

Análisis de la presencia de fármacos en depuradoras para el fomento de la reutilización segura de aguas residuales

Los casos de Santa Lucía y Sureste de Gran Canaria (proyecto ADAPTaRES)



Rayco Guedes Alonso¹, Javier Pacheco Juárez¹, Sarah Montesdeoca Esponda¹, Zoraida Sosa Ferrera¹, José Juan Santana Rodríguez¹, Gilberto Manuel Martel Rodríguez²

¹Universidad de Las Palmas de Gran Canaria | www.ulpgc.es • ²Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) | www.itccanarias.org

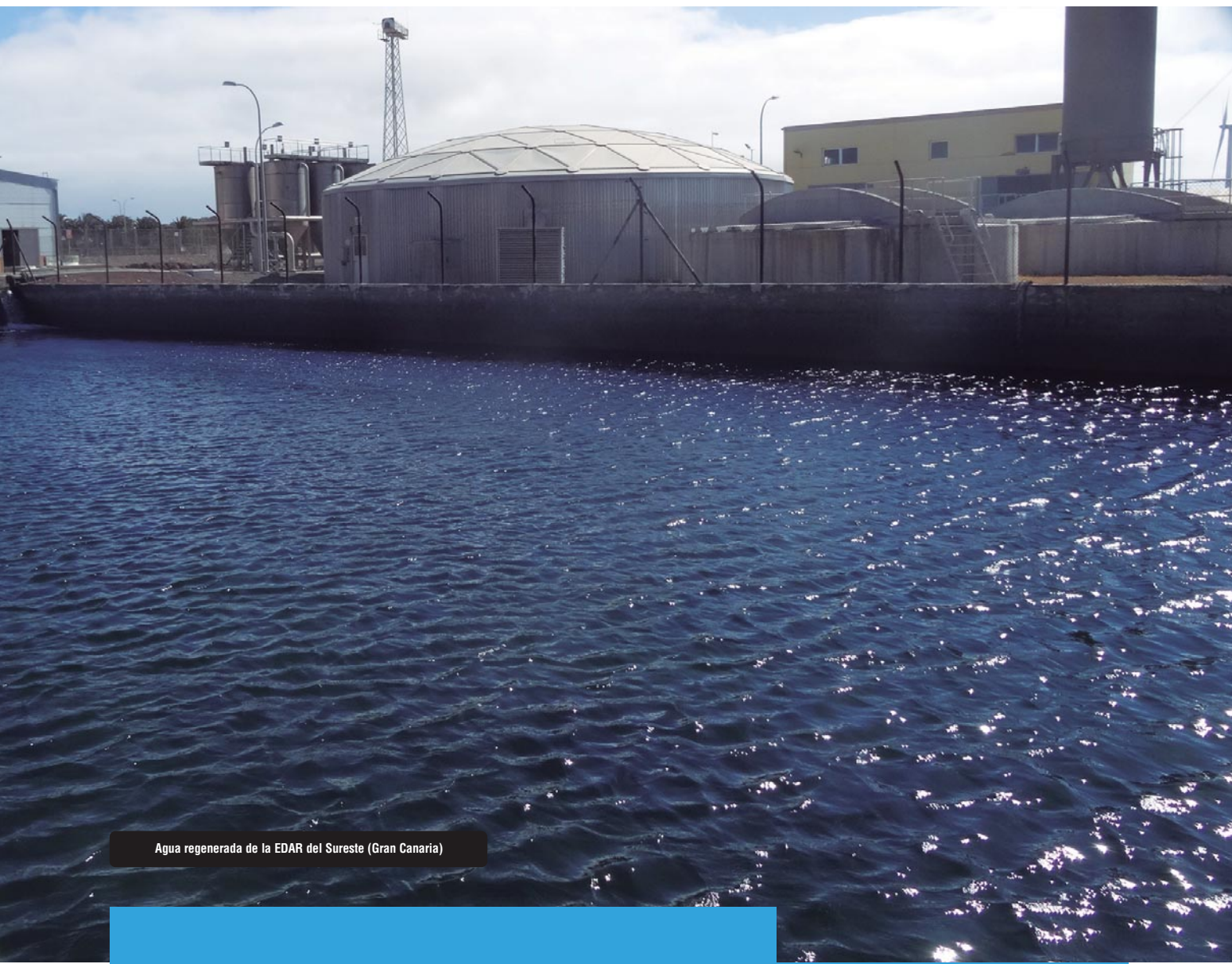
El objetivo del proyecto ADAPTaRES es promover la adaptación al cambio climático y la resiliencia ante riesgos específicos como la sequía a través de la reutilización de las aguas regeneradas. Para ello se han planteado diversas estrategias de sensibilización, información y cualificación, de evaluación de las tecnologías de tratamiento y de los sistemas de control de calidad, así como de demostración práctica de la reutilización y fomento de buenas prácticas de riego.

Entre los retos planteados para fomentar la reutilización como estrategia de adaptación al cambio climático, está demostrar su menor impacto ambiental y mínimo riesgo para la salud y el medio ambiente. De esta forma, se

considera relevante evaluar los contaminantes presentes en las aguas residuales tratadas, así como estudiar el comportamiento de las tecnologías de depuración, tanto las convencionales como naturales y de bajo coste energético, en su eliminación.

De los múltiples tipos de contaminantes orgánicos que llegan diariamente al medio se puede destacar la familia de los compuestos farmacéuticos, cuyo consumo se cifra en toneladas en la UE, debido a los posibles efectos nocivos que pueden producir en los ecosistemas acuáticos. La contaminación debida a residuos farmacéuticos se debe principalmente al vertido de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales las cuales no están diseñadas para elimi-

nar este tipo de contaminantes de las aguas. De hecho, la legislación actual no establece límites de concentración para residuos farmacéuticos en agua, por lo que la eliminación de estos compuestos queda supeditada a la efectividad de los tratamientos de depuración que en ellas se aplican. No obstante, la inquietud por parte de la comunidad científica acerca de este importante problema medioambiental ha llevado a que la Comisión Europea haya añadido a su Directiva Marco del Agua una lista de vigilancia (*Watch list*) cuyo fin es la recopilación de datos sobre la presencia de algunos compuestos o familias de compuestos emergentes en la Unión Europea para determinar la necesidad de añadir a éstos a las listas de contaminantes



Agua regenerada de la EDAR del Sureste (Gran Canaria)

ESTE TRABAJO APORTA INFORMACIÓN SOBRE LA PRESENCIA DE FÁRMACOS EN LAS AGUAS RESIDUALES, DEPURADAS Y REGENERADAS DE DOS EDAR DE GRAN CANARIA DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS Y ESCALAS. LOS RESULTADOS EVIDENCIAN LA CALIDAD DE LAS AGUAS OBTENIDAS, AYUDANDO A PROMOVER LA REUTILIZACIÓN COMO HERRAMIENTA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO ●

prioritarios. En dicha lista se recoge un antiinflamatorio no esteroideo, el diclofenaco, debido a los efectos nocivos ampliamente demostrados que puede provocar en el medioambiente.

En este contexto, en la última década en España se han llevado a cabo múltiples estudios sobre la presencia de residuos farmacéuticos en las aguas residuales y la eficacia de los tratamientos de depuración en su eliminación. Sin embargo, Canarias presenta una hidrología y características bastante diferen-

tes de las del territorio peninsular, por lo que dentro del Proyecto ADAPTaRES, liderado por el Instituto Tecnológico de Canarias, el Grupo de Investigación de Análisis Químico Medioambiental (AQ-MA) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria desarrolló una actividad consistente en un monitoreo de residuos farmacéuticos en dos estaciones depuradoras de la isla de Gran Canaria. Una de ellas, situada en el sureste de la isla, donde se asienta una importante cantidad de población (en torno a 100.000 habitantes), basada en sistemas de depuración convencionales como los lodos activados y sistemas terciarios de microfiltración y ósmosis inversa, y otra situada en una zona rural de la isla basada en sistemas de depuración natural como humedales artificiales de flujo vertical y horizontal.

El monitoreo realizado se extendió durante dos años y en ambas estaciones depuradoras y se tomaron muestras mensuales tras cada uno de los tratamientos que en ellas se realizan. Asimismo, se tomaron muestras del agua influente para conocer las concentraciones de fármacos en el agua sin tratar. En este estudio se analizaron 11 fármacos pertenecientes a diferentes grupos terapéuticos tales como antiinflamatorios no esteroideos (diclofenaco, naproxeno e ibuprofeno), estimulantes (cafeína, paraxantina y nicotina) antiepilépticos (carbamazepina), reguladores lipídicos (gemfibrozilo), betabloqueantes (atenolol) o antibióticos (eritromicina y trimetoprima). Debido a las bajas concentraciones a las que se encuentran estos contaminantes, del orden de partes por billón ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) a partes por trillón ($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$), es necesario aplicar pretratamientos de muestra que permitan extraer y preconcentrar estos compuestos, como la extracción en fase sólida (SPE), así como utilizar metodologías analíticas de alta sensibilidad como la cromatografía líquida de alta resolución con detección

Dentro del Proyecto ADAPTaRES se ha llevado a cabo un monitoreo de residuos farmacéuticos en dos estaciones depuradoras de la isla de Gran Canaria. Una de ellas, situada en el sureste de la isla basada en sistemas de depuración convencionales, y otra situada en una zona rural de la isla basada en sistemas de depuración natural

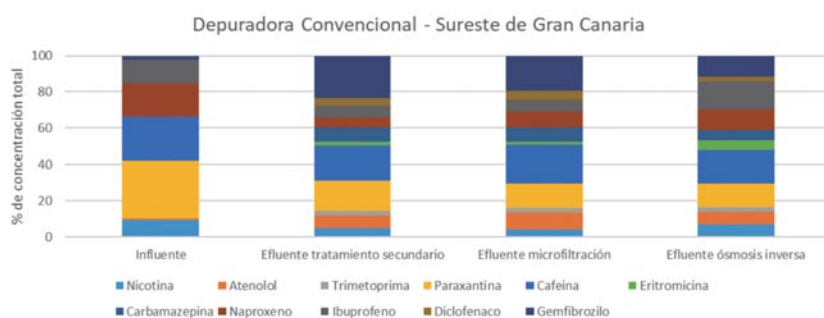


Figura 1: Distribución de los fármacos detectados en los diferentes procesos de la EDAR convencional del Sureste de Gran Canaria

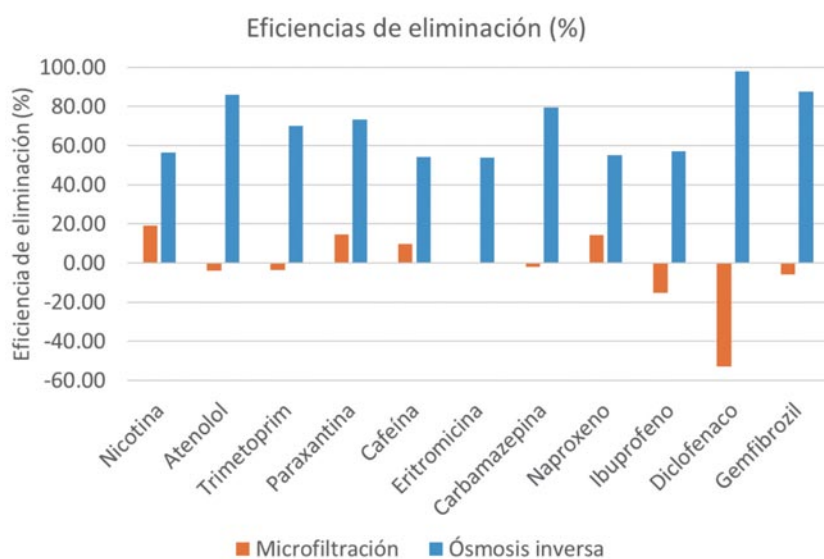


Figura 2: Eficiencias de eliminación de fármacos en los tratamientos terciarios aplicados en la EDAR convencional del Sureste de Gran Canaria

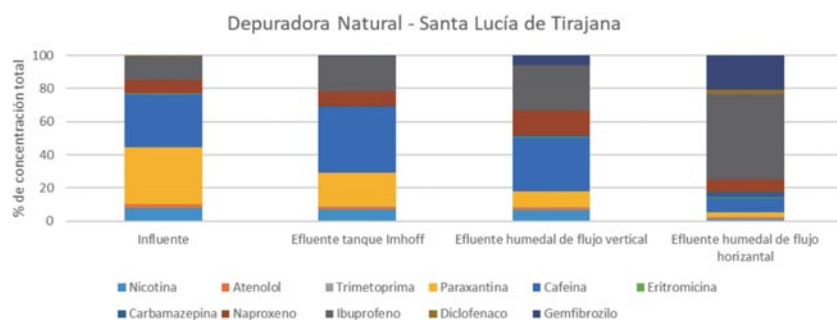


Figura 3: Distribución de los fármacos detectados en los diferentes procesos de la EDAR natural de Santa Lucía, Gran Canaria

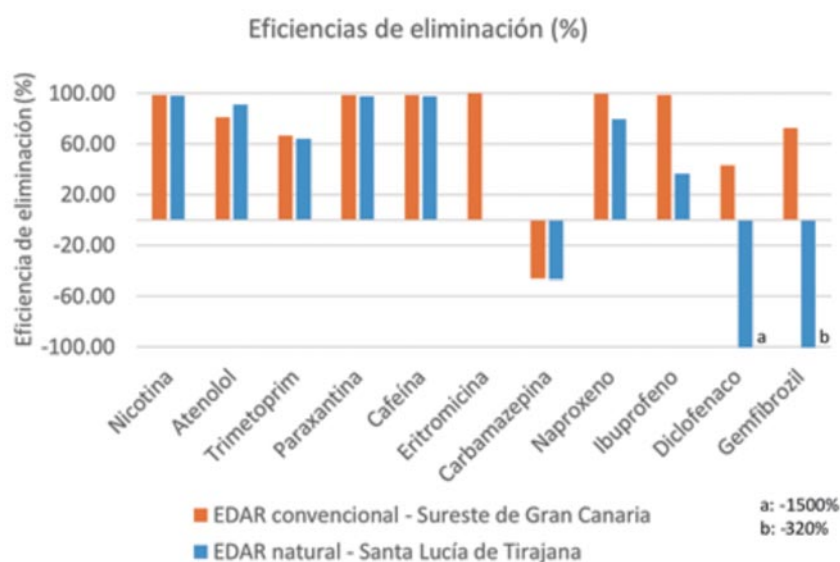


Figura 4: Eficiencias de eliminación de fármacos tras el tratamiento secundario de la EDAR convencional del Sureste de Gran Canaria y tras los tratamientos de la EDAR natural de Santa Lucía

mediante espectrometría de masas de triple cuadrupolo (HPLC-MS/MS).

En cuanto a los resultados obtenidos, a la entrada de la depuradora convencional se detectaron todos los compuestos estudiados en más del 80% de las muestras analizadas, a excepción del diclofenaco (detectado en un 47% de las muestras) y de la eritromicina (detectada en un 16% de las muestras). Las concentraciones más altas correspondieron a los tres estimulantes estudiados, debido probablemente a su excreción derivada del consumo de café y tabaco, y a dos antiinflamatorios ampliamente consu-

midos, el ibuprofeno y el naproxeno. Las concentraciones medias de estos compuestos se situaron entre 9,6 y 40,1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Para el resto de compuestos terapéuticos, las concentraciones variaron en el rango de los $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. Como se puede ver en la figura 1, las concentraciones de los estimulantes estudiados supusieron más del 60% de la cantidad total de fármacos detectada en el agua sin tratar. En la EDAR del Sureste de Gran Canaria, la suma de las concentraciones medias de los 11 fármacos estudiados fue de 150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Tras los tratamientos primarios y secundarios llevados a cabo en la EDAR,

la suma de las concentraciones medias bajó a 3 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, lo que supone una importante eliminación de fármacos utilizando tratamientos convencionales como los lodos activos. Las reducciones más notables se produjeron en los estimulantes y los antiinflamatorios, mientras que otros compuestos como la carbamazepina o el diclofenaco presentaron concentraciones prácticamente similares, suponiendo más del 20% de la concentración total de fármacos tras estos tratamientos. Este fenómeno coincide con estudios similares que han determinado que este tipo de compuestos son altamente recalcitrantes pues los tratamientos de depuración no consiguen eliminarlos de las aguas. Finalmente, de los tratamientos terciarios aplicados en esta EDAR la ósmosis inversa se reveló como un método de eliminación de fármacos muy efectivo. La suma de concentraciones medias tras el tratamiento terciario que combinaba microfiltración y ósmosis inversa quedó por debajo de 0,9 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Tal y como se muestra en la figura 2, las eliminaciones en el proceso de ósmosis inversa se situaron por encima del 50%, incluso para aquellos compuestos recalcitrantes como la carbamazepina o el diclofenaco.

Por otra parte, el estudio en la depuradora natural situada en el núcleo poblacional rural de Santa Lucía de unos 1.000 habitantes, pretendía establecer la eficacia de los tratamientos naturales en la eliminación de fármacos. Teniendo en cuenta el carácter doméstico de las aguas, las concentraciones a la entrada de la EDAR fueron similares a las obtenidas en la depuradora convencional. De hecho, la suma de las concentraciones medias en el influente de esta EDAR fue de 117 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Al igual que en la depuradora convencional del Sureste, las mayores concentraciones correspondieron a los tres estimulantes estudiados, así como al naproxeno y al ibuprofeno, tal y como se muestra en la



Este trabajo permite arrojar luz sobre la presencia de residuos farmacéuticos en las aguas regeneradas con el fin de que las autoridades competentes en materia de aguas cuenten con información real y actualizada de la presencia de estos compuestos y que ésta sirva como base para articular reglamentaciones adecuadas

figura 3. En esta depuradora, antes del tratamiento mediante humedales, el agua pasó por un tratamiento primario que no tuvo casi efecto en la eliminación de fármacos, ya que las concentraciones tras este tratamiento fueron muy similares a las de entrada, tal y como demuestra la distribución de fármacos representada en la figura 3. Por el contrario, los humedales sí tuvieron un importante efecto en la eliminación de fármacos. El primer tratamiento, basado en un humedal vertical sin plantas permitió reducir la cantidad de fármacos en las aguas tratadas, obteniéndose una suma de concentraciones medias a la salida de unos $50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Al igual que ocurriera en la depuradora convencional, las mayores eliminaciones se produjeron en estimulantes o antiinflamatorios, mientras que se mantuvieron estables para aquellos compuestos recalcitrantes. Por su parte, el tratamiento posterior, basado en un humedal de flujo horizontal, plantado con anea (*Typha domingensis*), una especie nativa de Canarias, presentó también una importante capacidad de eliminación de los residuos farmacéuticos, logrando eliminaciones para muchos de los fármacos estudiados superiores al 50%. Al igual que ocurriera con el humedal de flujo vertical, las concentraciones de carbamazepina se mantuvieron estables, lo que demuestra que al igual que los tratamientos convencionales, la degradación de este tipo de compuestos supo-

ne un importante desafío. Finalmente es importante destacar que para algunos compuestos como el diclofenaco o el gemfibrozilo se obtuvieron eliminaciones globales negativas, lo que significa que las concentraciones en el efluente final fueron superiores a las de entrada a la planta. Esto puede deberse a una deconjugación de las moléculas durante el tratamiento de depuración, es decir, que estas moléculas lleguen a la depuradora metabolizadas tras su uso como medicamento, de tal forma que no son detectadas y a medida que se produce el proceso de depuración pierdan los grupos químicos conjugados de su estructura volviendo a quedar como moléculas libres, pudiendo ser detectadas y cuantificadas. Comparando las tecnologías de depuración de ambas estaciones depuradoras, podemos concluir, tal y como se muestra en la figura 4, que los tratamientos naturales presentan una capacidad de eliminación similar a los tratamientos secundarios seguidos en EDARs convencionales para la mayoría de compuestos. De hecho, se obtienen eliminaciones moderadas o altas para la mayoría de compuestos, especialmente estimulantes y antiinflamatorios, que son aquellos con concentraciones más altas en el agua, lo que permite obtener unas aguas regeneradas con un riesgo asociado a la presencia de este tipo de compuestos bastante bajo.

Con este trabajo se pretende arrojar luz sobre la presencia de residuos far-

macéuticos en las aguas regeneradas, lo cual permite, por un lado, que las autoridades competentes en materia de aguas obtengan información real y actualizada de la presencia de estos compuestos y que ésta sirva como base para articular reglamentaciones adecuadas. Por otro lado, estos resultados permiten evidenciar la calidad de las aguas regeneradas obtenidas tanto en estaciones convencionales como naturales, lo cual puede ayudar a desterrar mitos entre aquellos consumidores de aguas regeneradas, como los agricultores. A la vista de que las eliminaciones de fármacos han sido notables, pero no totales, las investigaciones futuras deben encaminarse al desarrollo de metodologías que permitan eliminar completamente los residuos farmacéuticos de las aguas residuales, especialmente aquellos con un carácter recalcitrante.

El estudio completo ha sido publicado en acceso abierto (Open Access) en el volumen 25 de la revista científica *Molecules* de la editorial MDPI.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto ADAPTaRES (MAC/3.5b/102) cofinanciado por el programa INTERREG MAC (2014-2020) de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Asimismo, los autores quieren agradecer a la Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria su disposición y ayuda en la toma de muestras de las estaciones depuradoras que gestionan. ●