

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Evaluación ambiental de un proyecto de apoyo al desarrollo: caso de estudio PDA de Murcia



CONAMA 2024

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN PROYECTO DE APOYO AL DESARROLLO: CASO DE ESTUDIO PDA DE MURCIA

Autor Principal: Carla Carreira García (Cetaqua)

Otros autores: Teresa Alvariño Pereira (Cetaqua); Eva Mena Gil (EMUASA); Pedro Villanueva Rey (Cetaqua)

INTRODUCCIÓN

HOOP

El proyecto H2020 HOOP (HUB OF CIRCULAR CITIES BOOSTING PLATFORM TO FOSTER INVESTMENTS FOR THE VALORISATION OF URBAN BIOWASTE AND WASTEWATER - 101000836) apoya a 8 ciudades y regiones faro en el desarrollo de iniciativas de bioeconomía circular urbana a gran escala que se centra en la producción o recuperación de productos de origen biológico de alto valor añadido a partir de residuos biológicos y aguas residuales urbanas. HOOP proporciona Asistencia para el Desarrollo de Proyectos de inversión (*Project Development Assistance, PDA*) para las siguientes ciudades: Albano-Laziale (Italia), Almere (Países Bajos), Bergen (Noruega), Kuopio (Finlandia), Münster (Alemania), Murcia (España), Gran Oporto (Portugal) y Macedonia Occidental (Grecia). El objetivo de las PDA desarrolladas es mejorar la madurez del proyecto de inversión en economía circular mediante un asesoramiento técnico, ambiental, económico y financiero de alta calidad proporcionado por los socios tecnológicos que conforman el consorcio de HOOP.

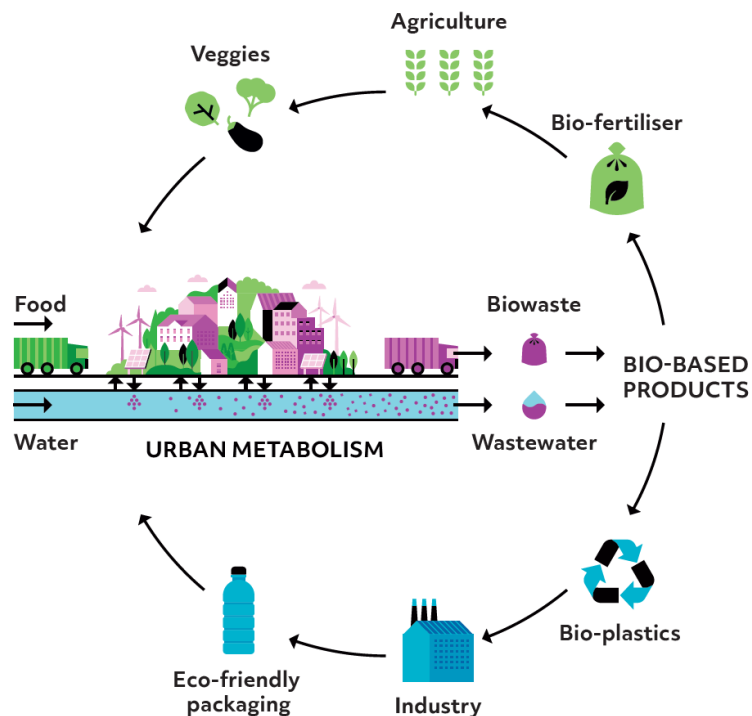


Figura 1. Conceptualización de los proyectos que impulsa el HOOP. (Proyecto europeo HOOP)

Objetivo de la comunicación

La presente comunicación tiene por objetivo presentar el asesoramiento ambiental incluido en la PDA desarrollada en la ciudad de Murcia dentro del proyecto HOOP, que llevó a cabo Cetaqua.

En esta ciudad se asesora sobre cómo implantar a escala real la tecnología de recuperación de nitrógeno a partir de las aguas residuales gestionadas en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Murcia Este, contribuyendo a la implantación de modelos de economía circular en la ciudad.

Recuperación de nutrientes

En un contexto de crecimiento demográfico, se prevé que las actividades agronómicas aumenten drásticamente. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) prevé que en 2050 la población mundial alcanzará los 9.700 millones de personas y, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para alimentar a esta población será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70%. Para ello, es necesario aumentar la producción de fertilizantes y es fundamental contar con alternativas más sostenibles.

Habitualmente se emplea el proceso Haber-Bosch para sintetizar amoníaco para fertilizantes nitrogenados (N), consume mucha energía, depende en gran medida de combustibles fósiles y contribuye aproximadamente al 1-2% de las emisiones mundiales de CO₂. El uso de fuentes alternativas de nitrógeno, como el N recuperado de las EDAR, puede reducir drásticamente la huella de carbono de la producción agrícola.

Las aguas residuales se sitúan como una de las principales alternativas como fuente de nitrógeno. Estas actúan como sumideros en la naturaleza y en la aglomeración humana de gran cantidad de nutrientes y compuestos. Una de las formas más habituales del nitrógeno en las aguas residuales urbanas es en forma de urea. También en forma de fertilizante fruto de las actividades agrícolas de la zona.

En este marco, el uso de aguas residuales como fuente de nitrógeno aparece como una alternativa muy prometedora que aumenta la circularidad de los nutrientes y reduce el impacto de la producción de fertilizantes nitrogenados Haber-Bosch. En estas últimas décadas se han desarrollado diferentes tecnologías para recuperación de nitrógeno de aguas residuales: intercambio iónico, *stripping*, sistemas bioelectroquímicos, cristalización de estruvita o tecnologías de membrana.

Las tecnologías de recuperación de nitrógeno a partir de aguas residuales apoyan los siguientes ODS:

- **ODS 6: Agua limpia y saneamiento.** La recuperación de nitrógeno contribuye a la gestión sostenible del agua y al tratamiento adecuado de las aguas residuales, evitando la contaminación de cuerpos de agua con nutrientes excesivos, como el nitrógeno. Esto ayuda a mejorar la calidad del agua y a reducir la eutrofización (proliferación de algas que afecta la vida acuática).
- **ODS 12: Producción y consumo responsables.** La recuperación de nitrógeno fomenta la economía circular, al transformar las aguas residuales en una fuente de nutrientes reutilizables en lugar de tratarlas como desechos. Al recuperar nitrógeno, se reduce la dependencia de fertilizantes químicos, que suelen tener un alto costo

ambiental y energético en su producción.

- **ODS 13: Acción por el clima.** Los procesos convencionales para tratar el nitrógeno en aguas residuales suelen liberar gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso. La recuperación de nitrógeno puede reducir estas emisiones, al disminuir la necesidad de procesos intensivos en energía para eliminarlo. Además, reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos, cuya producción es una fuente significativa de emisiones de CO₂.
- **ODS 14: Vida submarina.** El nitrógeno no tratado adecuadamente en aguas residuales es una de las principales causas de contaminación en los ecosistemas marinos, donde provoca eutrofización y zonas muertas (áreas con niveles de oxígeno demasiado bajos para soportar vida marina). Recuperar el nitrógeno contribuye a la preservación de estos ecosistemas al reducir la carga de nutrientes contaminantes en los cuerpos de agua.
- **ODS 2: Hambre cero.** El nitrógeno recuperado de aguas residuales se puede usar como fertilizante en la agricultura, ayudando a incrementar la productividad de los cultivos. Esto es especialmente valioso en áreas con pocos recursos para fertilizantes convencionales, y contribuye a la seguridad alimentaria de una manera sostenible.

Caso de estudio: Murcia

Murcia es uno de los municipios españoles con gran ambición por el desarrollo de una Estrategia de Economía Circular para la ciudad. Esta estrategia busca transformar la ciudad hacia un modelo circular, reduciendo el impacto ambiental, promoviendo un consumo sostenible y fortaleciendo la competitividad local. Entre sus principales ejes de acción, destacan:

Consumo Responsable: Murcia impulsa el consumo de proximidad y la reducción del desperdicio alimentario. Con campañas de concienciación, se promueve que los ciudadanos prioricen productos locales, apoyando así a la economía local y reduciendo la huella ambiental del transporte.

Gestión de Residuos: Se trabaja en la separación en origen y la revalorización de biorresiduos. El proyecto VALUEWASTE, por ejemplo, busca reciclar y convertir estos desechos en bioproductos, contribuyendo a un ciclo de residuos más eficiente y reduciendo la dependencia de materiales vírgenes.

Gestión del Agua: Murcia impulsa el uso de aguas regeneradas para el riego y mejora la infraestructura para captar y reutilizar aguas pluviales, considerando la escasez hídrica de la región. El proyecto LIFE CONQUER permite la reutilización de aguas subterráneas para riego, disminuyendo la presión sobre fuentes naturales. Entre otros esfuerzos impulsados se destaca la recuperación de nitrógeno de la EDAR Murcia Este (gestionada por EMUASA¹) objeto de evaluación en esta comunicación.

Espacios Urbanos Sostenibles: La ciudad implementa mejoras en eficiencia energética, la creación de zonas verdes y la interconexión de áreas naturales urbanas y periurbanas. Además,

¹ Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia ([EMUASA](#)).

trabaja en la incorporación de “barrios solares” para fomentar el autoconsumo de energía renovable en áreas comunitarias.

Movilidad Sostenible: Murcia promueve el uso de vehículos eléctricos y sistemas de movilidad compartida, como una plataforma local para el *carpooling*, y la creación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) para reducir la contaminación vehicular.

Políticas Transversales: La estrategia incluye herramientas de apoyo como el hub “Murcia Business Circular Hub” para emprendimientos circulares e innovadores, y la plataforma web “Murcia Circular” que centraliza recursos e información para fomentar la economía circular entre la ciudadanía.

Murcia busca ser un municipio 100% circular para 2050, lo que incluye el uso exclusivo de productos locales, la neutralidad climática, y el fortalecimiento de infraestructuras verdes y sostenible.

EVALUACIÓN AMBIENTAL A TRAVÉS DEL ACV

El asesoramiento ambiental se desarrolló a través de una evaluación ambiental empleando la metodología de ACV en la que se compararon dos escenarios. Un primer escenario (“Línea Base”) que sirvió de referencia, dónde se evaluó una EDAR convencional (etapas contempladas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario con reactor biológico y gestión de lodos) que incluye eliminación de nutrientes y uso de fertilizantes químicos convencionales en agricultura. El segundo escenario (“Tecnología HOOP”) evaluó la EDAR Murcia Este con la recuperación de nitrógeno y su aplicación en agricultura como fertilizantes líquidos. La metodología ACV es una metodología útil y estandarizada (ISO 14040/14044) que permite abordar los impactos de una actividad dada.

Definición de objetivos y alcance

El objetivo de este estudio es la evaluación del perfil ambiental de la EDAR Murcia Este a través de la comparación de la eficiencia técnica y el impacto ambiental de la cadena de valor del proceso de recuperación de nutrientes con la situación actual (incluyendo el uso de fertilizantes en el campo), los anteriormente comentados escenarios.

Unidad funcional (UF)

La adecuada definición de la UF, a la cual se refieren los insumos y productos, es clave para los estudios de ACV. Por lo tanto, la UF define los aspectos cualitativos y cuantitativos de la función o servicio realizado por el sistema bajo estudio, proporcionando la base para la escala de datos en la etapa de ICV. La función de una EDAR es tratar aguas residuales (o, en el nuevo paradigma de la EDAR, agua recuperada, nutrientes, energía, etc.). En este sentido, y teniendo en cuenta el rendimiento del servicio, el tratamiento de un volumen específico de aguas residuales (por ejemplo, 1 m³ de aguas residuales tratadas) es la UF más utilizada.

Límites del sistema

En este caso, los límites del sistema abarcan las aguas residuales entrantes y la operación de los distintos procesos unitarios, los procesos de fondo relacionados con el consumo de energía y químicos, el vertido de agua tratada, el tratamiento final de los lodos deshidratados y el campo de cultivo (**Figura 2**). El sistema en estudio comprende las siguientes áreas o subsistemas:

- Línea de agua, que abarca el influente y el efluente a través de los sistemas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.
- Línea de lodos, incluyendo el transporte para su tratamiento.
- Consumo eléctrico de toda la planta y generación de biogás.
- Emisiones al agua, considerando DQO, fósforo total, fósforo, nitrógeno total y amoníaco.
- Productos químicos utilizados: cloruro férrico, polielectrolito catiónico y antiincrustante;
- Fertilizantes aplicados a los campos: ácido nítrico (60%), sulfato de potasio, fosfato monopotásico y nitrato de calcio. En el escenario de recuperación de nutrientes se incorporan dos áreas o subsistemas adicionales: vii) unidad de recuperación de nitrógeno, que involucra hidróxido de sodio (50%), zeolitas y la producción de agua amoniacal como fertilizante nitrogenado líquido; viii) unidad de agua regenerada, que incorpora productos químicos como hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio, cloruro de hidrógeno, bisulfato de sodio y antiincrustante (**Figura 3**).

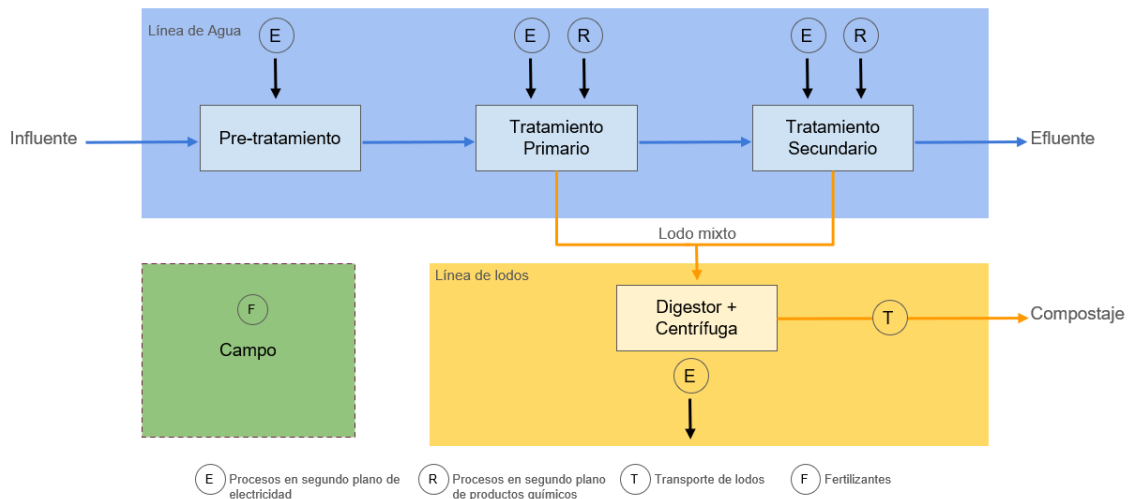


Figura 2. Diagrama del sistema en estudio en el Análisis de Ciclo de Vida del escenario de referencia - Línea Base. Los procesos en línea discontinua representan operaciones externalizadas. (Proyecto europeo HOOP)

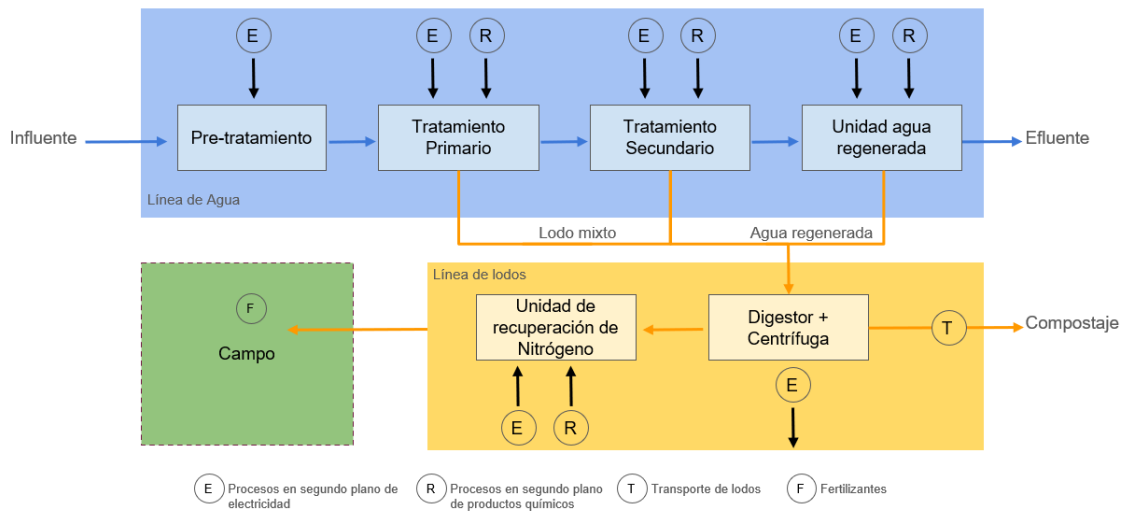


Figura 3. Diagrama del sistema en estudio en el Análisis de Ciclo de Vida del escenario de recuperación de nutrientes - Tecnología HOOP. Los procesos en línea discontinua representan operaciones externalizadas. (Proyecto europeo HOOP)

Respecto a los lodos deshidratados, su gestión externa se incluye dentro de los límites del sistema para permitir la comparación de escenarios. Este tratamiento externo engloba el proceso de compostaje. Sin embargo, la posterior aplicación de estos lodos como enmienda del suelo en campo se excluye de los límites del sistema. Finalmente, la fase de construcción de la EDAR se omitió de los límites del sistema de evaluación ambiental.

Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV)

La evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) se llevó a cabo utilizando el software profesional SIMAPRO SimaPro 9.5.0.1 y la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08. Las categorías de impacto consideradas dentro de este método son: cambio climático (CC), potencial de agotamiento del ozono estratosférico (ODP), potencial de acidificación terrestre (TAP), potencial de eutrofización de agua dulce (FEP), potencial de eutrofización marina (MEP), potencial de ecotoxicidad terrestre (TETP), potencial de ecotoxicidad de agua dulce (FETP), potencial de ecotoxicidad marina (METP), toxicidad humana: cáncer (HTPc), toxicidad humana: no cáncer (HTPnc) y potencial de consumo de agua (WCP).

Resultados y conclusiones

Comparando ambos escenarios, en general, se obtienen resultados diferentes en función de las distintas categorías de impacto. La Tabla 1 muestra las principales categorías de impacto y el porcentaje de ahorro entre la línea base y la tecnología de recuperación de nutrientes.

El escenario de recuperación de nutrientes tiene un menor impacto en las categorías de "Agotamiento del ozono estratosférico", "Potencial de eutrofización de agua dulce", "Potencial de eutrofización marina" y "Cambio climático", con ahorros del 49,30%, 21,56%, 45,52% y 9,49%

CONAMA 2024

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN PROYECTO DE APOYO AL DESARROLLO: CASO DE ESTUDIO PDA DE MURCIA

respectivamente. Por otro lado, la EDAR de Murcia Este en su escenario base, presenta un menor impacto en las categorías de “Toxicidad humana: cáncer”, “Toxicidad humana: no cáncer”, “Potencial de ecotoxicidad marina” y “Potencial de ecotoxicidad de agua dulce”, con mayores consumos en el escenario de Recuperación de nutrientes (174,13%, 38,28%, 31,95% y 31,18% respectivamente).

Tabla 1. Categorías y porcentaje de ahorro entre escenarios (Tecnología HOOP vs Línea Base).

Categoría de impacto	Acrónimo	Ahorro (%)
Cambio climático	CC	9,49%
Agotamiento del ozono estratosférico	ODP	49,30%
Potencial de acidificación terrestre	TAP	-1,01%
Potencial de eutrofización de agua dulce	FEP	21,56%
Potencial de eutrofización marina	MEP	45,52%
Potencial de ecotoxicidad terrestre	TETP	-18,57%
Potencial de ecotoxicidad de agua dulce	FETP	-31,18%
Potencial de ecotoxicidad marina	METP	31,95%
Toxicidad humana: cáncer	HTPc	174,13%
Toxicidad humana: no cáncer	HPTc	-38,28%
Potencial de consumo de agua	WCP	0,05%

La **Figura 4** muestra las principales categorías de impacto y la diferencia entre la línea base y la tecnología de recuperación de nutrientes en términos de ahorro (%). Ambas tecnologías tienen valores más o menos positivos dependiendo de la categoría de impacto a evaluar. La categoría “Consumo de agua” tiene un valor negativo que corresponde al aporte de agua al medio natural, es decir, el agua se devuelve al medio ambiente.

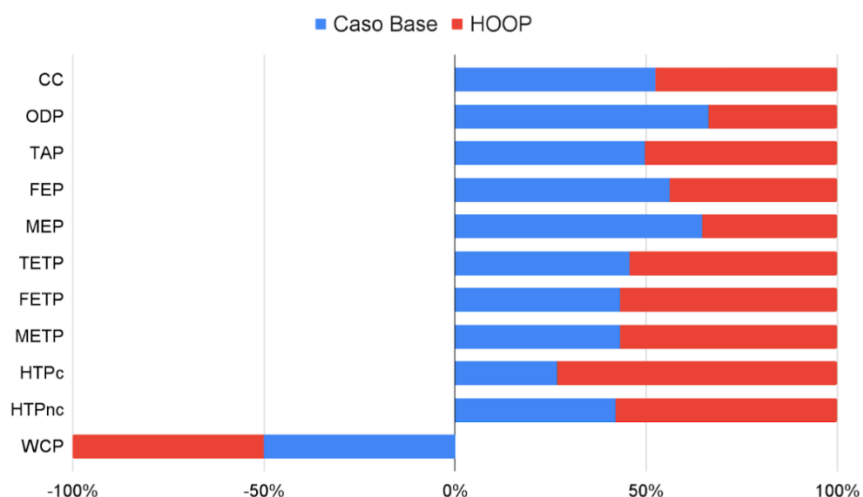


Figura 4. Categorías de impacto y diferencia entre escenarios (Línea base vs Recuperación de nutrientes). (Proyecto europeo HOOP)

Se han comparado las áreas más relevantes -o subsistemas que son más diferentes entre sí en ambos escenarios-. En ambos escenarios, “Consumo de agua”, “Tratamiento de lodos” y “Consumo de energía” son similares, lo que resulta en impactos comparables en todas las categorías de impacto. Las principales diferencias se observan en la aplicación de reactivos y fertilizantes en el uso de la tierra. La **Figura 5** muestra la distribución de productos químicos y fertilizantes en cada categoría de impacto en ambos escenarios. La comparación muestra que el impacto de los fertilizantes en la línea base es mayor que el impacto en el escenario de recuperación de nutrientes; seguido por el impacto de los productos químicos en el escenario de recuperación de nutrientes y, finalmente, el impacto de los productos químicos en el escenario de referencia.

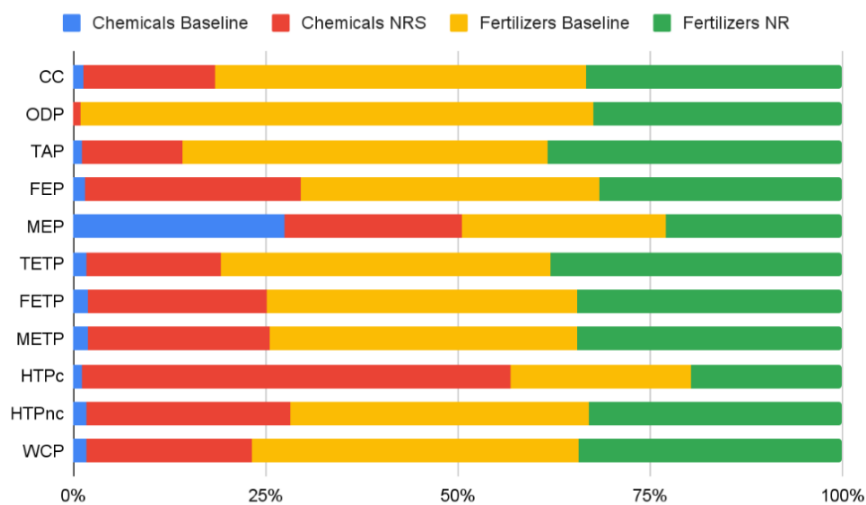


Figura 5. Porcentaje de distribución de productos químicos y fertilizantes (Línea base vs Recuperación de nutrientes). (Proyecto europeo HOOP)

El escenario de recuperación de nutrientes reduce el uso de fertilizantes convencionales, disminuyendo consecuentemente los impactos relacionados con las categorías de “Agotamiento del ozono estratosférico”, “Potencial de eutrofización marina” y “Potencial de eutrofización de agua dulce” en un 49%, 45% y 21% respectivamente, en comparación con el escenario de referencia. Los ahorros se producen principalmente en ácido nítrico (60%), comúnmente utilizado como fertilizante en los campos de cultivo, recuperando 556 kg de nitrógeno por día, lo que equivale a un ahorro de 3.050 L/día de ácido nítrico (60%), reduciendo su uso en un 54%.

El escenario de recuperación de nutrientes necesita incorporar nuevos procesos (la unidad de recuperación de nitrógeno y la unidad de recuperación de agua regenerada), por lo que introduce nuevos reactivos y consumos de energía en el balance de la EDAR. En este sentido, el proceso de recuperación de nitrógeno es significativo debido a que la introducción de “zeolitas” para capturar nutrientes del efluente sí produce impactos relevantes, principalmente incrementando las categorías de impacto de “Toxicidad humana: cáncer” y “Toxicidad humana: no cáncer”. En cuanto a la unidad de recuperación de agua, el consumo de energía y otros reactivos no son significativos por lo que el impacto a escala global no es relevante.

La tecnología HOOP ayuda a reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y a cerrar el ciclo de nutrientes, aunque introduce algunos impactos adicionales debido al uso de reactivos. Sin embargo, el balance general sugiere que esta tecnología podría ser una solución más sostenible para la gestión de nutrientes en áreas urbanas como Murcia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Agenda Urbana 2030*. (s. f.). Estrategia de Ciudad. Murcia 2020. Recuperado 31 de octubre de 2024, de <https://www.estrategiamurcia.es/>
- [2] Miluska.Jara. (s. f.). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible*. Recuperado 24 de octubre de 2024, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- [3] Nations, U. (s. f.). *Cambios demográficos | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. Recuperado 24 de octubre de 2024, de <https://www.un.org/es/un75/shifting-demographics>
- [4] Sánchez Liarte, F., & Soriano Disla, J. M. (2021). *Estrategia de Economía Circular del Municipio de Murcia* (p. 90).
- [5] Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050* (p. 4). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- [6] *The HOOP Project | Vitalise Europe's Urban Bioeconomy*. (s. f.). Recuperado 24 de octubre de 2024, de <https://hooproject.eu/>