente, las nanopartículas de hierro de valencia cero (nZVI por sus siglas en inglés), han demostrado ser las más versátiles debido a su bajo coste, baja toxicidad y alta reactividad frente a un gran número de elementos, además de eliminar bien los compuestos de azufre. El hierro como elemento posee un gran poder reductor ( $E^0 = -0.44 \text{ V}$ ) y es magnético, lo que permite separar fácilmente las nanopartículas del medio tras el tratamiento, (O'Carroll, et al., 2013) (Carderón, 2017).

Los materiales y combinaciones que se definieron y probaron fueron las siguientes:

- Lodo sin pirolizar
- Lodo pirolizado a 600°C sin activar (LP)
- LP + activación con aire a 700°C
- LP + NaOH triturado
- LP impregnado con 10 ml NaOH diluido al 10%
- LP con un 10% de nanopartículas de hierro de valencia cero (nZVI)
- LP con un 10% nZVI y un 10% de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$
- LP con un 10% de nZVI encapsuladas con carbón (CE-nZVI)
- LP con 10% de CE-nZVI sometidas a un proceso de activación con borohidruro de sodio  $\text{NaBH}_4$  (CE-nZVI-B)
- LP con un 5% de CE-nZVI activadas térmicamente (CE-nZVI-T)
- Carbón comercial Vapacid

Para la experimentación la corriente contaminada de sulfuro de hidrógenos  $\text{H}_2\text{S}$  de 10 ppm (C-3) se obtiene por mezcla de una corriente de  $\text{H}_2\text{S}$  concentrada (10.000 ppm, C-2) con una corriente de aire húmedo (C-1). Los caudales de cada una de dichas corrientes se regulan por medio de un controlador de caudal. La corriente C-3 resultante, pasa a través de una electroválvula, la cual dirige la corriente o bien al filtro de carbón (C-5), o bien a un by-pass (C-4) para medir la concentración de entrada al sistema. La corriente que ha atravesado el filtro de carbón (C-6) atraviesa un condensador, previamente a ser analizada por el medidor de  $\text{SO}_2$ , para asegurar que el agua presente en la corriente de aire no condensa en el interior del medidor, lo cual podría dañarlo. El filtro de carbón empleado, es un tubo de vidrio de 9 mm de diámetro interno, el cual se rellena con lana de vidrio, que actúa como distribuidora de caudal a través del filtro, y con la cantidad correspondiente de carbón, ver figura 1.

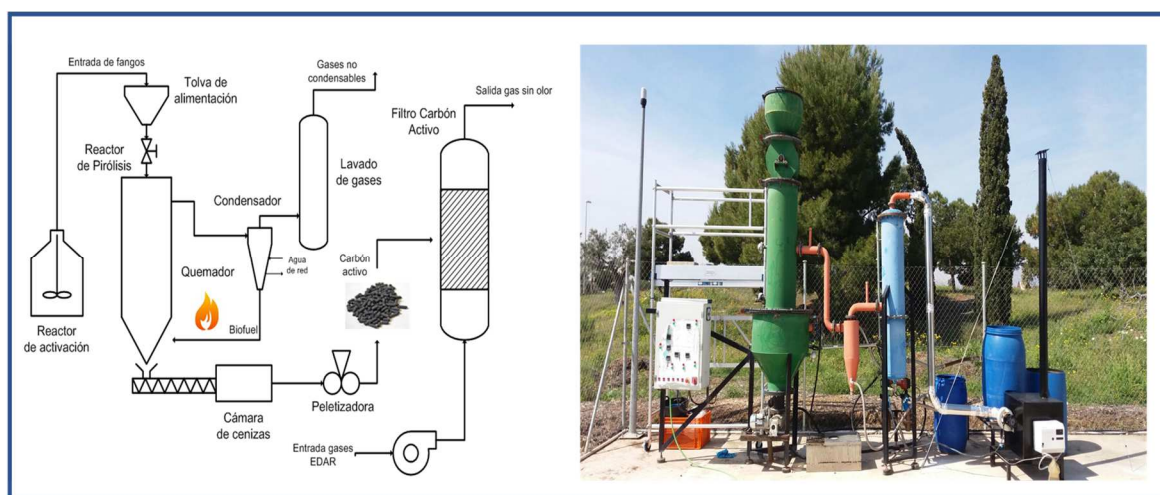


**Figura. 1** Esquema y foto del montaje experimental para el estudio de la desodorización con los carbones fabricados. Laboratorio de Aguas Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Alicante.

La concentración de H<sub>2</sub>S a lo largo del experimento se determinó mediante el Analizador Serinus 57 TRS, el cual determina la concentración de SO<sub>2</sub>. Por tanto, previamente a la introducción de la corriente de H<sub>2</sub>S en el equipo, ésta se hace pasar por un horno a 850°C para transformar todo el H<sub>2</sub>S a SO<sub>2</sub>. Los experimentos se realizaron hasta que la concentración de salida fue igual que la de entrada, o en los casos en los que se observó la catálisis, hasta que la concentración se mantenía estable durante varias horas (>10 h). Por otro lado, gracias al empleo de la electroválvula, se pudo medir la concentración de entrada cada 6 h para comprobar que ésta no variaba, o si lo hacía, tener esto en cuenta para calcular los rendimientos de eliminación de H<sub>2</sub>S.

## 2.2 Sistema piloto de pirólisis

La planta piloto de pirólisis utilizada para la fabricación de los carbones está compuesta de: tolva de alimentación, condensador, scrubber, bombas auxiliares, sensores de temperatura, cámara de combustión quemador de gases, chimenea y cuadro eléctrico, ver figura 2. También se realizaron tiradas de fabricación en planta industrial para contraste, gracias a la colaboración de GREENE, empresa especializada en la valorización energética de residuos por gasificación. En una primera fase se ha realizado la fabricación de 3 kg de carbón ECOLODO para la validación de la investigación y se prevé más a largo plazo realizar una tirada de 300 kg para realizar las pruebas en reactor piloto más grande.



**Figura. 2** Esquema de proceso y planta piloto de pirólisis. Área experimentación industrial y servicio, Universidad de Alicante. Proyecto ECOLODO.

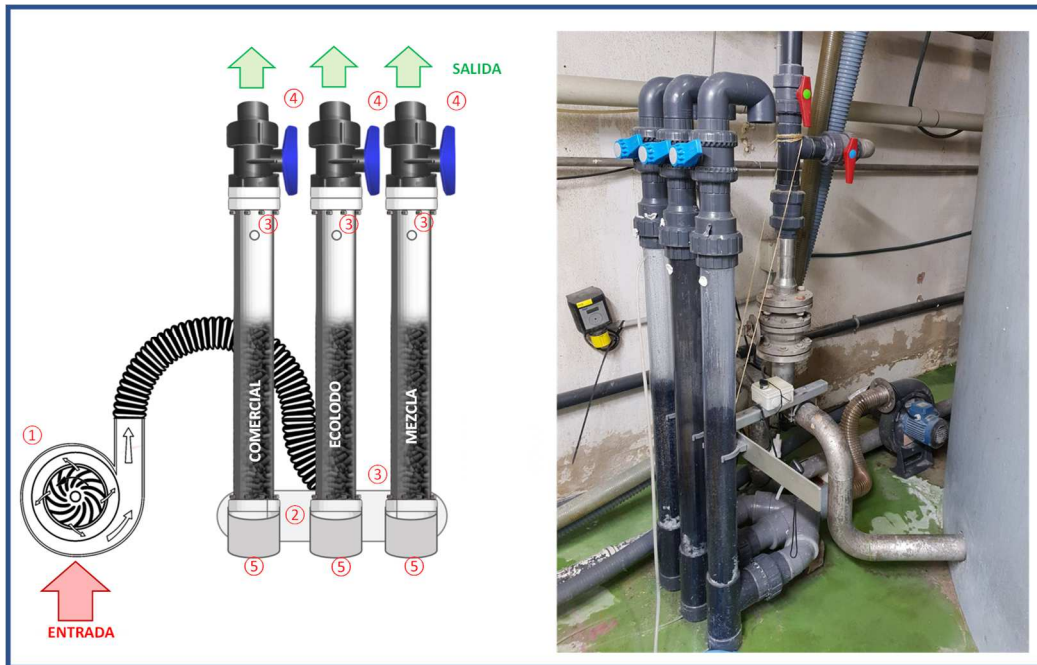
Como parte del estudio de acabado y presentación pre-comercial del carbón se realizaron las pruebas de peletizado pertinentes, para dotar al carbón ECOLODO de las características y presentación necesarias para una buena utilización del producto final. Esto se debe a que el producto resultante del proceso de activación y pirólisis consiste en un polvo o material granular de muy pequeño tamaño. Para poder aplicar el carbón activado en una torre de adsorción hace falta peletizar el material con el objetivo de facilitar su manipulación y mejorar sus propiedades mecánicas. La peletización es el proceso que densifica y solidifica ingredientes que han sido finalmente molidos. Los pellets presentan características uniformes en cuanto a tamaño (longitud y diámetro: 13-19 mm y 6.3 y 6.4 mm) y forma cilíndrica.

## 2.3 Sistema piloto de desodorización

Para garantizar un adecuado testeo del comportamiento de los carbones ECOLODO y su contraste con los comerciales en el ambiente de la EDARi, en base a los experimentos realizados a escala laboratorio se ha planteado construir una planta piloto de tamaño intermedio con una configuración de 3 reactores en paralelo para la comparación de los resultados (un reactor con carbón comercial, uno con carbón ECOLODO y otro con mezcla de ambos). Para el diseño del nuevo piloto se tuvieron en cuenta tanto las características del piloto de laboratorio (reactor de partida) como las características del reactor piloto de 300 kg (reactor objetivo). Ha sido fabricado en PVC, con una capacidad de 3kg e instalado para la captación directa de las emisiones del depósito de lodos de la EDARi, uno de los puntos críticos en materia de contaminación

odorífera. Para el testeo se realizaron pruebas de identificación de compuestos y contraste mediante captación activa, cromatografía de gases y monitorización de compuestos de azufre y COVs.

El sistema de funcionamiento se compone de una soplante (1) que succiona el aire del depósito de fangos y lo manda al ramificador (2) por la tubería flexible. El ramificador reparte el caudal de entrada entre los tres filtros, que se componen de: carbón comercial Vapacid® (pellets), carbón ECOLODO (pellets), mezcla de ambos (proporción 40% ECOLODO y 60% comercial), ver figura 3.



**Figura. 3** Esquema de proceso y planta piloto de validación. Desodorización del depósito de lodos – EDARi Helados Alacant. Proyecto ECOLODO.

El filtro consiste en una tubería de PVC con un distribuidor en el fondo, que permite el paso del aire y sirve como plataforma para soportar los carbonos. El sistema posee 4 puntos (3) para la toma de diferentes datos, como velocidad, presión, temperatura, concentración de VOC's y también sirve para el muestreo de los gases. Cada punto corresponde a la entrada del gas y a las tres salidas de los filtros. El caudal del aire se regula con las válvulas de bola (4) instaladas en la parte superior del filtro. Las válvulas permiten ajustar la velocidad del aire y garantizar homogeneidad en el caudal del aire de entrada a los tres. El aire filtrado sale por la parte superior del sistema. Debido a que el sistema trabaja en húmedo, el agua se condensa en las paredes del filtro y desciende hacia abajo, humidificando el filtro y escurriendo hacia la parte inferior donde está situado el distribuidor del gas. Para que el sistema no se llene del agua e impida la entrada del gas, cada filtro posee un punto de descarga del agua (5). El sistema asimismo posee un regulador de frecuencias, que permite cambiar la frecuencia de giro de la soplante (1) y por consiguiente el caudal del aire de entrada. Sirve para tomar las medidas puntuales de velocidad del aire, variación de presión y cálculo de porosidad del lecho.

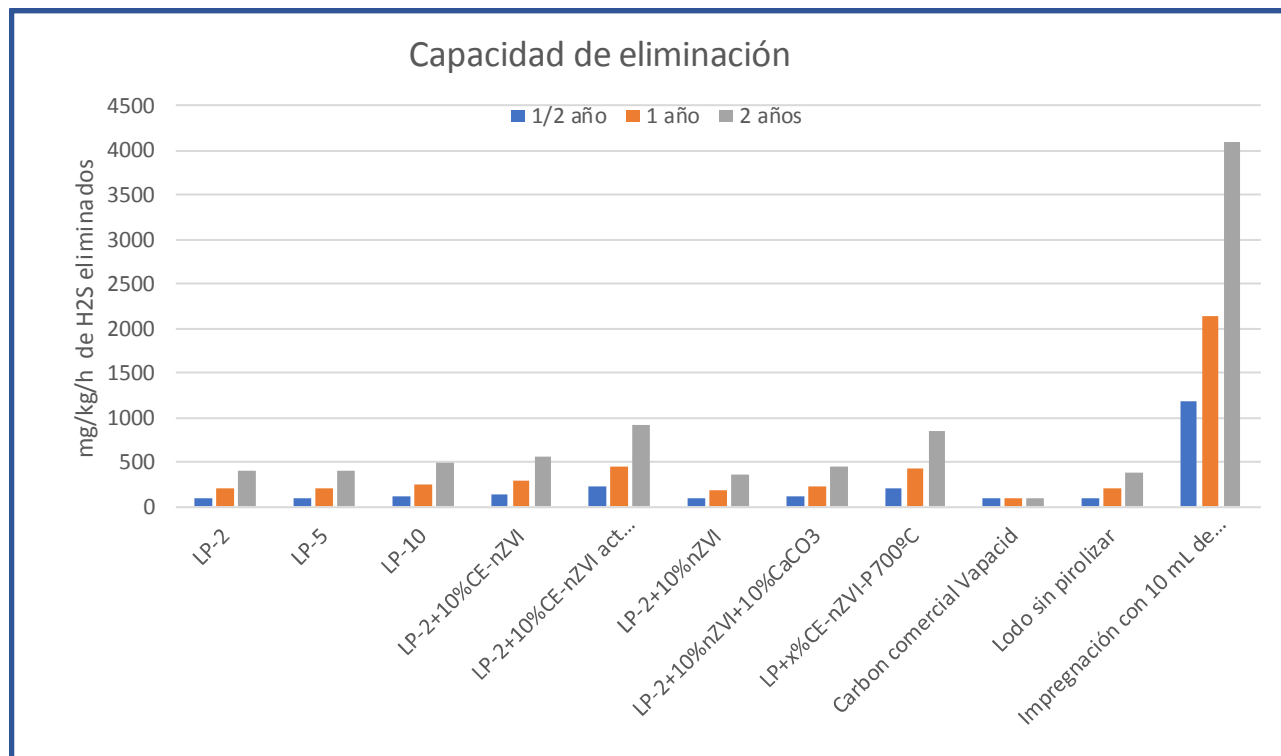
### 3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la caracterización del lodo base utilizado de EDAR, tanto del análisis elemental como de la fluorescencia de Rayos – X, muestran un alto contenido en metales, que sin duda es beneficioso para favorecer la eliminación de compuestos olorosos y favorable para nuestro desarrollo propuesto, (Ros Sans, 2006). Según los resultados termo-gravimétricos, a partir de los 600°C la pérdida de peso se empieza a estabilizar especialmente en la combustión de aire. En ese punto tenemos entre un 30-40% de residuo sólido dependiendo del método utilizado. El resto corresponde a materiales volátiles que se pierden durante el proceso de calentamiento, por lo que se estableció la temperatura de trabajo entre 400 y 600°C.



Para la selección en laboratorio del mejor proceso, y por tanto el carbón activo más eficiente, se tuvieron en cuenta la porosidad, la capacidad de eliminación de H<sub>2</sub>S, las pruebas de peletizado y la viabilidad en la fabricación de las diferentes combinaciones testeadas.

En la figura 4 se puede ver un análisis comparativo de la capacidad de eliminación de las diferentes combinaciones estudiadas y la estimación de su tendencia de comportamiento en el tiempo.



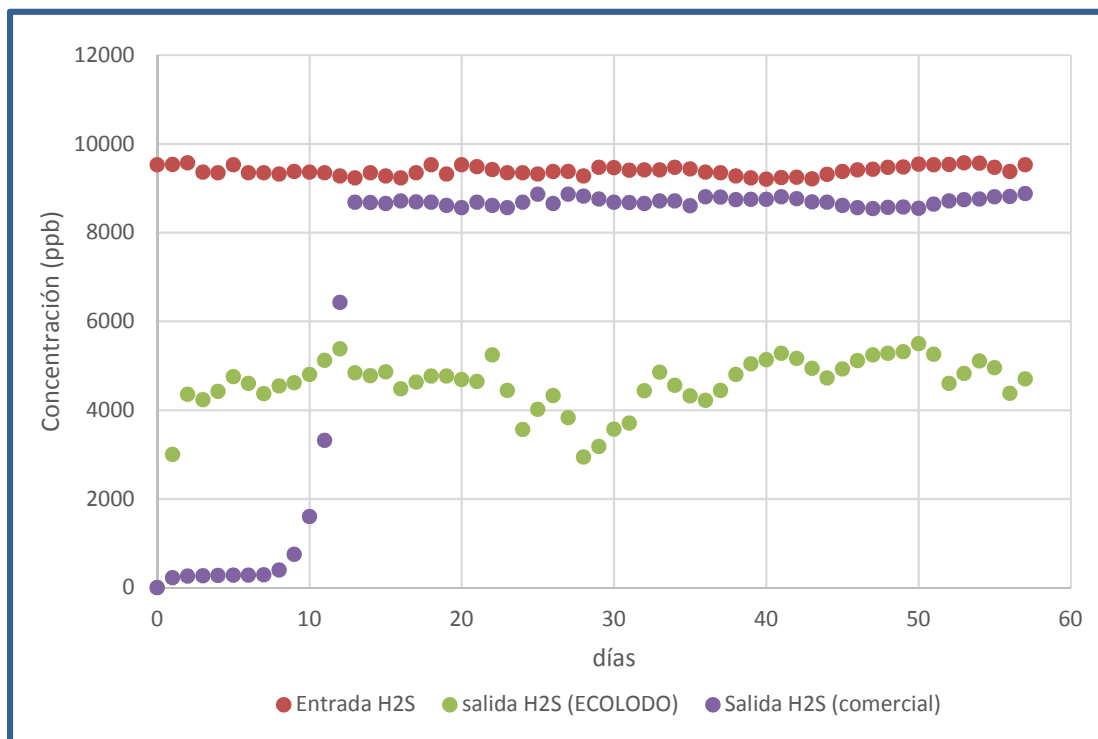
**Figura. 4** Capacidad de eliminación de las diferentes combinaciones y su tendencia de comportamiento en el tiempo.

Como se puede observar, la adición de nanopartículas produjo un incremento en la cantidad de H<sub>2</sub>S eliminada. En concreto, la catálisis se vio incrementada en un 32% en el caso de las CE-nZVI, y en un 92% y 140% térmicamente y al emplear CE-nZVI activadas con borohidruro respectivamente. En el caso de las nanopartículas convencionales, la capacidad de eliminación se comprobó que aumentaba, pero debido a la mayor adsorción y no debido a la catálisis. Por otro lado, hay que destacar que a pesar de que la adición de sosa produce un aumento considerable en la eliminación total de H<sub>2</sub>S también produce el apelmazamiento de éste, ocasionando una pérdida de carga muy elevada en comparación con el carbón proveniente del lodo pirolizado solo y el activado con nanopartículas. Es por este motivo que se ha descartado esta técnica. La adición de CaCO<sub>3</sub> por su parte no produjo ninguna mejora sustancial.

Una vez realizados los ensayos de porosidad, capacidad de eliminación y viabilidad de fabricación de las diferentes combinaciones se confirmó que las activaciones con nanopartículas eran las más efectivas, pero no las más sencillas de utilizar e implementar debido a su coste y rápida oxidación. Por lo que se tomó la decisión de pasar a la siguiente fase de escalado con el lodo solo pirolizado (LP) "Lodo pirolizado a 600°C sin activar". Esto fundamentado en que, durante la realización de los experimentos se pudo observar que se producía un fenómeno de catálisis, el cual se atribuye al alto contenido en hierro que contiene el lodo de partida (8.7%), y que a su vez se ve incrementado en los carbones producidos a partir del lodo (16.1%). Como consecuencia de dicha catálisis, la eliminación de H<sub>2</sub>S se mantiene durante varios meses. Este fue sin duda el principal avance que se produjo en esta etapa de investigación y constituye un mecanismo de desodorización muy interesante debido a su permanencia en el tiempo, permitiendo obtener capacidades de eliminación de H<sub>2</sub>S mucho más elevadas que las inicialmente fueron estimadas. En la tabla 1 y figura 5 se puede ver la comparativa entre carbón comercial y lodo pirolizado, y el comportamiento del efecto catalítico en el tiempo favorable a los carbones obtenidos a partir de los lodos.

**Tabla 1.** Eliminación de H<sub>2</sub>S promedio durante dos meses con carbón comercial y lodo pirolizado con ambiente de humedad del 50%.

Material adsorbente	Eliminado (mg/kg/hora)	Total eliminado (mg)
Comercial	34,45	282,74
Lodo pirolizado	68,86	562,22



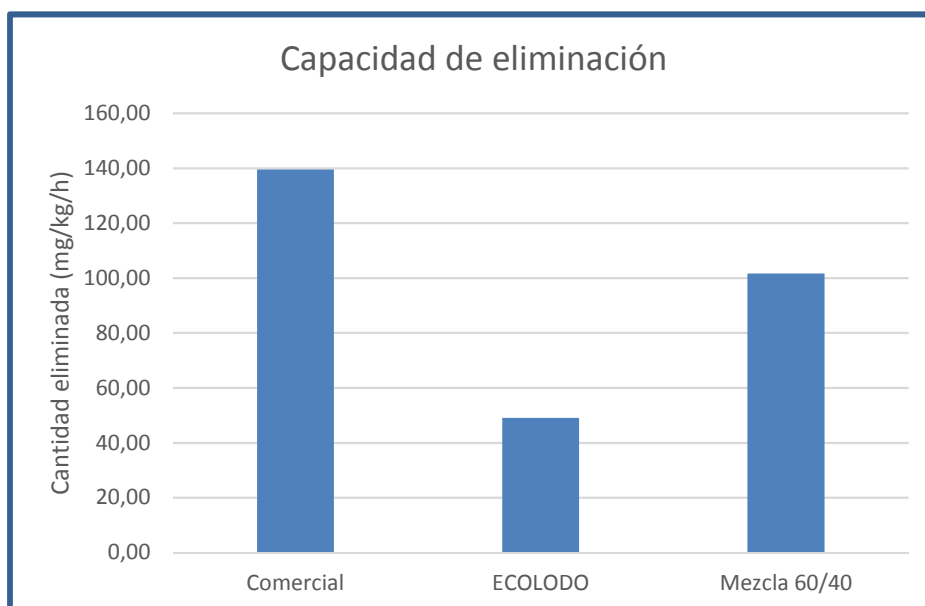
**Figura. 5** Comparativa de los datos experimentales de laboratorio entre carbón comercial y lodo pirolizado durante dos meses con ambiente de humedad del 50%.

En dos meses se eliminaron un total de 283 mg de H<sub>2</sub>S con el carbón comercial y 565 mg de H<sub>2</sub>S con el lodo pirolizado (carbón fabricado ECOLODO). Igualmente, la eliminación de H<sub>2</sub>S por kilo de carbón y por hora en el carbón ECOLODO es del doble: 69 mg/kg/h frente a 34 mg/kg/h en el carbón comercial.

Una vez definido nuestro carbón ECOLODO se realizaron las pruebas de peletización. En un inicio se realizaron pruebas con el carbón tal cual (como material granular) pero estas no dieron buenos resultados, apreciándose como problemas principales el apelmazamiento y pérdidas de carga considerables que lo hacían inviable para el correcto funcionamiento del reactor de carbón activo. Por todo ello quedó demostrado que el carbón ECOLODO requiere de ser peletizado previamente para garantizar su correcta y efectiva utilización.

Por último, el testeo de los carbones en la planta piloto de desodorización instalada en la EDARi Helados Alacant, aún está en marcha. Se requiere al menos de un período de tiempo de un año para que la validación sea efectiva y puedan evaluarse el efecto catalítico más allá de la adsorción. No obstante, analizando los resultados preliminares se puede apreciar que los carbones comerciales son más efectivos a corto plazo porque tienen mejor adsorción inicial, ver figura 6. Sin embargo, a medida que pase el tiempo el valor de la capacidad de eliminación del carbón ECOLODO irá aumentando respecto al carbón comercial debido al efecto de catálisis, ver figura 4.





**Figura. 6** Comparativa de resultados en planta piloto de validación con tres reactores en paralelo durante el primer mes de experimentación con ambiente de humedad superior al 50%. Testeo de carbón comercial, ECOLODO y mezcla 60/40%.

#### 4 CONCLUSIONES

Como conclusión de nuestra investigación podemos decir que los carbones obtenidos y desodorización propuesta ECOLODO, a partir de lodos de depuradoras, son una buena opción para desodorizar nuestras EDARs, y además permitirán la valorización de nuestros propios residuos y contribuirá en la aplicación de un modelo de economía circular que aportará ventajas competitivas y beneficios medioambientales muy importantes.

Hemos demostrado que aprovechando la capacidad catalítica de los lodos y combinando estos con nanomateriales se pueden obtener carbones activos de excelente calidad a menor coste. Los carbones comerciales son más efectivos a corto plazo y en ambiente húmedo pierden eficacia, por lo que su tiempo de reposición es corto. Sin embargo, los carbones ECOLODO son más efectivos a largo plazo y funcionan mejor en ambiente de humedad, lo que los hace más apropiados para los ambientes de una depuradora.

La producción de carbones de forma auto-mantenida, los ciclos de fabricación y de reposición de los carbones para el sistema de desodorización, así como la integración (horno pirolítico – reactor de desodorización) en un único sistema, son aspectos futuros a definir a partir de los resultados de esta investigación.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

El autor VALORIZA AGUA, agradece al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI, Ministerio de Economía y Competitividad), y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), dentro del Programa Operativo de Crecimiento Inteligente 2014 – 2020. Agradecen también el apoyo y colaboración del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante.

#### 6 BIBLIOGRAFÍA

**Biron E. and Evans M. J.** Dynamic adsorption of water-soluble and insoluble vapours on activated carbon [Journal] // Carbon - Elsevier Science. - Kingston : Pergamon, 1998. - 7-8 : Vol. 36. - pp. 1191 - 1197.

**Carderón B.** Application of iron-based nanostructures to contaminant remediation [Report] : Tesis Doctoral / Departamento Ingeniería Química ; Universidad de Alicante . - Alicante : Rúa, 2017.

**EUROPA 2020** Comisión Europea [Online] // EUROPA 2020. - 2020. - 2018. - [http://ec.europa.eu/info/policies/environment\\_es](http://ec.europa.eu/info/policies/environment_es). - Estrategia de crecimiento para la próxima década.

**Fenglian Fu., Dionysios D. and Hong Liu.** The use of zero-valent iron for groundwater remediation and wastewater treatment: A review [Journal] // Journal of Hazardous Materials. - Cincinnati - Guangzhou - Chongqing : ELSEVIER, February 28, 2014. - Vol. 267. - pp. 194 - 205.

**Gong R. and Keener T. C.** A qualitative analysis of the effects of water vapor on multi - component vapor - phase carbon adsorption [Journal] // Air & Waste. - Cincinnati - Ohio : Air & Waste Management Association, 1993. - Vol. 43. - pp. 864 - 872.

**O'Carroll D. [et al.]** Nanoscale zero valent iron and bimetallic particles for contaminated site remediation [Journal] // Advances in Water Resources. - Toronto - Marly Vale : ELSEVIER, January 2013. - Vol. 51. - pp. 104 - 122.

**PEMAR** Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) [Report] = Informe PEMAR / Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural ; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. - [s.l.] : Mapama, 2016 -2022. - pp. 82-89.

**Ros Sans A.** Eliminación de compuestos causantes de olores mediante adsorbentes/catalizadores obtenidos a partir de lodos de depuradora [Book] / ed. Departament d'Enginyeria Química Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona. - Girona : Universidad de Girona, 2006. - Beca pre-doctoral BR 02/02.