

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

LIFE INFUSION

Revolucionando el tratamiento de
residuos para obtener recursos de
valor



CONAMA 2024

LIFE INFUSION, REVOLUCIONANDO EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Autor Principal: Julia Hereza Atienza¹

Otros autores: Glòria Sánchez Santos¹, Joan Carles Fernández¹, Queralt Farràs², Caroline Sielfed², José R. Vázquez-Padín³, Eloisa Albacete⁴, Rafaela Cáceres⁵, Carme Biel⁵, Wouter Naessens⁶, José Manuel González La Fuente⁷, Laura Megido Fernández⁷.

¹Dirección de Servicios de Prevención y Gestión de Residuos, Àrea Metropolitana de Barcelona. Barcelona, Cataluña, 08040, España

²EURECAT – Centro Tecnológico de Cataluña. Manresa, Cataluña, 08243, España

³AQUALIA. Madrid, 28016, España

⁴Ecoparc del Besòs SA. Montcada i Reixac, Cataluña, 08110, España

⁵IRTA – Instituto de Investigación y Tecnologías Agroalimentarias. Cabriels, Cataluña, 08348, España

⁶DETRICON. Merelbeke, 9820, Bélgica

⁷COGERSA SAU. Gijón, Asturias, 33697, España

ÍNDICE

1. Resumen
2. Problemática a solventar
3. El proyecto Life Infusion
4. Resultados
5. Conclusión
6. Bibliografía

RESUMEN

Actualmente, se generan alrededor de 2.100 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año en el mundo, una cifra que se espera ver incrementada en un 77% para 2050 (^[1]UNEP, 2024). A pesar de contar con sistemas eficientes de tratamiento de residuos, la gestión de algunas fracciones líquidas resultantes sigue siendo un desafío ambiental significativo. Por ese motivo, es necesario desarrollar nuevos sistemas de tratamiento de estos efluentes residuales que sean más sostenibles y contribuyan a avanzar hacia una economía circular.

En este contexto nace el proyecto LIFE INFUSION, cofinanciado al 55 % por la Comisión Europea mediante el Programa LIFE. Este proyecto tiene como objetivo principal recuperar recursos de alto valor añadido, tales como energía, nutrientes y agua, a partir de diferentes efluentes líquidos residuales de origen municipal. De esta manera, LIFE INFUSION busca contribuir a la creación de biorrefinerías del futuro, cerrando el círculo entre residuos y recursos y reduciendo el impacto ambiental, social y económico de la gestión de residuos municipales.

Esta solución es demostrada en dos emplazamientos específicos con dos tipos de efluentes residuales diferenciados: la fracción líquida del digestato del tratamiento de la fracción orgánica municipal seleccionada en origen y los lixiviados generados en depósitos controlados. Concretamente, ya se ha finalizado la demostración de los efluentes producidos en el Ecoparc de Montcada i Reixac (Barcelona) y, en octubre de 2024 se iniciará la demostración del sistema con los lixiviados generados en las instalaciones de Cogersa (Gijón).

La innovación de la solución INFUSION radica en el uso conjunto de tecnologías con un alto nivel de desarrollo que no se habían utilizado antes juntas en el sector de tratamiento de residuos. El proceso propuesto incluye una unidad de recuperación de nitrógeno en forma de nitrato amónico o sulfato amónico (Stripping + Scrubber), un biorreactor de membrana anaerobio termófilo (tAnMBR), contactores de membrana y una unidad de membranas de ósmosis inversa regeneradas. En Cogersa, también se empleará un sistema de depuración de biogás mediante un sistema de absorción-adsorción y un cultivo de microalgas.

Los primeros resultados muestran la posibilidad de recuperar energía (1,8 - 3 m³ de biometano/m³ efluente de entrada), nutrientes (recuperación del 65% del nitrógeno de entrada

como nitrato amónico con 9% de contenido en N total) y agua regenerada (0,4 m³ agua regenerada/m³ agua tratada). Además, tanto los nutrientes como el agua regenerada se han testeado con éxito en cultivos agrícolas y especies ornamentales, demostrando que el uso de dichos productos, una vez diluidos adecuadamente, pueden sostener la producción vegetal de las especies probadas.

Además, gracias a la eficiencia energética de las tecnologías empleadas, se consigue una reducción del 20% en el impacto ambiental y en los costes de operación y mantenimiento del tratamiento de estos efluentes residuales.

En definitiva, LIFE INFUSION representa un avance significativo hacia una gestión de residuos más sostenible y eficiente, alineándose con los principios de la economía circular y ofreciendo una solución viable y escalable para la recuperación de recursos valiosos a partir de efluentes residuales municipales.

PROBLEMÁTICA A SOLVENTAR

En el mundo convivimos más de 8.200 millones de personas, llegando a generar alrededor de 2.100 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año, una cifra que espera verse incrementada en un 77% para 2050 (^[1]UNEP, 2024).

Según los últimos datos de ^[2]Eurostat (2024), la generación de RSU en Europa en 2022 fue de 229.482 toneladas (513 kg/habitante), el 23% del cual fue depositado en vertederos controlados. Por otro lado, cabe destacar que el 34% de los RSU son biorresiduos y solo un 40 % son recogidos selectivamente (^[3]ECN, 2024). La UE lleva años impulsando políticas de gestión de residuos, entre ellas la ^[4]Directiva (UE) 2018/851 (2018) que no solo pretende limitar la eliminación de residuos en vertederos, sino que también establece la obligatoriedad de implementar la recogida separada de residuos orgánicos municipales (FORM) a partir del 1 de enero de 2024.

Por un lado, a pesar de los esfuerzos para avanzar hacia una gestión de residuos más sostenible, regida por la jerarquía de residuos y enfocada en la economía circular, la dependencia de los depósitos controlados sigue siendo notoria. Este hecho se debe a que, aunque gran parte de los RSU pasan por un tratamiento previo en plantas de tratamiento de residuos mecánico-biológicas (TMB), el porcentaje de rechazo de estas instalaciones suele ser de alrededor del 50% de las entradas resultando, los depósitos controlados, uno de los emplazamientos finalistas de dichos materiales. Además, hay que tener en cuenta que, después de haberse clausurado los depósitos, aún se siguen generando lixiviados, los costes de gestión de los cuales deben considerarse durante al menos 30 años (^[5]Real Decreto 1481/2001). Su tratamiento sigue siendo un desafío debido a su composición y a las concentraciones tan variables de componentes contaminantes.

Por otro lado, aunque el tratamiento más común para gestionar grandes volúmenes de la FORSU es la digestión anaerobia (DA), debido a su capacidad para producir biogás y un digestato rico en nutrientes, la gestión de la fracción líquida del digestato sigue suponiendo un reto ambiental. Esto se debe a su elevado contenido en nitrógeno y a las altas concentraciones de nutrientes.

Tanto los lixiviados de los vertederos controlados como la fracción líquida del digestato resultante del tratamiento de la FORM mediante DA, son efluentes que necesitan ser tratados

en plantas de depuración de aguas residuales (EDAR) antes de ser vertidos al medio receptor. En la actualidad, las EDAR de las plantas de tratamiento de residuos se ajustan a un modelo de economía lineal en el que no se aprovechan los recursos. Es decir, para cumplir con los parámetros establecidos para el vertido, se eliminan los nutrientes y micronutrientes presentes en el efluente en vez de recuperarlos.

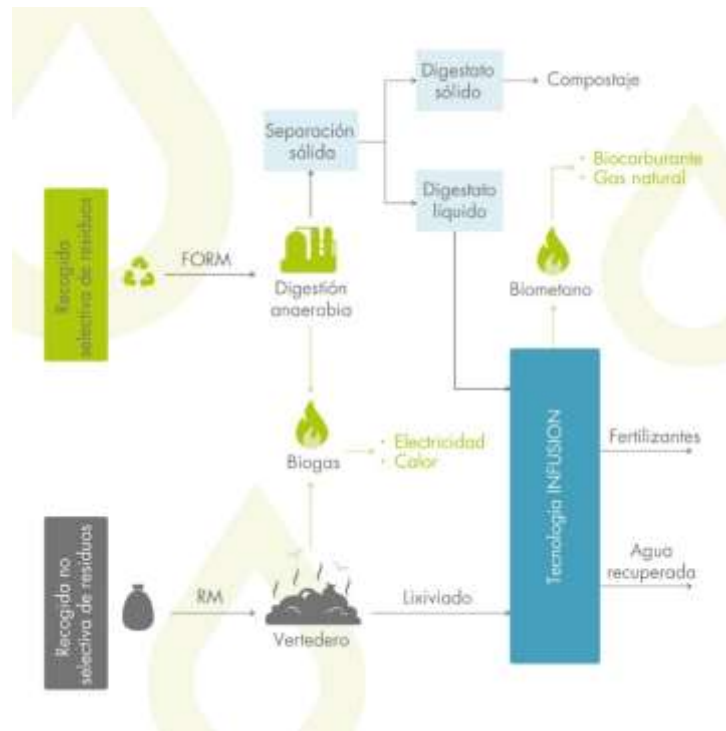


Figura 1. Contexto del proyecto LIFE INFUSION. (Elaboración propia)

Así pues, el proyecto LIFE INFUSION nace con el objetivo de desarrollar un nuevo sistema de tratamiento de estos efluentes líquidos residuales que sea más sostenible y contribuya a avanzar en la gestión de residuos, desde una perspectiva centrada en la recuperación y en los principios de la economía circular.

EL PROYECTO LIFE INFUSION

LIFE INFUSION, es un proyecto cofinanciado al 55 % por la Comisión Europea mediante el Programa LIFE (LIFE19 ENV/ES/000283). Este tiene como objetivo principal recuperar recursos de alto valor añadido, tales como energía, nutrientes y agua, a partir de diferentes efluentes líquidos residuales de origen municipal.

El proyecto, que cuenta con un presupuesto total aproximado de 3,1 millones de €, se inició en septiembre de 2020 y finalizará en agosto de 2025. Un punto clave es el Consorcio que lo constituye, ocho entidades, tanto públicas como privadas, de tres estados miembro (España, Bélgica e Italia): Eurecat – Centro Tecnológico de Cataluña, responsable de la coordinación del proyecto, Área Metropolitana de Barcelona (AMB), Aqualia, Ecoparc del Besòs SA (EBESA),

Compañía para la Gestión de los Residuos Sólidos en Asturias (COGERSA SAU), Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Detricon y AMIU Genova.

Una solución innovadora

La solución planteada se basa en una combinación de varias tecnologías de tratamiento biológico y separación físico-química que únicamente han sido testadas a escala laboratorio, ya sea de manera individual o en sectores completamente diferentes. Concretamente, la solución INFUSION está compuesta por cuatro unidades de tratamiento diferenciadas que pueden operar de manera independiente y en conjunto.

- **Unidad de extracción de volátiles (stripping-scrubber):** proceso fisicoquímico en dos etapas que recupera el nitrógeno en forma de nitrato de amonio o sulfato amónico. Estas sales de amonio pueden utilizarse como biofertilizantes en agricultura.
- **Biorreactor anaerobio de membranas termófilo (tAnMBR):** proceso biológico que reduce el contenido de materia orgánica en las aguas residuales y lo convierte en biogás. El biorreactor opera a una temperatura de 55 °C, por lo que se obtiene un sólido higienizado y estabilizado (purga) que también puede aplicarse en agricultura.
- **Contactores de membrana:** extraen el amoníaco residual del tAnMBR para recuperarlo como sal de amonio mediante una membrana hidrofóbica. De esta fase se obtiene sulfato de amonio, que también puede utilizarse como biofertilizante en agricultura.
- **Membranas regeneradas:** mediante el uso de membranas de ósmosis inversa regeneradas de otros procesos, se obtiene agua recuperada adecuada para fertirrigación de cultivos y acuicultura.

Este esquema innovador se ha testado a escala semi industrial en Ecoparc de Montcada i Reixac (Ecoparc 2), Barcelona y, en octubre de 2024 se inicia la demostración en las instalaciones de COGERSA, Gijón.

En el primer emplazamiento demostrativo, el efluente de entrada al sistema es la fracción líquida del digestato resultante de la DA de la FORM. Mientras que, en el segundo, la solución INFUSION trata, además, los lixiviados generados en el vertedero controlado de COGERSA. Por otro lado, en COGERSA también se incluye una etapa de purificación del biogás mediante la tecnología ABAD Bioenergy® -patentada por AQUALIA-, y los productos resultantes del proceso (fertilizantes y agua regenerada) se testarán para el cultivo de microalgas.

La presente comunicación se centrará en los resultados obtenidos en el primer emplazamiento demostrativo, Ecoparc 2.

RESULTADOS

Demostración en Ecoparc 2

El Ecoparc 2 es una planta TMB de residuos municipales propiedad del AMB y operada por EBESA, situada en Montcada i Reixac, Barcelona. En esta instalación se tratan alrededor de 100.000 toneladas/año de FORM mediante digestión anaerobia mesófila (37°C), produciendo alrededor de 60.000 m³ de agua residual a tratar.

Para la demostración del sistema LIFE INFUSION, se ha tratado la fracción líquida del digestato resultante del tratamiento de la FORM. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las etapas del proceso.



Figura 2. Imagen aérea de Ecoparc 2 (izq. sup.), prototipo de LIFE INFUSION en Ecoparc 2 (izq. inf.) y esquema de proceso de la solución LIFE INFUSION en Ecoparc 2 (dcha.)

Unidad de stripping-scrubber:

Con el fin de encontrar las condiciones óptimas de trabajo del sistema, que permita una mayor recuperación de nitrógeno, se han realizado pruebas a diferentes temperaturas (35°C, 45°C, 55°C, 60°C, 65°C) y a lo largo del tiempo de operación.

Los resultados (Figura 3) muestran como a mayor temperatura, mayor es el rendimiento de recuperación de nitrógeno. Para temperaturas de 45°C y superiores, la recuperación fue incluso

mayor que el KPI establecido en el proyecto del 50% para el proceso de *stripping-scrubber* y los contactores de membrana combinados.

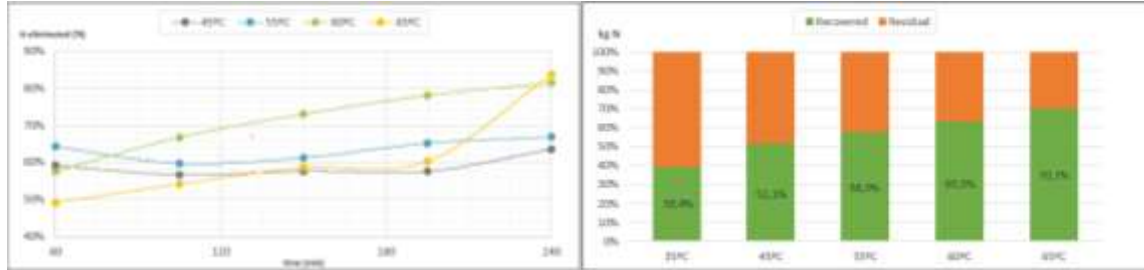


Figura 3. a) Comportamiento de la unidad de stripping-scrubber a diferentes temperaturas. b) Nitrógeno recuperado y nitrógeno residual en relación a los kg de nitrógeno alimentado en cada periodo y temperatura.

Cuadro 1. Resultado de los parámetros analizados durante los ensayos de la unidad de stripping-scrubber.

Periodo	Temperatura	Entrada [kg N]	Salida [kg N]	Recuperación N [%]	pH salida
Feb'22-Jun'22	35°C	281	90	32,1	8,1
Jul'22-Oct'22	45°C	595	360	60,6	8,2
Nov'22-Feb'23	55°C	469	322	68,9	8,5
Mar'23	65°C	57	40	70,9	8,6

Fuente: EBESA, SA. (2023)

Biorreactor anaerobio de membranas termófilo (tAnMBR)

En relación al tAnMBR, durante el año de operación, la alimentación tuvo una concentración promedio de la demanda química de oxígeno (DQO) de 20,2 g/L, alcanzando una eliminación del 76%. La tasa de carga orgánica (OLR) con la que se alimentó el reactor osciló entre 0,4 y 1,3 kg DQO/m³·d con un contenido de sólidos totales (ST) de 30-39 g/L.

A mayor OLR mejor es la eficiencia de eliminación de DQO. Además, se ha comprobado que el sistema es capaz de eliminar más del 75% de DQO presente en el efluente líquido de entrada.

Cuadro 2. Resultado de los parámetros analizados durante la demostración del tAnMBR.

Periodo	TRH [días]	ORL [kg COD/m ³ /d]	ST [g/L]	Entrada [m ³]	Biogás [m ³]	Energía [kWh]
Sept'22	31	0,62	35,8	33,5	35	85
Oct'22	20	0,95	31,0	60,8	108,9	274
Nov'22	15	1,27	34,7	72,4	152,1	433
Dic'22	32	0,47	39,9	35,7	75,0	208
Ene'23	45	0,40	39,8	25,7	77,9	214

Feb'23	42	0,50	35,4	25,2	51,6	144
Mar'23	23	1,00	35,1	48,9	84,4	232
Abr'23	20	1,30	25,3	47,3	105,8	297

Fuente: EBESA, SA. (2023)

Como resultado, se obtuvieron unas ratios de producción de biogás de entre 1,8 y 3,0 m³ de biogás/m³ de efluente líquido tratado con un contenido de metano del 66%.

Contadores de membrana

En este emplazamiento demostrativo, la unidad de contactores de membrana no pudo operarse en continuo ni en periodos muy prolongados debido a problemas de conexiones inalámbricas. Aun así, se ha podido verificar que su desempeño en la eliminación y recuperación de nitrógeno está ligado al pH inicial y al número de ciclos en el que se hace pasar el efluente por las membranas.

Se ha demostrado que a pH alto se consiguen rendimientos superiores al KPI fijado en el proyecto de recuperación del 50% de nitrógeno amónico entre los procesos de stripping y contactores de membrana.

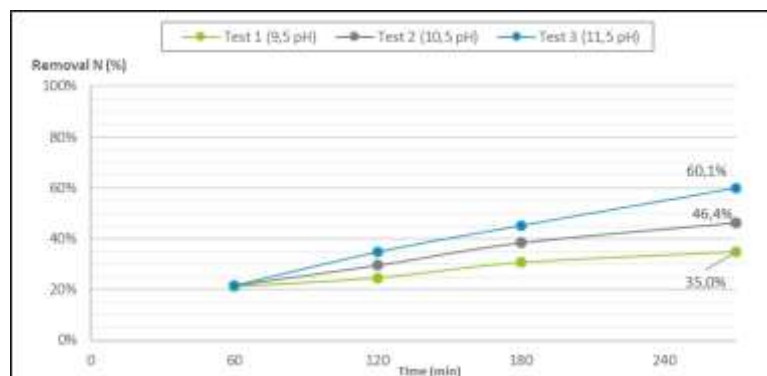


Figura 4. Capacidad de recuperación del nitrógeno en los contactores de membranas en función del pH de entrada y el tiempo que reside el efluente en la unidad.

Membranas regeneradas de osmosis inversa

Finalmente, en la última etapa del proceso, se ha buscado recuperar el agua de tal manera que cumpla con las condiciones especificadas en el ^[6]Real Decreto 1620/2007 (2007).

Durante el periodo de análisis, se ha podido comprobar que el pH del efluente de entrada es clave para un buen funcionamiento del sistema. Como se ha visto en el apartado anterior, se obtiene mejor rendimiento de los contactores de membrana cuando se trabaja con pH altos, en cambio para las membranas de osmosis inversa es necesario que el efluente tenga un pH ácido. Para salvar esta diferencia, se estudiará el uso de una unidad de stripping después del tAnMBR en vez de los contactores de membrana.

Aplicación de los productos recuperados en agricultura

Parte de los productos obtenidos en la demostración de la solución LIFE INFUSION en Ecoparc 2 (la purga del tAnMBR, el efluente líquido de salida del tAnMBR y el agua regenerada) se han testeado en las instalaciones de IRTA para ver el impacto de su uso en horticultura.

Concretamente, los productos obtenidos y una vez diluidos, se han probado en plantas comestibles como la lechuga o los tomates, y plantas ornamentales como el *Limoniastrum*.



Figura 5. Ensayos de los productos obtenidos en el demostrativo de la solución LIFE INFUSION en Ecoparc 2, en lechugas y especies ornamentales (IRTA, 2023).

Para cada especie hortícola se han realizado ensayos a diferentes concentraciones de amonio (75 ppm NH_4^+ , 150 ppm NH_4^+ y 300 ppm NH_4^+) y se compararon con un control + (3g fertilizante comercial/L y 6g fertilizante comercial/L) y un control - (sin añadir fertilizante).



CONTROL +

CONTROL -

A: 300 ppm NH_4^+

B: 150 ppm NH_4^+

Figura 6. Ensayo de fertilización con productos obtenidos en LIFE INFUSION a diferentes concentraciones en lechugas (IRTA, 2024).

Los resultados obtenidos muestran que la fertiirrigación con concentraciones de 150 ppm NH_4^+ tiene un efecto equiparable sobre las especies estudiadas al uso de fertilizantes comerciales.

CONCLUSIÓN

El proyecto LIFE INFUSION ha demostrado ser una solución innovadora y efectiva para abordar la problemática actual de la gestión de parte de los efluentes líquidos residuales procedentes de la fracción orgánica de residuos municipales.

En un contexto global en el que la generación de RSU sigue en aumento, este proyecto representa un avance hacia una gestión más sostenible y alineada con los principios de la economía circular.

El esquema tecnológico implantado en Ecoparc 2 ha demostrado su capacidad para recuperar nutrientes como el nitrógeno en formas utilizables en la agricultura (nitrato y sulfato de amonio), producir biogás para generar energía, y recuperar agua para fertirrigación. Los resultados obtenidos han sido alentadores, con tasas de recuperación de nitrógeno que superan el 65%, eficiencia de un 75% de eliminación de la DQO y producción de biogás con un contenido de metano del 66%. Asimismo, se ha verificado que los productos derivados del proceso pueden ser utilizados como fertilizantes en cultivos agrícolas y plantas ornamentales, obteniendo resultados comparables a los fertilizantes comerciales.

Así pues, el éxito del proyecto subraya el potencial de estas tecnologías para reducir el impacto ambiental de la gestión de residuos municipales, al tiempo que fomenta la recuperación de recursos valiosos y la economía circular. En adelante, la implementación a gran escala y su optimización en diferentes emplazamientos podría contribuir significativamente a la sostenibilidad en la gestión de residuos municipales, impulsando una transición hacia la economía circular en el ámbito europeo y global.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNEP. United Nations Environment Programme (2024). *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource*. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
- [2] Eurostat (2024). *Waste statistics*. European Union. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00108/default/table?lang=en&category=t_env.t_env_was.t_env_wasgt
- [3] ECN. Compost and Digestate for circular Economy report 2022. *Overview of Bio-waste Collection, Treatment & Markets Across Europe*. European Compost Network ECN e.V. (2022). ISBN 978-3-9820825-1-6 <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/>
- [4] European Union (2018). *Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos*. Diario Oficial de la Unión Europea núm. 150, de 14 de junio de 2018, páginas 109 a 140. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80998>
- [5] Real Decreto 1481/2001 (2001). *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que*

CONAMA 2024

LIFE INFUSION, REVOLUCIONANDO EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Boletín Oficial del Estado núm. 25, de 29 de enero de 2002. BOE-A-2002-1697

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/12/27/1481/con>

- [6] Real Decreto 1620/2007 (2007). *Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.* Boletín Oficial del Estado núm. 294, de 8 de diciembre de 2007.

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/12/07/1620/con>