CONAMA 2026

CONAMA 2026

# Maximización de la producción de biogás en la EDAR Murcia Este: LIFE MERLIN

## Transformación estructural hacia el modelo de biofactoría energética mediante la combinación de saponificación química, cavitación acústica y gestión digital avanzada de cosustratos

**Edita:** Fundación Conama

**Año:** 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

## Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Eva Mena Gil. Responsable de Innovación. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (EMUASA).

Otros Autores:

Alicia Gadea. Jefa del Departamento de Depuración. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (EMUASA).

Simón Nevado. Director de Operaciones. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (EMUASA).

Elena de Vicente Aguilar. Técnico de Innovación. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (EMUASA).

Marcel Vilaplana. Project Manager y Coordinador de Proyecto LIFE MERLIN. Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua.

Àngel Freixó. Director de Tecnología (CTO) y Responsable de Innovación. Createch Solutions S.L. (Createch360°).

Adela Yáñez. Responsable Técnica de Proyecto. LABAQUA S.A.U.

Ignacio Casals. Jefe del Departamento de I+D+i. Aguas Municipalizadas de Alicante E.M. (AMAEM).

# Índice

**Resumen** ..... 1

**1. Introducción y Situación de Partida en la EDAR Murcia Este** ..... 2

**2. Retos de proceso y objetivos estratégicos** ..... 3

**3. Solución Tecnológica Implementada en la EDAR Murcia Este** ..... 3

3.1. Pretratamiento de Hidrólisis Enzimática del Lodo Biológico (WAS) ..... 3

3.2. Codigestión Inteligente y Plataforma Digital Predictiva ..... 5

**4. Evolución de la Codigestión en la EDAR Murcia Este (2020-2025) y Objetivos LIFE MERLIN** ..... 6

**5. Estado de implantación y régimen operativo de la planta piloto** ..... 8

**6. Beneficios Ambientales y Alineación con la Economía Circular** ..... 9

**7. Conclusiones y Próximos Pasos** ..... 9

**8. Agradecimientos** ..... 10

# Resumen

El proyecto europeo LIFE MERLIN (LIFE23-CCM-ES-LIFE MERLIN 101158094) tiene como objetivo la transformación estructural del modelo de tratamiento de lodos en estaciones depuradoras (EDAR), maximizando la producción de biogás y fomentando la economía circular mediante una sinergia tecnológica innovadora. La solución, que se está demostrando a escala industrial en la EDAR Murcia Este (gestionada por EMUASA) y en Monte Orgegia (Alicante), combina un pretratamiento de hidrólisis enzimática de fangos biológicos con un sistema avanzado de codigestión inteligente. El pretratamiento consiste en una etapa de saponificación química seguida de sonicación por ultrasonidos (a 25 kHz), aplicándose al 30-35% del lodo secundario de la planta. Esta acción desestabiliza y rompe las membranas celulares del lodo, liberando enzimas intracelulares que aceleran drásticamente la hidrólisis en los digestores anaerobios. Simultáneamente, se implementa una herramienta digital que mapea cosustratos agroalimentarios locales y optimiza las dosificaciones en tiempo real, permitiendo tratar de forma segura hasta 55 toneladas/día de cosustratos industriales sin riesgo de inhibición biológica. Partiendo de una sólida trayectoria en codigestión que ya sitúa a la EDAR Murcia Este en un 61-64% de autosuficiencia, la integración de las tecnologías LIFE MERLIN impulsará la producción de biogás por encima de los 10.666 Nm³/día de diseño (generando más de 24.904 kWh/día de energía eléctrica neta). Esto permitirá a la instalación superar el 70% de independencia eléctrica, reduciendo además significativamente el volumen final de digestato a gestionar y los costes de deshidratación.

**Palabras clave:** biogás; codigestión inteligente; hidrólisis enzimática; ultrasonidos; economía circular; autosuficiencia energética; fangos de depuradora; EDAR Murcia Este; descarbonización.

# 1. Introducción y Situación de Partida en la EDAR Murcia Este

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) Murcia Este, ubicada en el término municipal de Murcia y gestionada por la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (EMUASA), constituye una de las principales instalaciones de tratamiento del sureste español. Con una capacidad nominal de diseño de 100.000 m³/día para dar servicio a una población equivalente de 980.000 habitantes (tratando en la actualidad una carga media de unos 517.000 habitantes equivalentes), la planta opera bajo estrictos estándares de regeneración hídrica y eficiencia energética.

En la línea de fangos, la instalación cuenta con tres digestores anaerobios mesofílicos con un volumen unitario de 6.100 m³ (18.300 m³ útiles totales), donde se estabilizan conjuntamente los lodos primarios y secundarios generados. Desde hace años, EMUASA ha sido pionera en la valorización de subproductos industriales mediante la codigestión con residuos líquidos azucarados procedentes de la industria agroalimentaria regional (especialmente fabricación de golosinas y zumos). Gracias a esta práctica, la digestión anaerobia alcanza actualmente una producción media de 9.582 Nm³/día de biogás (con una riqueza de metano del 60,7%), lo que permite generar mediante motores de cogeneración unos 21.779 a 22.301 kWh/día de energía eléctrica, alcanzando una tasa de autosuficiencia energética de entre el 61% y el 64%[1].

A pesar de estos rendimientos operativos, la planta genera diariamente un caudal medio de lodo secundario espesado (WAS) de 387 m³/día, con una concentración de sólidos totales del 4,54% (y picos de diseño entre el 5,0% y 5,5%) y una fracción volátil (SV/ST) del 70%. La pared celular rígida de los microorganismos que componen este fango biológico constituye una barrera física que limita la velocidad de hidrólisis bacteriana, convirtiendo esta etapa en el cuello de botella cinético de la digestión. Como consecuencia directa, una fracción sustancial de la materia orgánica no llega a degradarse, generando diariamente unos 92 m³/día de digestato deshidratado (con 23,9% de sequedad y 56,5% de SV), cuyo transporte, secado y gestión agrícola o en vertedero conlleva elevados costes operativos y huella de carbono asociada.

[1] Datos reales consolidados a cierre de 2025.

# 2. Retos de proceso y objetivos estratégicos

El proyecto LIFE MERLIN (LIFE23-CCM-ES-LIFE MERLIN 101158094) surge para superar estas limitaciones mediante la integración del tren de tratamiento del proyecto LIFE Merlin en las instalaciones. Para la EDAR Murcia Este, los objetivos estratégicos establecidos se concretan en:

- **Acelerar la cinética de hidrólisis:** Pretratar selectivamente una fracción de 120 a 142 m³/día de lodo secundario espesado (30-35% del total generado) para desestructurar las paredes celulares y liberar enzimas intracelulares.
- **Superar el 70% de autosuficiencia eléctrica:** Alcanzar una producción media de 10.666 Nm³/día de biogás, elevando la generación por cogeneración hasta 24.904 kWh/día (+2.603 kWh/día netos sobre la línea actual).
- **Reducción de digestato y consumo de reactivos:** Reducir en un 4% la producción final de fango deshidratado a vertedero/gestor (unos 1.350 m³/año menos) y rebajar el consumo de polielectrolito de deshidratación en un 3-4%.
- **Codigestión digital segura y optimizada:** Integrar una herramienta de control predictivo en tiempo real para incorporar hasta 55 t/día de subproductos industriales azucarados sin riesgo de desestabilización biológica.

# 3. Solución Tecnológica Implementada en la EDAR Murcia Este

La estrategia tecnológica implementada en la EDAR Murcia Este se fundamenta en dos pilares complementarios: un pretratamiento físico-químico a baja energía (hidrólisis enzimática) que acondiciona el fango secundario propio, y una gestión digital predictiva de la codigestión con cosustratos agroalimentarios locales.

## 3.1. Pretratamiento de Hidrólisis Enzimática del Lodo Biológico (WAS)

A diferencia de los procesos térmicos convencionales (como la hidrólisis térmica a 160 °C), que requieren un aporte masivo de vapor y penalizan el balance energético neto de la planta, el pretratamiento de LIFE MERLIN se aplica a temperatura ambiente de forma selectiva a una fracción de 120 m³/día de lodo secundario (concentración de 5,0% a 5,5% MS y 70% SV), desarrollándose en dos etapas continuas:

- **Fase 1: Saponificación Química (Desestabilización de la Matriz Celular):** El lodo biológico espesado se mezcla con una dosificación controlada de agente saponificador alcalino (NaOH / KOH a una dosis nominal de 0,1 g/g de sólido seco). Estas sustancias reducen la tensión interfacial entre las fases hidrofóbica e hidrofílica, debilitando y rompiendo los enlaces lipídicos y proteicos de las membranas celulares bacterianas. Esta acción química reblandece

la matriz polimérica extracelular de los flóculos biológicos y predispone al fango para una desintegración óptima en la etapa posterior.

- **Fase 2: Sonicación por Cavitación Acústica (Ruptura Mecánica y Liberación Enzimática)**: El fango saponificado es introducido de manera continua en la unidad de sonicación de alta eficiencia. El equipo opera a una frecuencia ultrasónica de 25 kHz mediante barras osciladoras de titanio de doble cabezal sumergidas en reactores de acero inoxidable con agitación mecánica interna continua. Las ondas acústicas de 25 kHz generan millones de microburbujas en el medio líquido que crecen y colapsan violentamente (cavitación acústica). La energía extrema liberada en las implosiones desintegra las paredes bacterianas previamente debilitadas, provocando una masiva liberación de enzimas intracelulares (proteasas, hidrolasas) y materia orgánica soluble (SCOD).

La eficacia de esta configuración fue contrastada en los ensayos piloto realizados in situ en la propia EDAR Murcia Este con una unidad semindustrial de 300 L. Los resultados analíticos demostraron que el tratamiento a 25 kHz incrementó la DQO soluble (SCOD) de 119 mg/L en el fango crudo a 543 mg/L tras 60 minutos (+356%) y hasta 935 mg/L a 120 minutos (+686%). Asimismo, el examen microscópico evidenció una reducción drástica del tamaño de partícula y la desaglomeración completa de flóculos bacterianos, validando un incremento potencial del 10,5% al 12% en la producción de biogás con un consumo específico de apenas 3,6 kWh/m³ de lodo tratado.




**Figura 1.** Prototipo piloto experimental instalado en la EDAR Murcia Este para la validación del pretratamiento a escala real.
Fuente: Archivo fotográfico interno EMUASA

**Cuadro 1.** Parámetros operativos y criterios de diseño del pretratamiento por cavitación acústica en la EDAR Murcia Este.
Fuente: Elaboración propia (EMUASA)

| Parámetro de Sonicación | Valor de Diseño / Consigna en EDAR Murcia Este |
|---|---|
| Tipo de lodo tratado | Fracción de lodo secundario biológico espesado (WAS) saponificado |
| Capacidad de tratamiento | 120 a 142 m³/día (30% a 35% del total de lodo secundario de planta) |
| Frecuencia ultrasónica | 25 kHz (frecuencia optimizada para evitar cavitación dura y erosión) |
| Energía específica aplicada | 3,6 kWh/m³ de fango tratado (densidad de alta eficiencia acústica) |
| Tiempo de retención hidráulico / Presión | Mínimo 60 minutos de irradiación en continuo / 0,2 a 1,0 barg |

## 3.2. Codigestión Inteligente y Plataforma Digital Predictiva

El segundo pilar de la solución tecnológica es la optimización digital del proceso de codigestión. La Región de Murcia cuenta con un potente tejido agroalimentario que genera importantes corrientes residuales ricas en azúcares (fabricación de golosinas, zumos, siropes) y grasas. Aunque estos residuos poseen un altísimo potencial metanogénico, su incorporación incontrolada a la digestión suele provocar aumentos bruscos de ácidos grasos volátiles (AGV), desequilibrios en la relación C/N o caídas de pH que inhiben las arqueas metanogénicas.

Para gestionar este riesgo, el proyecto incorpora el desarrollo de una herramienta digital avanzada. El objetivo de este software predictivo es mapear y caracterizar en continuo los cosustratos locales disponibles y estimar en tiempo real la mezcla de alimentación óptima a los digestores en función del estado biológico de la planta. La plataforma monitoriza variables críticas (ratio AGV/Alcalinidad estrictamente por debajo de 0,25 y pH entre 6,8 y 7,8), lo que permitirá a Aguas de Murcia elevar de forma completamente segura la dosificación hasta 55 t/día de cosustratos industriales, maximizando el biogás generado sin comprometer la estabilidad biológica.

# 4. Evolución de la codigestión en la EDAR Murcia Este y objetivos LIFE MERLIN

La alta autosuficiencia que hoy registra la EDAR Murcia Este no es fruto de la casualidad, sino de una trayectoria continuada de innovación en valorización de residuos iniciada hace más de una década por Aguas de Murcia.

## 4.1. Inicios y Autorización de Gestor de Residuos (2011)

La codigestión en Murcia Este comenzó en 2011 con la dosificación pionera de lixiviados de vertedero municipal. EMUASA obtuvo la autorización oficial como Gestor de Residuos No Peligrosos con la finalidad exclusiva de inyectar estos efluentes en la digestión anaerobia, logrando una primera mejora en la producción de biogás y sentando las bases de la gestión de corrientes externas en planta.

## 4.2. Fase de Laboratorio: Ensayos de Metanización BMP (2015–2022)

Entre 2015 y 2022, el equipo técnico de EMUASA llevó a cabo un exhaustivo programa de investigación a escala de laboratorio mediante ensayos de Potencial Bioquímico de Metano (BMP). Se caracterizaron diversos tipos de subproductos agroalimentarios generados en el tejido productivo regional. Los resultados demostraron con claridad que los efluentes con alta carga de azúcares solubles —procedentes de la importante industria de fabricación de golosinas y caramelos de la comarca de Murcia— presentaban el mayor potencial de producción de biogás y una cinética de degradación excepcionalmente rápida frente a otros cosustratos.

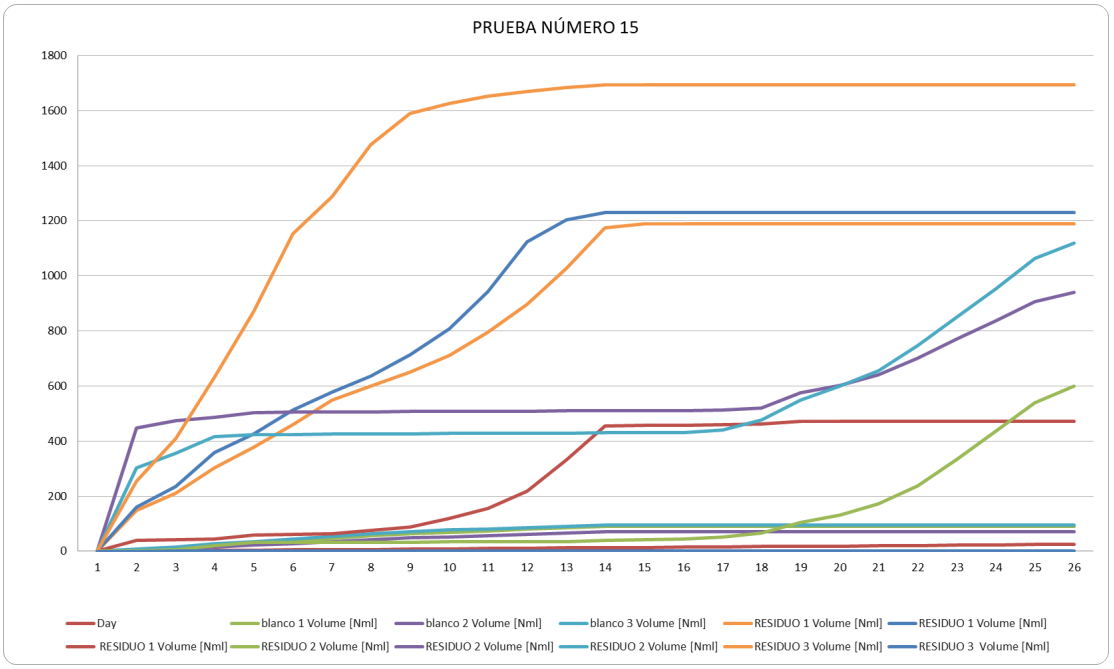



**Figura 2.** Curvas de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) en ensayos de laboratorio para la selección de cosustratos óptimos
Fuente: Laboratorio de EMUASA

## 4.3. Pruebas a Escala Real y Seguimiento de Estabilidad (2022–2023)

A finales de 2022, aprovechando la fase final de tramitación de la Autorización Ambiental Integrada (AAI), EMUASA solicitó permiso extraordinario a la Consejería de Medio Ambiente para iniciar pruebas a escala real en los digestores de Murcia Este. Se contrastaron efluentes azucarados de distintas fábricas de golosinas de la zona, identificando el residuo de mayor rendimiento y estabilidad.

La inyección se inició de forma progresiva y con un seguimiento analítico diario muy estricto de los parámetros de control: pH, ácidos grasos volátiles (AGV), alcalinidad total (TAC) y la relación acidez/alcalinidad (AGV/TAC < 0,25). En 2023 se introdujeron 61 Tm/año de aguas azucaradas, lo que disparó la producción de biogás un 18,8% (de 5,77 a 6,62 GWh/año) y elevó la autosuficiencia eléctrica al 53%.

## 4.4. Concesión de la AAI y Rutina de Explotación Industrial (2024–2025)

En 2024 la EDAR obtuvo la concesión definitiva de la Autorización Ambiental Integrada (AAI), lo que permitió cerrar la etapa experimental e incorporar formalmente la codigestión a la rutina ordinaria de explotación. Se priorizó el cosustrato azucarado de mejor comportamiento, complementándolo con residuos de otras factorías en función de la disponibilidad.

En 2025 la planta gestionó 26.411 Tm/año de cosustratos (un mix de alimentación compuesto por un 83% de fango propio de EDAR, un 9% de aguas azucaradas y un 8% de lixiviados). La producción de biogás creció otro 20,4% alcanzando 7,93 GWh/año, y la generación eléctrica por cogeneración subió a 22.301 kWh/día, consolidando una autosuficiencia eléctrica del 64%[1].

**Cuadro 1.** Evolución histórica de la codigestión y autosuficiencia energética en la EDAR Murcia Este (2020–2025) y objetivos con LIFE MERLIN.
Fuente: Elaboración propia (EMUASA)

| Escenario Operativo | Cosustrato Dosificado | Producción Biogás | Generación CHP | Autosuficiencia Eléctrica |
|---|---|---|---|---|
| **Línea Base (2020–2022)** Digestión convencional lodos | 0 Tm/año (Exclusivo lodos propios) | 5,77 GWh/año (Lodos EDAR) | 13.800 kWh/día (Línea base) | 43 % Autosuficiencia |
| **Fase Ensayos (2023)** Pruebas iniciales golosinas | 61 Tm/año (Aguas azucaradas) | 6,62 GWh/año (+18,8% incremento) | 18.100 kWh/día (+14,7% energía) | 53 % Autosuficiencia |
| **Consolidación (2025)** AAI y rutina de explotación | 26.411 Tm/año (Mix: 83% fango, 9% azúcar) | 7,93 GWh/año (+20,4% incremento) | 22.301 kWh/día (+19,5% energía) | 64 % Autosuficiencia |
| **Objetivo LIFE MERLIN** | Hasta 55 t/día (Mapeo agroindustrial) | 10.666 Nm³/día (+10,5 a 12% US) | 24.904 kWh/día (+2.603 kWh/d netos) | > 70 % Autosuficiencia |

[1] Dato de autosuficiencia a año 2025 cerrado

# 5. Estado de implantación y régimen operativo de la planta piloto

La planta piloto del proyecto LIFE MERLIN se encuentra ubicada en las inmediaciones del edificio de digestión anaerobia de la EDAR Murcia Este. Los trabajos de obra civil y montaje mecánico e instrumentación —incluyendo las bancadas de cimentación, el posicionamiento de los reactores de saponificación y pulmón, y el tendido de las conducciones de PEAD e inoxidable— encaran su fase final a cierre de 2026, dejando la instalación preparada para iniciar su puesta en marcha y operación continua a principios de 2027.

En régimen operativo ordinario, la planta funcionará de manera automatizada: una bomba helicoidal extraerá de forma continua entre 120 y 142 m³/día de lodo secundario espesado (WAS) desde la cámara de flotación hacia el tanque de mezcla, donde se dosificará sosa cáustica al 50%. A continuación, el fango saponificado circulará a través del módulo de ultrasonidos VTA (25 kHz), donde la cavitación provocará la lisis celular y la liberación de enzimas. Finalmente, el lodo pretratado pasará al depósito pulmón, desde el cual se impulsará hacia los tres digestores anaerobios existentes mediante un sistema de electroválvulas automáticas que garantiza un reparto equilibrado y registrado por caudalímetros independientes.

Durante la fase de demostración (2027–2028), este pretratamiento operará en sincronía con la plataforma digital a desarrollar. El seguimiento operativo se centrará en verificar en continuo la ganancia neta de biogás, la estabilidad biológica frente a sobrecargas y la reducción del volumen y coste de gestión del digestato final deshidratado.



**Figura 2.** Bancadas de cimentación de hormigón para la implantación y anclaje de las dos unidades del proceso de saponificación y equipos auxiliares.
Fuente: Archivo fotográfico de obra de EMUASA (Proyecto LIFE MERLIN).




**Figura 2.** Cimentaciones de hormigón para el posicionamiento y fijación de los dos reactores del proceso de saponificación y equipos auxiliares.

Fuente: Elaboración propia (EMUASA) a partir de los avances de obra del Proyecto LIFE MERLIN.

# 6. Beneficios Ambientales y Alineación con la Economía Circular

La implantación a escala real de LIFE MERLIN en la EDAR Murcia Este aporta importantes beneficios ambientales plenamente alineados con las directivas climáticas europeas:

- **Descarbonización activa:** La generación neta adicional de 950 MWh/año de electricidad renovable evita la importación de energía de la red fósil, reduciendo la huella de carbono en más de 240 t CO2 eq/año.
- **Reducción de residuos en origen:** El aumento del 9,5% en la tasa de degradación de materia orgánica en digestión reduce en 1.350 m³/año la producción de fango deshidratado, recortando transportes y emisiones asociadas.
- **Simbiosis industrial de proximidad:** La valorización de subproductos azucarados de la industria local cierra los ciclos de materiales y energía dentro de la propia comarca de Murcia.

# 7. Conclusiones y Próximos Pasos

La integración del pretratamiento de hidrólisis enzimática (saponificación y cavitación por ultrasonidos) con la gestión digital avanzada de cosustratos representa una solución técnicamente madura y viable para transformar grandes depuradoras urbanas en biofactorías energéticamente autosuficientes. La experiencia pionera de Aguas de Murcia en la EDAR Murcia Este demuestra

que es posible superar el límite cinético de la digestión convencional mediante intervenciones electromecánicas compactas, sin acometer costosas ampliaciones de obra civil.

Con la conclusión del montaje a finales de 2026, la fase de demostración industrial y validación operativa que arranca en 2027 permitirá consolidar este modelo tecnológico como un referente transferible para el sector del agua en España y el sur de Europa.

## 8. Agradecimientos

El proyecto LIFE MERLIN (LIFE23-CCM-ES-LIFE MERLIN - 101158094) está cofinanciado por el Programa LIFE de la Unión Europea. Los autores expresan su agradecimiento a todos los socios del consorcio: Cetaqua, Aguas de Alicante (AMA), Createch360°, Labaqua y ESAMUR, así como al personal técnico y de laboratorio de la EDAR Murcia Este.

# Referencias

[1] B2S Renewable Energies / Aguas de Murcia (2025): Proyecto Constructivo: Saponificación y Sonicación de Fangos EDAR Murcia Este (Proyecto LIFE23-CCM-ES-LIFE MERLIN 101158094). Documento 1: Memoria y Anejos.

[2] Cetaqua / Consorcio LIFE MERLIN (2025): Deliverable D1.2: Basic Design Murcia-Este Demonstration Plant. LIFE MERLIN Project.

[3] Cetaqua / EMUASA / AMA (2026): LIFE MERLIN Technical Midterm Report (RP1: Months 1-24). Submitted to European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA).

CONAMA 2026