



bluewater

CONTROL, TRATAMIENTO Y REDUCCIÓN DE MICRO PLÁSTICOS
Y CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS RESIDUALES
URBANAS Y EN EL MEDIO COSTERO FRONTERIZO

Evaluación del impacto de la aplicación de tratamientos terciarios/cuaternarios

ACTIVIDAD 3: Riesgos e impactos derivados de la
presencia de contaminantes emergentes (CEs) y
microplásticos (MPs) en el medio acuático

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal





Actividad 3: RIESGOS E IMPACTOS DERIVADOS DE LA PRESENCIA DE CONTAMINANTES EMERGENTES (CEs) Y MICROPLÁSTICOS (MPs) EN EL MEDIO ACUÁTICO

Acción 3.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TERCIARIOS/CUATERNARIOS

Fecha de actualización 02 / 12 / 2025

Versión 1

Autores CETAQUA

Participantes CETAQUA

Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	3
2.1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	3
3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UNA EDAR	6
3.1.a. Definición de objetivo y alcance	6
3.1.b. Inventario de análisis de ciclo de vida	9
3.1.c. Selección de categorías de impacto	9
3.1.d. Resultados de evaluación de impacto de análisis de ciclo de vida	10
3.1.e. Comparación EDAR	15
4. CONCLUSIONES	15
5. REFERENCIAS	16
6. ANEXO	16



1. INTRODUCCIÓN

La creciente presencia de microplásticos y contaminantes emergentes (CEs) en las masas de agua fluviales, de transición y costeras constituye un desafío ambiental de gran relevancia. Estos compuestos, presentes en numerosos productos de uso cotidiano y difíciles de eliminar mediante los tratamientos convencionales de depuración, pueden persistir en el medio acuático y generar efectos adversos sobre los ecosistemas y la calidad del agua. Su detección cada vez más frecuente en aguas superficiales y en efluentes de estaciones depuradoras ha puesto de manifiesto la necesidad de mejorar la eficiencia de los tratamientos existentes y de avanzar hacia estándares ambientales más exigentes.

En respuesta a esta problemática y a la nueva Directiva (UE) 2024/3019 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, el proyecto BlueWWater centra sus esfuerzos en evaluar la presencia y el comportamiento de estos contaminantes en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de ambas regiones transfronterizas, así como en analizar el grado de eliminación asociado a los tratamientos terciarios y cuaternarios.

En este entregable se presenta la evaluación ambiental de los tratamientos aplicados en las EDAR seleccionadas a ambos lados de la frontera (Galicia y Portugal), empleando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

2. METODOLOGÍA

2.1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El Análisis de Ciclo de Vida es una metodología estandarizada que permite abordar los impactos de una actividad dada. Se reconoce ampliamente como la herramienta más adecuada para respaldar la toma de decisiones, dado que evalúa los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o servicio a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida. Esta evaluación abarca desde la extracción de materias primas, la producción y distribución, hasta el uso y la gestión al final de su vida útil (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006). No obstante, los estudios de ACV no siempre abarcan todas las etapas del ciclo de vida, utilizando enfoques como "de la cuna a la puerta", "de la puerta a la tumba" o "de la puerta a la puerta".



Esta metodología se ha consolidado como una herramienta clave en distintas aplicaciones, entre las que destacan la identificación de oportunidades de mejora ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto o sistema, así como al apoyo de la toma de decisiones en ámbitos gubernamentales, empresariales y científicos. Además, resulta especialmente útil en estrategias de comunicación ambiental, como el uso de ecoetiquetas para informar al consumidor y reforzar el posicionamiento de productos sostenibles, y en la selección de indicadores que permiten caracterizar y evaluar el perfil ambiental de los sistemas analizados.

El ACV se desarrolla en torno a cuatro etapas de acuerdo a la ISO 14040 y 14044 (ISO 14040:2006) (Figura 1): i) definición de objetivo y alcance; ii) análisis de inventario; iii) evaluación de impacto; y iv) interpretación.

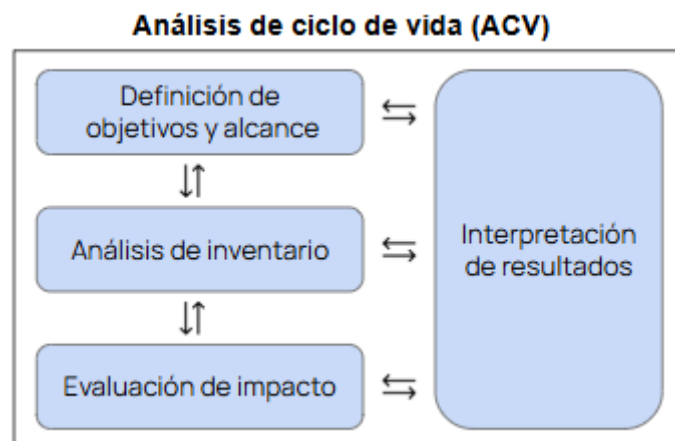


Figura 1. Marco de evaluación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Adaptado de la ISO 14040:2006.

- **Definición de objetivos y alcance:** En esta primera etapa se definen los objetivos y propósitos del estudio, así como el sistema bajo evaluación, definiendo sus límites y el público objetivo hacia el que está dirigido. El alcance determina la amplitud y profundidad del análisis, garantizando que esté alineado con el objetivo establecido, mientras que los límites del sistema especifican dónde comienza y termina el ciclo de vida en términos geográficos, temporales y tecnológicos. Además, también se selecciona la unidad funcional (UF), la cual se define como base de cálculo a la que se refieren los datos de entrada y salida.



- **Inventario de análisis de ciclo de vida (ICV):** Esta fase incluye la recopilación de datos, tanto cuantitativos como cualitativos, con el objetivo específico de determinar las entradas y salidas del sistema bajo estudio para cumplir con los objetivos establecidos. Los datos recopilados se clasifican principalmente en insumos de materias primas y energía, así como productos, coproductos y residuos. Además, se consideran las emisiones al aire, agua o suelo, junto con otros aspectos ambientales relevantes. Una vez recopilados los datos, se establecen los flujos para cada proceso unitario, tomando como referencia la unidad funcional (flujo de referencia).
 - Las fuentes de datos para realizar el ICV deberían ser preferentemente primarias, lo que implica un mayor esfuerzo en tiempo y costos. No obstante, aquellos datos que no puedan obtenerse directamente deben recogerse de la literatura científica, fuentes públicas y/o bases de datos.
 - Adicionalmente, es necesario documentar las decisiones tomadas durante el proceso, como las fuentes de datos, suposiciones, métodos de asignación, requisitos de calidad de datos y otros detalles relevantes.

- **Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV):** Esta fase tiene como objetivo traducir en cargas ambientales el inventario relacionándolas con cada categoría de impacto seleccionada. La fase de EICV debe incluir los siguientes elementos obligatorios, selección de categoría de impacto, clasificación y caracterización, y las tres siguientes etapas que son opcionales, normalización, agrupación y ponderación:
 - **Selección de categorías de impacto:** Se identifican y seleccionan las categorías de impacto, asegurando que se aborden todos los aspectos ambientales relevantes y pertinentes para el estudio específico, de acuerdo con los objetivos y el alcance definidos.
 - **Clasificación:** Este paso consiste en agrupar los datos del inventario según su posible impacto en las categorías previamente seleccionadas.
 - **Caracterización:** En esta etapa, los impactos dentro de cada categoría se convierten a una misma unidad, obteniendo un valor único para cada categoría de impacto. Para esta conversión se utilizan factores de caracterización específicos para cada categoría de impacto.
 - **Normalización:** implica calcular la magnitud de los resultados del indicador de la categoría en relación con la información de referencia.
 - **Agrupación:** es la agregación de las categorías de impacto en uno o más conjuntos.



- **Ponderación:** agrupa los resultados obtenidos a través de las diferentes categorías de impacto seleccionadas previamente en un solo puntaje de impacto. Para este propósito, se utilizan factores de ponderación, basados en juicios de valor subjetivos.
- **Interpretación de resultados:** Esta fase final consiste en extraer conclusiones y formular recomendaciones que permitan tomar decisiones alineadas con los objetivos y el alcance definidos. A menudo, requiere un enfoque iterativo, tanto dentro de la propia interpretación como en relación con las demás fases del ACV. Durante la recopilación y análisis de datos pueden surgir nuevas necesidades o limitaciones que obliguen a ajustar el estudio para garantizar que cumple con su propósito. Esta iteración continua es clave para afinar el análisis, identificar aspectos críticos que merecen mayor atención en futuras investigaciones y mejorar la calidad global de la evaluación.

3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UNA EDAR

3.1.a. Definición de objetivo y alcance

El objetivo de este estudio es evaluar ambientalmente los tratamientos terciarios y cuaternarios implantados en dos EDARs, una a cada lado de la frontera, Galicia y Portugal, con el fin de identificar ineficiencias, analizar diferentes configuraciones y comparar su impacto con los tratamientos convencionales.

La evaluación se centra en evaluar el desempeño ambiental de ambos escenarios, analizar los puntos críticos del sistema y aportar información técnica relevante para apoyar decisiones orientadas a la mejora del desempeño ambiental en la gestión del agua residual.

- **Unidad funcional**

En el ámbito de las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuya función principal es tratar aguas residuales (o, en el nuevo paradigma de transformación del modelo lineal de las EDAR hacia un modelo circular de ecofactorías donde se promueve la recuperación de agua,, nutrientes, energía, etc.), la unidad funcional (UF) más utilizada es el tratamiento de un volumen específico de agua residual (por ejemplo, 1 m³ de agua residual tratada), seguida de un volumen objetivo tratado (por ejemplo, 1 m³ de efluente tratado) (Corominas et al., 2020). Del mismo modo, otros estudios implementan UFs basadas en la eliminación de la carga de contaminantes (como DQO, nitrógeno o fósforo),



carga de contaminantes en el influente, masa de lodos o equivalente de población. Sin embargo, la consideración de la función de una EDAR como simplemente la eliminación de contaminantes de los influentes conlleva algunas limitaciones en la interpretación de los resultados obtenidos, ya que se descuidan la calidad del efluente y la eficiencia del tratamiento (Lorenzo-Toja et al., 2015).

En este estudio, cuyo objetivo es comparar el tratamiento convencional con un escenario orientado a la eliminación de contaminantes emergentes, resulta fundamental seleccionar una unidad funcional aplicable de manera consistente a ambos sistemas. Por este motivo, se ha elegido 1 m³ de agua residual tratada como unidad funcional.

- **Límites de sistema**

EDAR Convencional sin tratamiento terciario/cuaternario (EDAR BW-01-WW)

Los límites del sistema definidos para este escenario abarcan desde la entrada del agua residual a la EDAR hasta la descarga final del efluente tratado en el medio receptor. Como se muestra en la Figura 2, la planta consta de dos líneas principales: línea de aguas y línea de lodos. La línea de aguas incluye las etapas de desbaste, desarenado-desengrasado, un tratamiento primario basado en coagulación-floculación y un tratamiento secundario basado en lodos activados y decantación secundaria. También se consideran las emisiones del efluente al medio receptor, incluyendo la demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total, nitrógeno total y amonio. Respecto a la línea de lodos, estos son gestionados externamente, teniendo en cuenta su transporte y posterior tratamiento mediante un proceso de compostaje. Cabe mencionar que las arenas y grasas separadas en la etapa de pretratamiento también son gestionadas externamente y ha sido considerado su transporte y tratamiento.

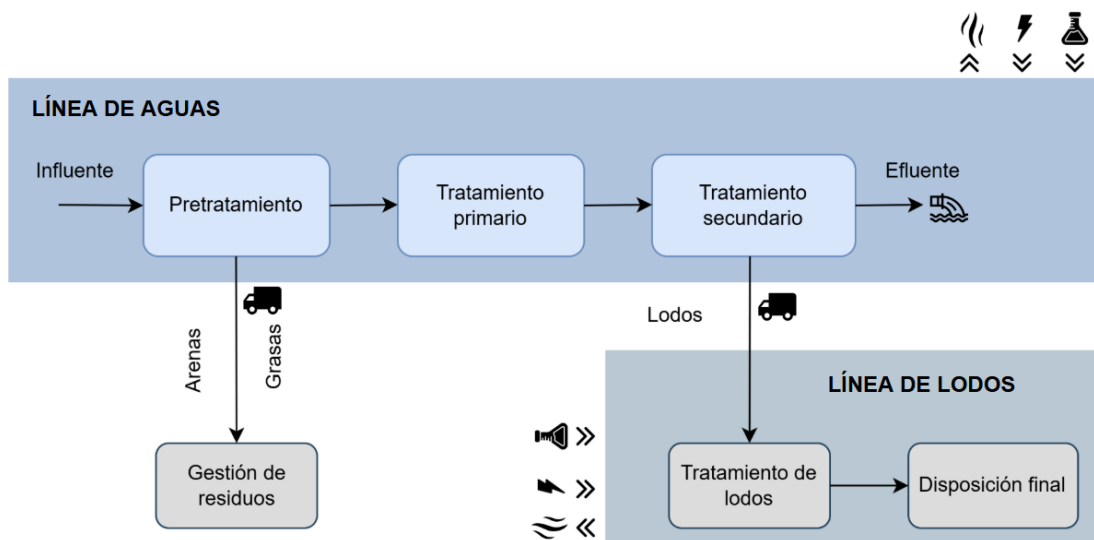


Figura 2. Límites de sistema de la EDAR convencional BW-01-WW.

EDAR con tratamiento terciario/cuaternario (EDAR BW-02-BWW, Galicia y EDAR BW-05-WW, Portugal)

Los límites del sistema definidos para el escenario con tratamiento terciario y cuaternario coinciden con los establecidos previamente para la EDAR convencional, abarcando desde la entrada del agua residual en la instalación hasta la descarga final del efluente tratado en el medio receptor. Además de las etapas incluidas en la línea de aguas y la línea de lodos descritas anteriormente, este escenario incorpora los procesos adicionales correspondientes a los tratamientos terciarios y cuaternarios implantados en la planta piloto, concretamente, biorreactor de membrana (MBR) seguido de un proceso de ozonización, nanofiltración y microfiltración, así como sus consumos asociados y las emisiones derivadas de su funcionamiento. Al igual que en el caso convencional, se considera también la gestión externa de los lodos, arenas y grasas generados. Cabe destacar que, en ambas EDAR, los lodos son previamente tratados mediante digestión anaerobia y, posteriormente, incorporados a un proceso de cogeneración para la producción de energía eléctrica y térmica.

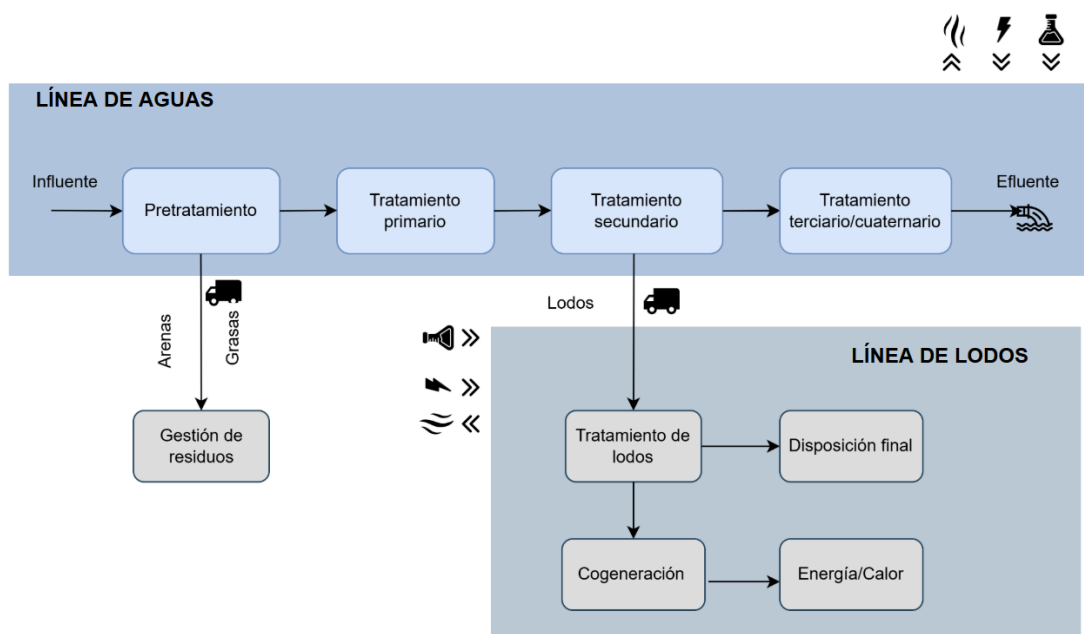


Figura 3. Límites de sistema de las EDARs BW-02-WW y BW-05-WW situadas en Galicia y Portugal, respectivamente.

3.1.b. Inventario de análisis de ciclo de vida

El inventario del análisis de ciclo de vida se elaboró a partir de los datos operativos de las distintas EDAR. La recopilación de datos se basó principalmente en la información suministrada por las empresas encargadas de la gestión de la planta. Esta información incluyó datos de operación, características del influente y efluente (incluidos sus parámetros de emisión), consumo de energía y reactivos, así como los residuos generados. Además, también proporcionaron datos relativos a actividades externalizadas, como el tratamiento y gestión de lodos.

En el caso de los datos de las tecnologías implementadas en la planta piloto, los datos de operación fueron suministrados por la Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Los datos secundarios relacionados con la energía y producción de reactivos, o tratamientos de residuos fueron obtenidos de la base de datos Ecoinvent 3.11 (FitzGerald & Sonderegger, 2023), siguiendo un enfoque “cut-off”. Además, el mix eléctrico español fue modelado de acuerdo al informe publicado por la Red Eléctrica Española (REE, 2025), estos procesos también se modelaron utilizando procesos de fondo siguiendo un enfoque “cut-off”.



3.1.c. Selección de categorías de impacto

Se seleccionó el método adaptado Environmental Footprint (EF) 3.1, desarrollado por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, para llevar a cabo la evaluación del impacto del ciclo de vida. Este análisis siguió un enfoque de tipo *midpoint* (Bassi et al., 2023).

Las categorías de impacto seleccionadas como más relevantes fueron: Acidificación (A) en mol H⁺ eq.; Cambio climático (CC) en kg CO₂ eq.; Ecotoxicidad agua dulce (FETP) en CTUe; Eutrofización marina (MEP) en kg N eq.; Eutrofización en agua dulce (FEP) en kg P eq.; Uso de recursos fósiles (RUf) en MJ; Uso de recursos minerales (RUm) y Consumo de agua (WU) en m³ privados. La selección de estas categorías se basa en estudios previos de ACV aplicados a EDAR (Corominas et al., 2020), ya que abordan cargas ambientales sobre distintas áreas de protección, tal como recomienda la guía PEFCR (PEFCR, 2018). El software utilizado para realizar la evaluación de impactos fue SimaPro 9.10 (PRé Sustainability, 2023). En este estudio no se realizaron las etapas de normalización ni de ponderación.

3.1.d. Resultados de evaluación de impacto de análisis de ciclo de vida

En este apartado se presentan los resultados de la evaluación de impactos ambientales. Se comparan y analizan de forma individual los escenarios objeto de estudio: EDAR convencional (BWW-01-WW), y las EDARs con tratamiento terciario/cuaternario (BWW-02-WW, Galicia y BWW-05-WW, Portugal). Asimismo, el análisis también se centra en la identificación de los procesos que presentan mayores contribuciones al impacto ambiental global.

EDAR Convencional sin tratamiento terciario/cuaternario (EDAR BW-01-WW)

El análisis de contribución de la EDAR BWW-01-WW se muestra en la Figura 4. Se observa cómo el consumo de electricidad en la planta presenta la mayor contribución de impactos en la mayoría de las categorías evaluadas, a excepción de las categorías FETP, MEP, FEP, con las siguientes contribuciones: acidificación (86 %), cambio climático (95 %), uso de los recursos fósiles (98 %), uso de los recursos minerales y metales (58 %) y consumo de agua (97 %). En contraste, el uso de reactivos químicos presenta una baja contribución en todas las categorías, sin superar el 5 % en todas las categorías, excepto RUm con una contribución de 42 %, siendo el cloruro férrico el mayor contribuyente a estos impactos. Por otro lado, el tratamiento de residuos, correspondiente al tratamiento de arenas y grasas y al proceso de compostaje de lodos, presenta una contribución muy baja en todas



las categorías de impacto, siendo máximos en la categoría de ecotoxicidad, además de reflejar un beneficio ambiental en la categoría de consumo de agua. Los impactos asociados a las emisiones de agua son significativos en las categorías de ecotoxicidad, eutrofización marina y agua dulce con una contribución de 64, 51 y 77 %, respectivamente.

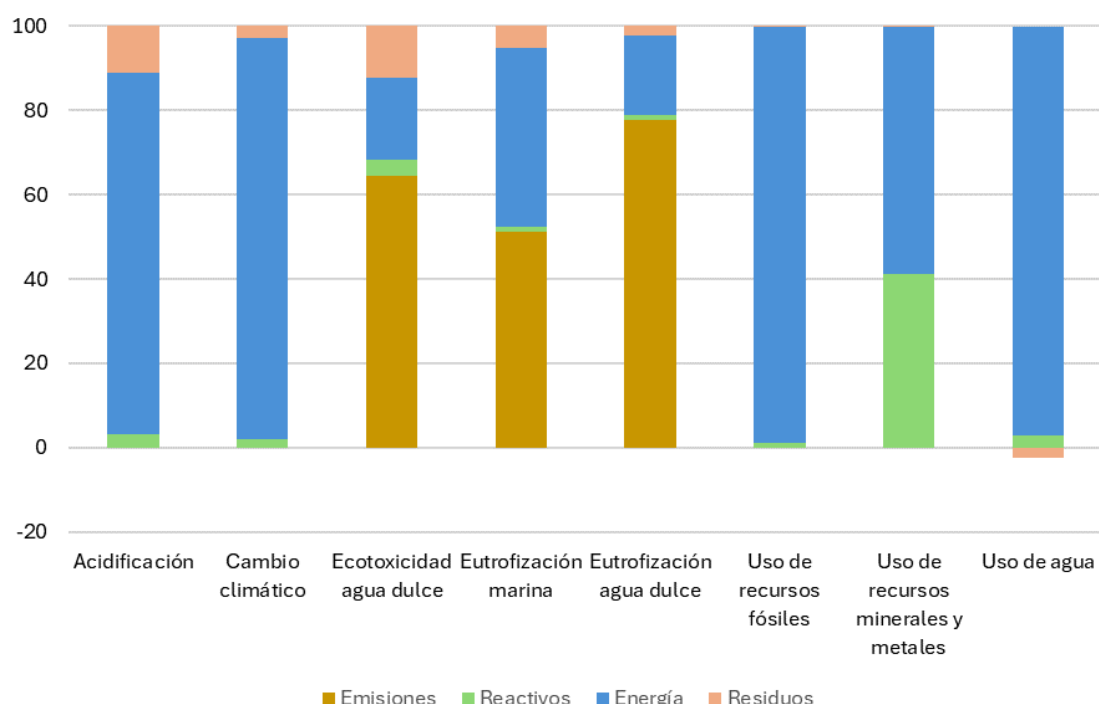


Figura 4. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-01-WW (por UF).

EDAR con tratamiento terciario/cuaternario (EDAR BW-02-BWW, Galicia y EDAR BW-05-WW, Portugal)

Tal como se muestra en la Figura 5, el análisis de contribución relativa para la EDAR BW-02-WW, situada en Galicia, revela que el consumo eléctrico de la planta presenta los mayores impactos en varias categorías evaluadas, concretamente en CC (64 %), RUF (72 %) y WU (67 %), mientras que en el resto de categorías, su contribución no supera el 10 %. De manera similar, los reactivos muestran contribuciones significativas en RUM (75 %), CC (20 %), WU (27 %) y RUF (13 %). El cloruro férrico y el polielectrolito son los reactivos que generan las mayores contribuciones dentro de los impactos asociados al uso de reactivos, mientras que las cargas ambientales asociadas al hipoclorito de sodio son



poco significativas. Por otro lado, las emisiones al agua constituyen el principal foco de impacto en FETP, FEP y MEP.

El proceso de tratamiento de lodos y tratamiento de arenas y grasas, presenta una contribución media de 4 % en todas las categorías evaluadas. Sin embargo, en la categoría de acidificación las emisiones asociadas al proceso de digestión anaerobia y cogeneración son el principal contribuyente.

En los análisis de contribución presentados en las Figuras 5, 6 y 7 se incluyen los impactos asociados a las tecnologías de tratamiento avanzado evaluadas: ozonización, nanofiltración y ósmosis inversa. En todos los casos, estas tecnologías muestran un perfil ambiental similar, con contribuciones medias de 9 %, 13,5 % y 9,7 % para cada una de ellas, respectivamente. En el caso de la ozonización, los impactos están principalmente asociados al consumo energético para la producción de ozono a partir de oxígeno y a la demanda eléctrica del proceso, mientras que en las tecnologías de nanofiltración y ósmosis inversa la electricidad constituye el principal contribuyente.

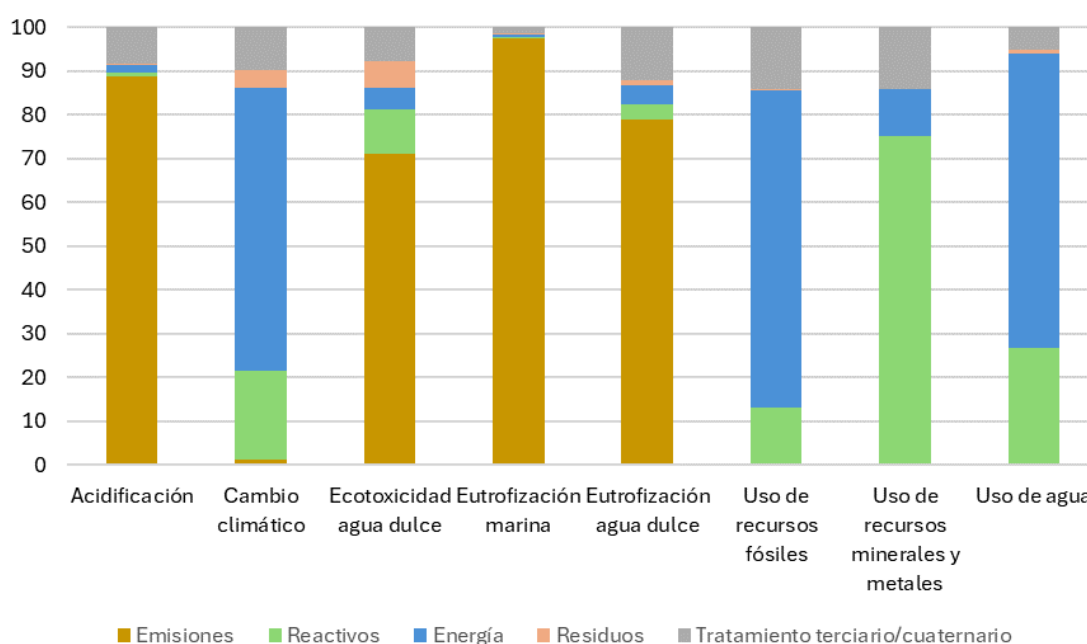


Figura 5. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-02-WW con tratamiento de ozonización como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).

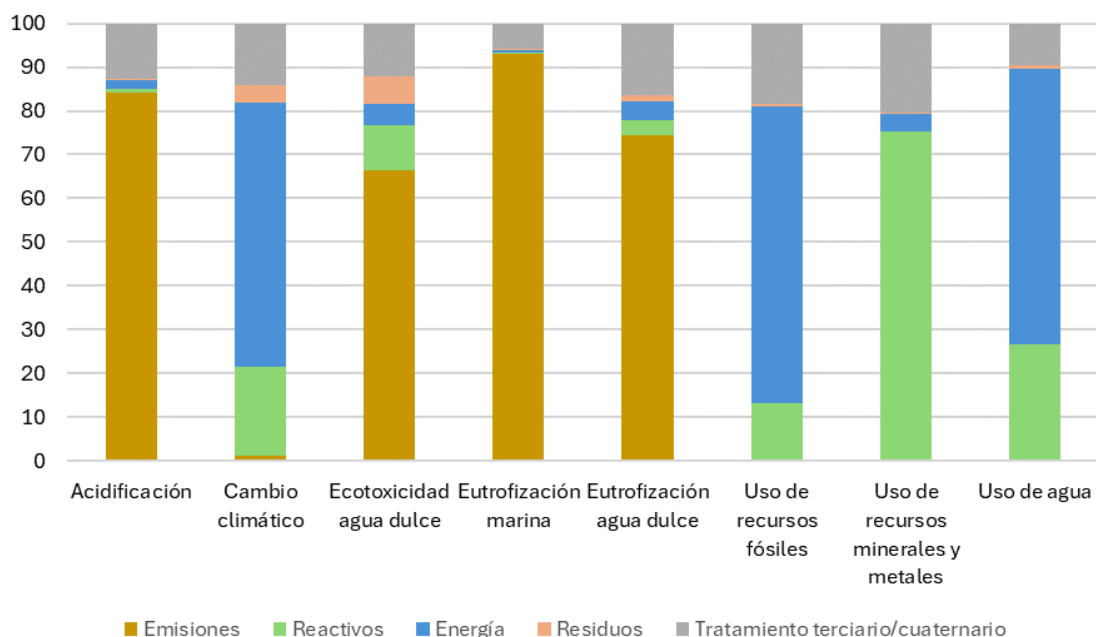


Figura 6. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-02-WW con tratamiento de nanofiltración como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).

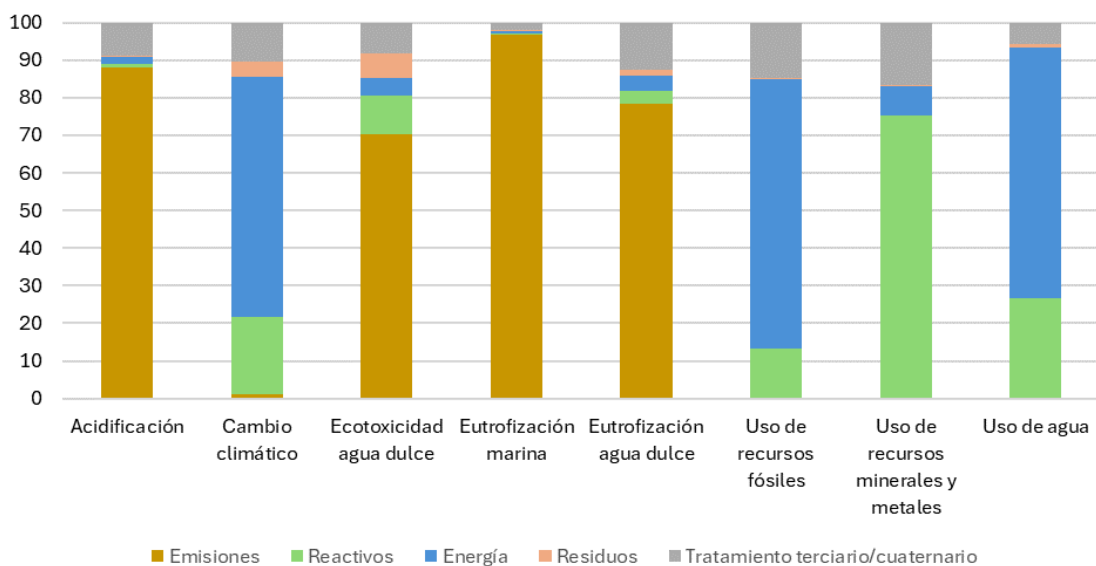


Figura 7. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-02-WW con tratamiento de ósmosis inversa como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).

Respecto a la EDAR BWW-05-WW, como se observa en las siguientes gráficas (Figuras 8, 9 y 10), el consumo energético de la instalación constituye el principal contribuyente de impacto en varias de las categorías analizadas. En concreto, destaca en CC (62 %),



RUF (78 %), RUm (33 %) y WU (81 %), mientras que en el resto de categorías su aportación permanece por debajo del 10 %.

De forma análoga, el uso de reactivos registra una aportaciones relevantes en la categoría RUm (44 %), mientras que en las categorías restantes no excede el 9 %. Dentro de este grupo, el hipoclorito de sodio y el polielectrolito son los compuestos que concentran la mayor parte de los impactos asociados.

Por otra parte, las emisiones al medio acuático son el principal origen de impactos en las categorías FETP, FEP y MEP. En cambio, las emisiones asociadas al proceso de cogeneración y digestión anaerobia contribuyen principalmente a la categoría de acidificación. En el caso de los residuos, el tratamiento de lodos, junto con la línea de arenas y grasas, presenta una contribución moderada, en torno al 12 %, en la mayoría de las categorías.

Además, el análisis de contribución relativo a la EDAR BW-05-WW en las Figuras 8, 9 y 10 integran los impactos asociados a las tres tecnologías de tratamiento avanzado analizadas: ozonización, nanofiltración y ósmosis inversa. En conjunto, estos procesos presentan comportamientos ambientales equiparables, con contribuciones promedio del 12 %, 16,5 % y 12,7 %, respectivamente.

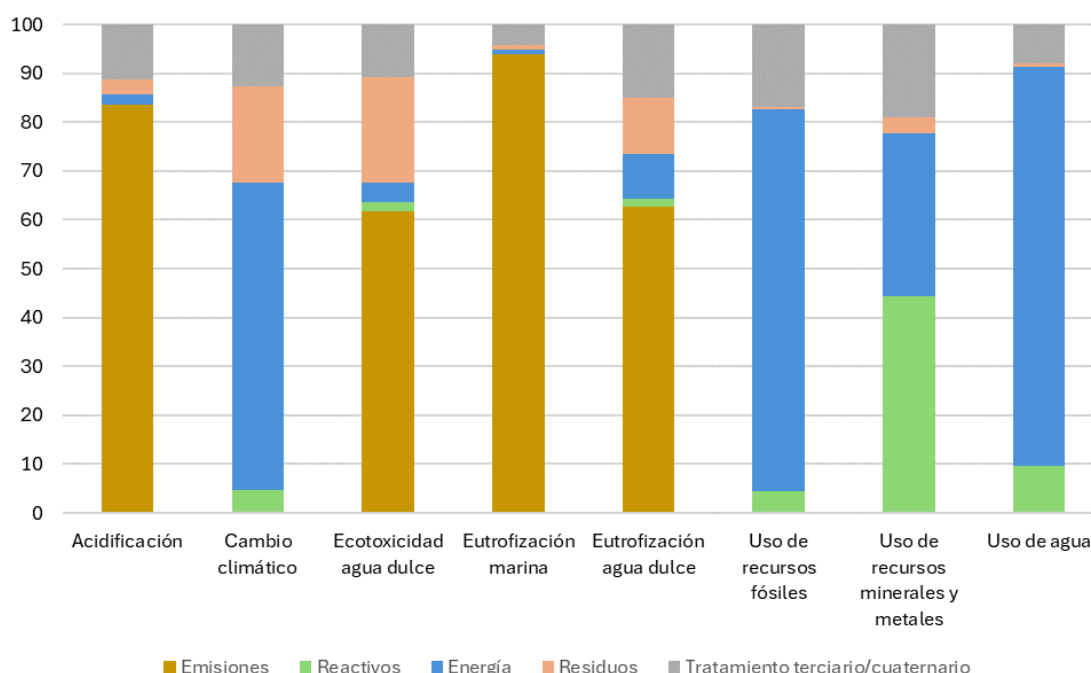


Figura 8. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-05-WW con tratamiento de ozonización como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).

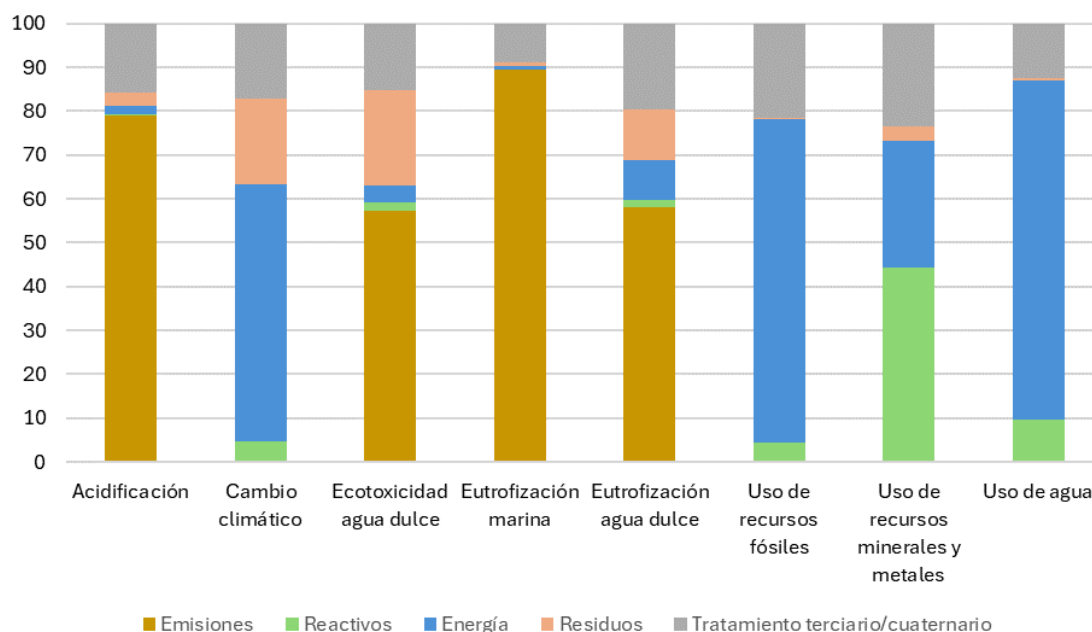


Figura 9. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-05-WW con tratamiento de nanofiltración como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).

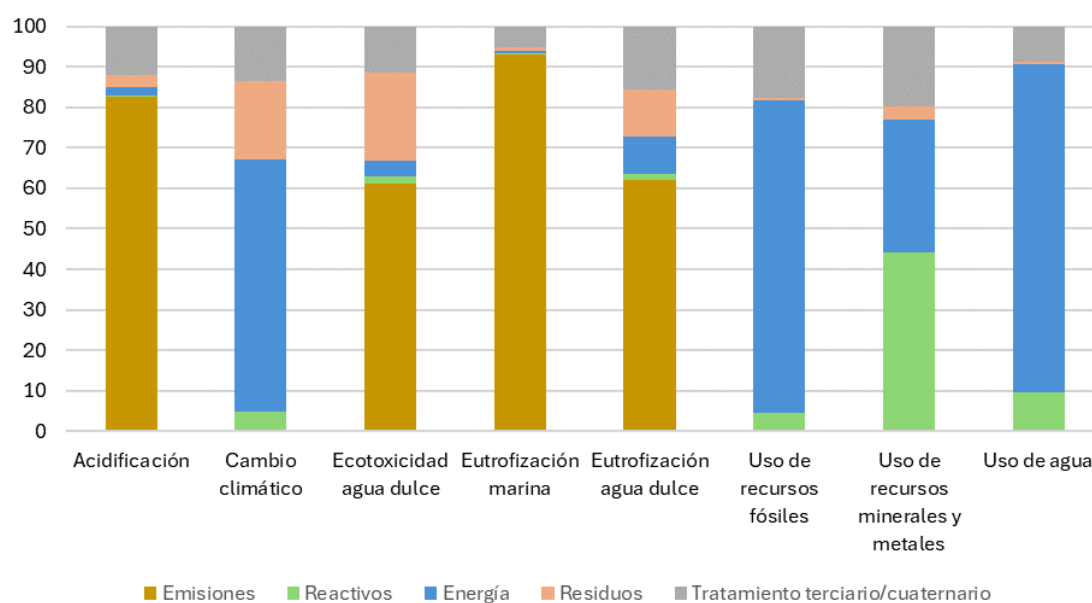


Figura 10. Contribución relativa al impacto de ciclo de vida de la EDAR BW-05-WW con tratamiento de ósmosis inversa como tratamiento terciario/cuaternario (por UF).



3.1.e. Comparación de impactos ambientales de las EDARs evaluadas

En esta sección se presenta la comparación entre ambas EDAR evaluadas a ambos lados de la frontera, así como de las diferentes tecnologías avanzadas de eliminación de contaminantes implementadas. Los resultados muestran que ambas instalaciones exhiben perfiles ambientales comparables. Además, como se puede observar en las Figuras 11 y 12, la EDAR convencional BWW-01-WW registra mayores impactos ambientales en todas las categorías de impacto evaluadas.

Esta diferencia se explica, en gran medida, por el hecho de que ambas EDAR cuentan con procesos de valorización de lodos mediante digestión anaerobia, que permiten la recuperación de energía en forma de biogás y su posterior conversión en electricidad. Además, destinan los lodos digeridos a compostaje y usos agrícolas, reduciendo así las cargas ambientales asociadas a su gestión. Adicionalmente, la implementación de tecnologías avanzadas contribuye a disminuir de forma notable la carga contaminante vertida al medio receptor, mejorando el desempeño ambiental observado en comparación con la EDAR convencional.

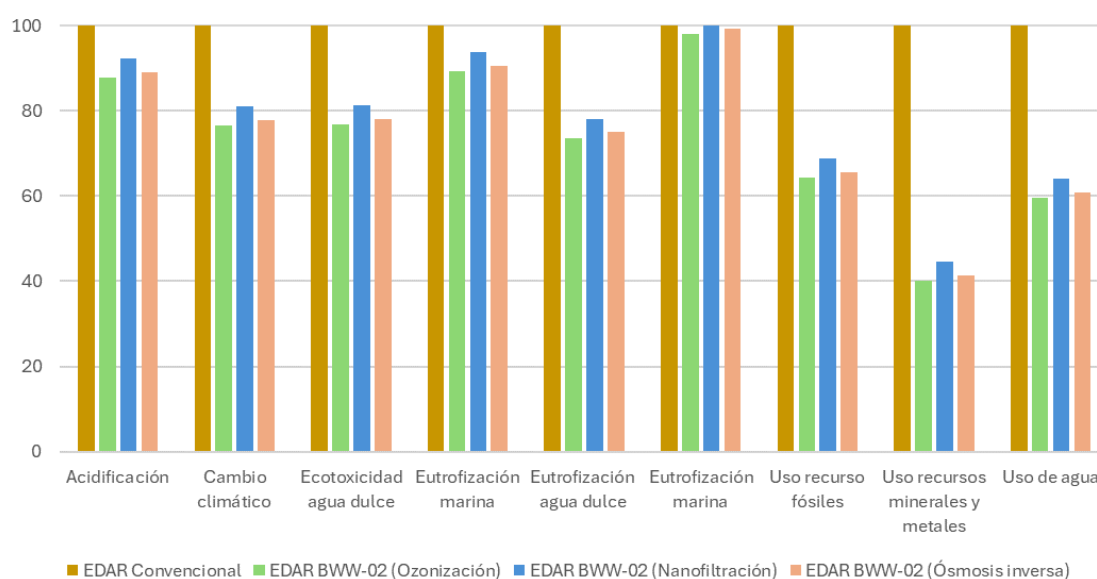


Figura 11. Comparación de los impactos del ciclo de vida entre la EDAR convencional y EDAR BWW-02-WW (por UF) con tratamientos avanzados.

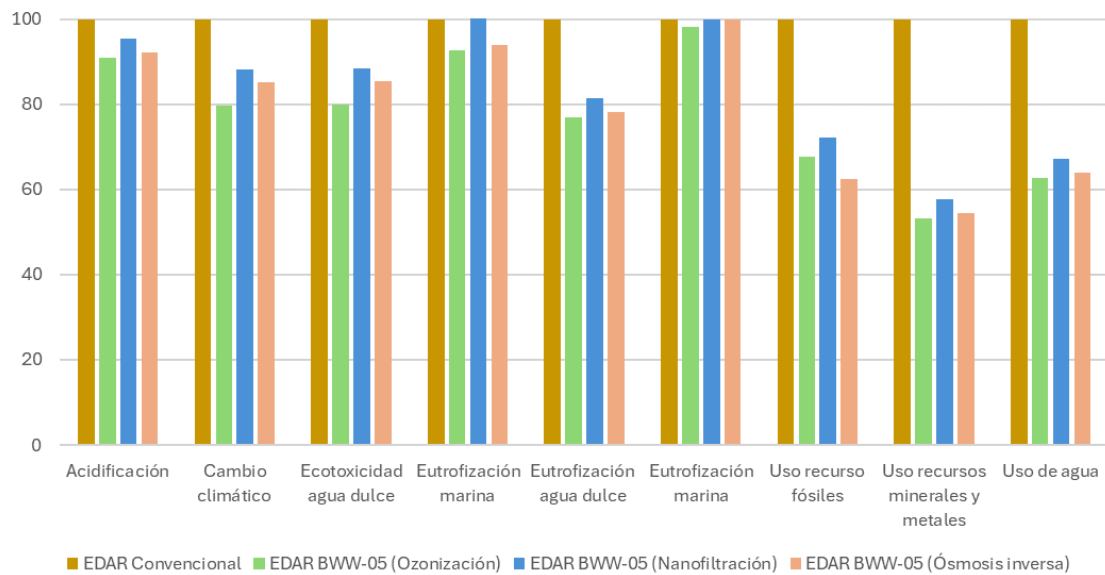


Figura 12. Comparación de los impactos del ciclo de vida entre la EDAR convencional y EDAR BWW-05-WW (por UF), con tratamientos avanzados.



4. CONCLUSIONES

En términos generales, el análisis realizado demuestra que la incorporación de tecnologías avanzadas de tratamiento, como puede ser la ozonización, nanofiltración y ósmosis inversa, en las EDAR evaluadas en ambos lados de la frontera ofrece un desempeño ambiental inferior al del escenario convencional. Si bien estos procesos requieren un mayor consumo energético, la reducción de la carga contaminante descargada al medio receptor, junto con las ventajas asociadas a la valorización de lodos mediante digestión anaerobia y cogeneración en estas instalaciones, compensan los impactos adicionales derivados de su operación. Como resultado, ambas EDAR dotadas de tratamientos avanzados presentan perfiles ambientales similares entre sí y favorables a los observados en la configuración convencional, con menores contribuciones en todas las categorías de impacto analizadas. Estos resultados destacan la importancia de avanzar hacia sistemas de depuración frente a la eliminación de contaminantes emergentes y microcontaminantes, cumpliendo con las nuevas exigencias regulatorias y contribuyendo eficazmente a la protección de los ecosistemas acuáticos.



5. REFERENCIAS

Bassi, S., Biganzoli, F., Ferrara, N., Amadei, A., Valente, A., Sala, S., & Ardente, F. (2023). Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/798894>

Corominas, L., Byrne, D.M., Guest, J.S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., Short, M.D., 2020. The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. Water Research 184, 116058. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058>

FitzGerald, D., & Sonderegger, T. (2023). Documentation of changes implemented in the ecoinvent database v3.10. database, 3(10). https://www.researchgate.net/profile/Paul-Beckert/publication/386086666_Documentation_of_changes_implemented_in_the_ecoinvent_database_v310/links/6742fac56dedd318c899cc21/Documentation-of-changes-implemented-in-the-ecoinvent-database-v310.pdf

ISO, 2006a. ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Standards Organization, Geneva.

ISO, 2006b. ISO 14044: Environmental Management-Life Cycle Assessment – Requirements and Management. International Standards Organization, Geneva.

Lorenzo-Toja, Y., Vázquez-Rowe, I., Amores, M.J., Termes-Rifé, M., Marín-Navarro, D., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2016. Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective. Science of The Total Environment 566–567, 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.110>

PEFCR, 2018. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance Available on: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf (2018), (acceso el 23 de Noviembre 2025).

PRé Sustainability, 2021. SimaPro Database Manual Library. Methods Library Available on: <https://support.simapro.com/articles/Manual/SimaPro-Methods-manual> (2021), (acceso el 23 de Noviembre 2025).

