

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

EMERGENTcy (EFA 37/01)

Diagnóstico, eliminación y prevención
de antibióticos y otros contaminantes
emergentes, bacterias resistentes y
genes de resistencia a antibióticos en el
ciclo urbano del agua del territorio
POCTEFA



CONAMA 2024

EMERGENTcy (EFA 37/01): Diagnóstico, Eliminación y Prevención de Antibióticos y Otros Contaminantes Emergentes, Bacterias Resistentes y Genes de Resistencia a Antibióticos en el Ciclo Urbano del Agua del Territorio POCTEFA.

Autor Principal: Natividad Miguel Salcedo (Grupo Agua y Salud Ambiental. Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón)

Otros autores: Sindy Dayana Jojoa-Sierra (Navarra de Infraestructuras Locales S.A.; Grupo Agua y Salud Ambiental. Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón); Itsaso Ilzarbe Senosiain (Navarra de Infraestructuras Locales S.A); Rosa Mosteo Abad (Grupo Agua y Salud Ambiental. Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón); María Pilar Goñi Cepero (Grupo Agua y Salud Ambiental. Universidad de Zaragoza. Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón)

ÍNDICE

1. Resumen
2. Objetivos
3. Problemática
4. Líneas de acción
5. Bibliografía

1. RESUMEN

Los contaminantes emergentes (CE) son sustancias cuya presencia en el medio ambiente recientemente ha despertado preocupación debido a los posibles efectos nocivos para la vida en general (Lofrano et al., 2020). Si bien su presencia no es nueva, sí lo es su detección, que es posible gracias al avance en los métodos analíticos que permite cuantificarlos niveles de concentración del orden de $\mu\text{g/L}$ o incluso ng/L (Puri et al., 2023). El número de sustancias que pueden considerarse emergentes es indeterminado e incluye plaguicidas, antiparásitos y otros biocidas; aditivos de materiales empleados como antioxidantes, retardantes de llama, plastificantes, protectores anticorrosivos; productos del hogar o cuidado personal y fármacos de uso humano o veterinario como analgésicos/antiinflamatorios, antibióticos, reguladores de lípidos, anticonceptivos, esteroides. Algunas de estas sustancias son tóxicas y/o bioacumulables y/o biotransformables, con posibles carcinógenos, mutagénicos o embriogénicos (Gogoi et al., 2018).

Los antibióticos llaman especialmente la atención pues representan una amenaza para el medio ambiente y en algunos casos para la salud pública (Solaun et al., 2021). La presencia en cualquier medio de antibióticos genera una presión selectiva de poblaciones, por tanto, promueve el desarrollo de bacterias resistentes (ARB) y, a su vez, a la propagación de genes de resistencia (ARG) en los entornos naturales (Ahmed et al., 2024). Las bacterias y genes resistentes pueden influir no solo, en las poblaciones microbianas y organismos acuáticos endémicos, sino en la salud pública en general. De hecho, la resistencia a los antibióticos ha sido señalada como uno de los mayores desafíos para la salud mundial por la Organización Mundial de la Salud (OMS), ya que prolonga las estancias hospitalarias, incrementa los costos médicos y aumenta la mortalidad (Ahmed et al., 2024).

En la actualidad se unen esfuerzos para legislar sobre los contaminantes emergentes y abordar el problema de la resistencia a los antimicrobianos (AMR) (Puri et al., 2023). La Unión Europea ha centrado sus esfuerzos para mitigar la situación mediante el Plan de Acción Europeo One Health, iniciado en 2017 con especial atención en las aguas residuales. Los antibióticos, como otras sustancias usadas en la cotidianidad, llegan a las aguas residuales y a la naturaleza como resultado de una metabolización incompleta, una inadecuada gestión de los antibióticos sobrantes de los tratamientos, desechos de productoras farmacéuticas o por su extendido uso en la industria agrícola para la prevención de enfermedades y promoción de crecimiento

(Polianciuc et al., 2020). Estos mismos focos pueden ser fuente de bacterias y genes de resistencia. Por ello, la nueva Directiva sobre Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (TARU) aprobada en 2024 introduce la obligación de control de la presencia de resistencia a los antimicrobianos en las aguas residuales urbanas a fin de adoptar medidas adecuadas en el futuro. En el mismo sentido TARU incorpora los tratamientos cuaternarios y subraya la importancia de alcanzar estándares de agua más limpios y seguros, adecuándose a los desafíos emergentes de la contaminación acuática. Los tratamientos cuaternarios, entendidos como aquellos para eliminar los microcontaminantes presentes en las aguas residuales serán de obligatoria implementación en las EDAR con más de 150.000 habitantes equivalentes.

Frente a este reto recientemente se han unido esfuerzos desde centros de investigación, universidades, gestores de aguas potables y depuradas, entre otras entidades para ejecutar iniciativas que puedan aportar en su resolución. Una primera aproximación se realizó con el OUTBIOTICS (EFA 183/16), un proyecto perteneciente al programa europeo POCTEFA, para la cooperación territorial entre España-Francia y Andorra, que tenía como objetivo detectar la presencia de antibióticos en aguas superficiales, estaciones de depuración y efluentes de industrias agrícolas y evaluar alternativas que permitieran eliminar o reducir su concentración a escala piloto. Para ello, inicialmente se realizó un diagnóstico del nivel de contaminación por antibióticos en aguas superficiales cercanas a explotaciones ganaderas y se pusieron en marcha nuevas herramientas de tratamiento de aguas para eliminar antibióticos (Gozzo et al., 2023; Moles et al., 2020, 2022). De las conclusiones obtenidas de OUTBIOTICS, sobresale la importancia de identificar los focos de emisión, lo que permitiría la eliminación en origen. Esta acción evita tratar grandes volúmenes de aguas como las decenas o centenas de metros cúbicos que llegan a las estaciones de depuración. Además, las mayores concentraciones detectadas en los puntos de origen hacen a las nuevas tecnologías más efectivas y económicamente viables.

A partir de lo aprendido en OUTBIOTICS, se propone para EMERGENTcy estudiar el origen, distribución y destino de antibióticos, bacterias resistentes, genes de resistencia y otros fármacos en el ciclo urbano del agua. El proyecto contempla identificar el alcance de los tratamientos convencionales en las líneas de aguas y fangos que se usan en las estaciones de depuración en la actualidad en el territorio POCTEFA, destacando ventajas y oportunidades de mejora. Además, con EMERGENTcy se plantea desarrollar tecnologías a escala piloto capaces de eliminar estos contaminantes, considerando su viabilidad técnica y económica. Con un enfoque preventivo, el proyecto contempla dos acciones. En primer lugar, se fortalecerá la sensibilización y concienciación del uso responsable de antibióticos, en colaboración con el Plan Nacional de Resistencia a los Antibióticos (PRAN), dirigido tanto a consumidores como a sectores sanitarios e industriales. En segundo lugar, el proyecto aspira a influir en la normativa autonómica para limitar la concentración de ciertos contaminantes emergentes en aguas residuales, en consonancia con la nueva propuesta de Directiva de Aguas de la Unión Europea.

Este proyecto es un esfuerzo integral para abordar la problemática de la resistencia a los antibióticos en el ciclo urbano del agua, en beneficio de la salud ambiental y humana en el territorio POCTEFA.

2. OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es analizar la presencia de contaminantes emergentes, especialmente antibióticos y bacterias resistentes, en el ciclo urbano del agua en el territorio POCTEFA. Para ello, se investigará su origen, distribución y destino. Además de desarrollar tecnologías de tratamiento innovadoras viables en términos técnicos y económicos, al tiempo que se promoverá la sensibilización y concienciación sobre el uso responsable de antibióticos. Así mismo, se busca influir en la regulación autonómica para limitar la concentración de estos contaminantes en aguas residuales, contribuyendo a la mitigación de la resistencia antimicrobiana y la protección de la salud ambiental y pública.

3. PLAN DE TRABAJO

El proyecto EMERGENTcy responde a este desafío mediante un enfoque estructurado en torno a tres ejes principales:

- Eje 1, Diagnóstico: Detección y cuantificación de CE, ARB y ARG:

Como punto de partida se lleva a cabo un estudio de diagnóstico que permita identificar los focos de contaminación y a su vez medir las concentraciones de contaminantes emergentes (antibióticos y otros fármacos) así como ARB y ARG en las diferentes etapas del ciclo del agua urbana en el territorio POCTEFA. Para esto se plantea hacer cuatro campañas de muestreo desde septiembre de 2024 hasta enero de 2026 en épocas de interés (septiembre y enero) considerando los registros de consumo reportados de sustancias antibióticas ((Plan Nacional Resistencia Antibióticos (PRAN))). Fueron elegidas cinco localidades de interés por su diversidad en tamaño poblacional, desarrollo industrial y ubicación dentro del territorio POCTEFA. Los muestreos se llevaron a cabo en (i) Redes de saneamiento, (ii) Aguas superficiales y (iii) plantas de depuración de aguas con el fin de determinar si la contaminación es difusa (proveniente de los hogares) o puntual (industria, hospitales, mataderos etc.). Así para la primera campaña:

- Se han identificado 44 puntos de interés (Difusa: 12% efluentes domésticos; Puntual: 36% efluentes procedentes de la industria farmacéutica, hospitales, residencias de mayores y mataderos; 24% aguas superficiales y 28% de EDARs).
- Se han puesto en marcha metodologías de extracción y concentración de las muestras para su análisis mediante cromatografía de líquidos acoplado a espectrometría de masas. Además, se estableció una lista de 50 sustancias como referencia para el seguimiento a lo largo del proyecto entre las que se encuentran antibióticos y otros fármacos como antiinflamatorios, analgésicos, antidepresivos y demás.
- Se ha elaborado una propuesta de familias de antibióticos para determinar mediante inmunoensayo ELISA que incluye: quinolonas, sulfonamidas, betalactamas y macrólidos.
- Se han seleccionado y puesto en marcha la metodología para el aislamiento de seis patógenos bacterianos incluidos en la lista de bacterias farmacorresistentes más peligrosas para la salud humana de la OMS, tres correspondientes al grupo de prioridad crítica y tres al grupo de prioridad alta.

-
- Se ha avanzado en la estandarización del proceso de laboratorio y bioanálisis de resultados usando estrategias de metagenómica mediante secuenciación de tercera generación para el estudio del resistoma en muestras de agua y fango
 - Las muestras se han caracterizado en términos fisicoquímicos considerando parámetros como pH, nitrógeno total, sólidos totales, conductividad, demanda química de oxígeno, entre otros.

- **Eje 2, Eliminación: Estudio y Desarrollo de Tecnologías para eliminar los CE, ARB y ARG:**

La fase de “Eliminación” se enfoca en analizar y reducir la contaminación por antibióticos y otros fármacos, genes de resistencia (ARG) y bacterias resistentes (ARB) en el territorio POCTEFA, evaluando si su origen es puntual o difuso para desarrollar estrategias específicas. El principal objetivo de esta acción será desarrollar tecnologías y mecanismos de control para la eliminación de antibióticos, ARG y ARB mediante la optimización de procesos de tratamiento de aguas residuales o fangos. Se desarrollará realizando estudios sobre:

- Eliminación en origen: Se instalarán tratamientos específicos en los puntos de mayor contaminación confirmados en la red de muestreo EMERGENTcy, usando distintas alternativas de tratamientos cuaternarios desarrollados en el marco del proyecto para eliminar antibióticos. Entre los tratamientos, se optimizará el proceso de fotocatalisis con TiO_2 y adsorción con carbón activo desarrollado en el proyecto OUTBIOTICS llevándolo a un TRL superior. Tal y como se concluyó en el proyecto mencionado, es más efectivo el tratamiento de antibióticos en aportes puntuales donde la concentración es mayor y el caudal menor.
- Desarrollo de carbón activo: con el fin de optimizar el tratamiento con carbón activo y reducir recursos necesarios, así como para realizar el aprovechamiento de residuos, se desarrollará un producto de carbón activo a base de residuos de mazorca de maíz para implementar en la eliminación de antibióticos.
- Eliminación en tratamientos de aguas: a pesar de que las depuradoras no están diseñadas con el fin de eliminar antibióticos, son capaces de reducir la carga de antibióticos que se emite al medioambiente. Así lo indica tanto la bibliografía como los resultados obtenidos en el proyecto OUTBIOTICS. Por ello, se seleccionarán los tratamientos biológicos más utilizados en la región POCTEFA, comparando la eficiencia de tecnologías como los filtros percoladores y el tratamiento de fangos activos para reducir antibióticos y ARB. Además, se considerarán variaciones operacionales como el tiempo de retención hidráulico y la temperatura entre otros para comprobar si se puede optimizar la eliminación de antibióticos.
- Eliminación en tratamientos de fangos: Dado que los fangos actúan como reservorios de antibióticos, se evaluarán métodos como la digestión anaerobia (mesófila y termófila) y el compostaje. También se analizará el impacto de estos fangos en parcelas agrícolas en cuanto a antibióticos y ARG.
- Ampliación de tratamientos cuaternarios: existen tratamientos cuaternarios específicos capaces de eliminar microcontaminantes, el inconveniente es que, en una primera

aproximación, el coste de estos tratamientos es superior al del resto del tratamiento de la EDAR completo. No obstante, se plantea realizar un análisis de viabilidad técnico-económico completo de las diferentes alternativas de tratamiento cuaternario, para valorar su futura utilización en las EDAR que sea necesario.

Este enfoque integral permitirá evaluar las tecnologías de eliminación más efectivas y su aplicación en el territorio POCTEFA.

- Eje 3: Sensibilización y regulación de los CE:

El tercer eje del proyecto es la Prevención y se centra en reducir la contaminación en origen mediante dos líneas de acción, sensibilización y concienciación para promover un uso responsable de los antibióticos; y avanzar en una legislación a nivel regional, que limite la concentración de vertido de ciertos contaminantes emergentes.

El uso excesivo o indebido de antibióticos es una de las causas del problema de las resistencias antibióticas, por ello es más efectivo atajar el problema de raíz y precisamente aquí es donde la concienciación y sensibilización de la población y del personal sanitario cobra mayor importancia. Se llevarán a cabo campañas educativas en colegios, institutos y comunidades, apoyadas por el Plan Nacional contra la Resistencia a los Antibióticos (PRAN). Estas iniciativas tienen como objetivo concienciar a la población y al personal sanitario sobre el uso excesivo de antibióticos y su relación con el desarrollo de RAM, utilizando materiales didácticos y metodologías adaptadas para un impacto efectivo.

Como punto de partida se ha iniciado una caracterización sobre las ideas que el público en general tienen sobre la resistencia bacteriana, la depuración de aguas y la relación de ambas con su vida cotidiana y el medio ambiente. Para esto se diseñó un estudio cualitativo que, mediante encuestas a una población de rangos de edad, educación y ruralidad representativos de Navarra permitan identificar los puntos de mayor interés.

El proyecto también busca revisar y mejorar la legislación regional para establecer límites en la concentración de sustancias emergentes y prioritarias en vertidos a colectores ya que por el momento no existe regulación alguna. Este esfuerzo está alineado con la nueva Directiva TARU. Este enfoque regulatorio es clave para prevenir la contaminación ambiental por antibióticos y otros contaminantes emergentes.

En conjunto, estas acciones buscan fomentar un entorno más saludable y sostenible, abordando el problema desde su raíz y estableciendo medidas efectivas de gestión y prevención.

4. SOCIOS DEL PROYECTO

Este proyecto se desarrolla por un consorcio de 7 entidades:

- Navarra de Infraestructuras S.A. (NILSA), líderes del proyecto, es una sociedad pública del Gobierno de Navarra creada en 1989 con la finalidad de garantizar el saneamiento y apoyar técnicamente a las entidades locales competentes en la gestión del ciclo integral del agua y los residuos urbanos en Navarra.

CONAMA 2024

EMERGENTcy (EFA 37/01): Diagnóstico, Eliminación y Prevención de Antibióticos y Otros Contaminantes Emergentes, Bacterias Resistentes y Genes de Resistencia a Antibióticos en el Ciclo Urbano del Agua del Territorio POCTEFA.

-
- Universidad de Zaragoza (UNIZAR), es una institución pública reconocida por sus programas académicos, grupos de investigación y proyectos. Los grupos AySA (Agua y Salud Ambiental) y GEAS (Grupo de Analítica Espectroscópica y Sensores), adscritos al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA), destacan por sus trabajos sobre el impacto de los contaminantes emergentes en la salud. También están desarrollando técnicas para detectar, caracterizar, cuantificar y eliminar estos contaminantes, con el objetivo de preservar los recursos hídricos.
 - Universidad de Navarra (UNAV), es una institución privada sin ánimo de lucro reconocida por su actividad docente, investigadora y asistencial. La investigación del Departamento de Microbiología y Parasitología se centra en el desarrollo de estrategias de diagnóstico, prevención y tratamiento de las infecciones causadas por microorganismos patógenos (virulencia, tipificación, inmunoprofilaxis vacunal y resistencia antimicrobiana)
 - Hospital Universitario de Navarra y Navarrabiomed, centro público de investigación biomédica creado en 2012 por el Gobierno de Navarra. Su misión es promover, facilitar y realizar investigación biomédica para mejorar el sistema sanitario público de la Comunidad Foral. En colaboración con la Universidad Pública de Navarra, es centro mixto desde 2016, promoviendo la investigación biomédica y fortaleciendo la competitividad regional del sector biosanitario.
 - El Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) es el mayor organismo público de investigación científica de Francia. Está representado en el proyecto por el laboratorio Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM). El IPREM reúne a más de 300 personas interesadas en el desarrollo de conocimientos fundamentales en química física, química analítica y microbiología, en relación con aplicaciones relativas a la estructura de los organismos vivos, la gestión del medio ambiente y las propiedades funcionales de distintas clases de materiales.
 - Ecocene, líder en comunicación y educación ambiental, desde hace más de 20 años, la asociación Ecocène sensibiliza a los jóvenes, al público en general, a las empresas y a las autoridades locales sobre las cuestiones medioambientales, en colaboración con el mundo científico. Diseña y dirige módulos de mediación para contribuir a la transición ecológica y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Ecocène se compromete a poner estos temas al alcance de todos, sea cual sea su nivel de concienciación o motivación
 - Eurocob, es el principal especialista europeo en la transformación de mazorca de maíz. La empresa ofrece un subproducto agrícola derivado del maíz de siembra para una gran variedad de aplicaciones, especialmente en salud animal, biocontrol y cosmética. Mediante la integración de la economía circular y la innovación, EUROCOB desempeña un papel central en la adición de valor a los recursos agrícolas, contribuyendo así a una industria más eco-responsable.

EMERGENTcy comenzó el 1 de enero de 2024 y finalizará el 31 de diciembre de 2026. Su presupuesto es de 1.999.748,35 €. Ha sido cofinanciado al 65% por la Unión Europea a través del programa Interreg VI-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2021-2027).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, S. K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R. H., Fareeq, A., Mahmood, K. A., & Mohamed, M. G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V. K., Tushara Chaminda, G. G., An, A. K., & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. In *Groundwater for Sustainable Development* (Vol. 6, pp. 169–180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
- Gozzo, S., Moles, S., Kińska, K., Ormad, M. P., Mosteo, R., Gómez, J., Laborda, F., & Szpunar, J. (2023). Screening for Antibiotics and Their Degradation Products in Surface and Wastewaters of the POCTEFA Territory by Solid-Phase Extraction-UPLC-Electrospray MS/MS. *Water (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/w15010014>
- Lofrano, G., Sacco, O., Venditto, V., Carotenuto, M., Libralato, G., Guida, M., Meric, S., & Vaiano, V. (2020). Occurrence and potential risks of emerging contaminants in water. In *Visible Light Active Structured Photocatalysts for the Removal of Emerging Contaminants: Science and Engineering* (pp. 1–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818334-2.00001-8>
- Moles, S., Gozzo, S., Ormad, M. P., Mosteo, R., Gómez, J., Laborda, F., & Szpunar, J. (2022). Long-Term Study of Antibiotic Presence in Ebro River Basin (Spain): Identification of the Emission Sources. *Water (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/w14071033>
- Moles, S., Mosteo, R., Gómez, J., Szpunar, J., Gozzo, S., Castillo, J. R., & Ormad, M. P. (2020). Towards the removal of antibiotics detected in wastewaters in the POCTEFA territory: Occurrence and TiO₂ photocatalytic pilot-scale plant performance. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/w12051453>
- Plan Nacional Resistencia Antibióticos (PRAN). (n.d.). *Plan Nacional Resistencia Antibióticos (PRAN)*. Retrieved May 30, 2024, from <https://www.resistenciaantibioticos.es/es/lineas-de-accion/vigilancia/mapas-de-consumo/consumos-antibioticos-humana>
- Polianciuc, S. I., Gurzău, A. E., Kiss, B., Georgia Ștefan, M., & Loghin, F. (2020). Antibiotics in the environment: causes and consequences. *Medicine and Pharmacy Reports*, 93(3), 231–240. <https://doi.org/10.15386/mpr-1742>
- Puri, M., Gandhi, K., & Kumar, M. S. (2023). Emerging environmental contaminants: A global perspective on policies and regulations. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 332). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117344>
- Solaun, O., Rodríguez, J. G., Menchaca, I., López-García, E., Martínez, E., Zonja, B., Postigo, C., López de Alda, M., Barceló, D., Borja, Á., Manzanos, A., & Larreta, J. (2021). Contaminants of emerging concern in the Basque coast (N Spain): Occurrence and risk assessment for a

CONAMA 2024

EMERGENTcy (EFA 37/01): Diagnóstico, Eliminación y Prevención de Antibióticos y Otros Contaminantes Emergentes, Bacterias Resistentes y Genes de Resistencia a Antibióticos en el Ciclo Urbano del Agua del Territorio POCTEFA.

better monitoring and management decisions. *Science of the Total Environment*, 765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142765>