



# RUMBO 20.30.

26  
NOV

29  
NOV

CONAMA 2018  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## LIFE METHAMORPHOSIS, de residuos a agua regenerada y biometano para el transporte

*Gloria Sanchez Santos*

*Dirección de Prevención y Gestión de Residuos - Área Metropolitana de Barcelona (AMB)*

### Resumen

El proyecto LIFE METHAMORPHOSIS, cofinanciado por la Comisión Europea bajo el Programa LIFE, tiene como objetivo recuperar la energía procedente del residuo orgánico municipal y del residuo agroindustrial para obtener un combustible sostenible y alternativo para uso vehicular. El proyecto incluye los mismos objetivos que el Programa LIFE relacionados con la mitigación al cambio climático mediante el uso de energías renovables y, especialmente, con la producción de biometano en plantas de tratamiento de residuos. Así pues, LIFE METHAMORPHOSIS es un proyecto de demostración que pretende evidenciar la viabilidad técnica y económica, a escala industrial, de dos innovadores sistemas de tratamiento de residuos: el prototipo UMBRELLA y el prototipo METHAGRO.

El prototipo UMBRELLA, situado en el Ecoparque de Montcada i Reixac (Barcelona), optimiza energéticamente la depuración de las aguas procedentes del tratamiento de la fracción orgánica seleccionada en origen mediante la implantación de innovadores procesos anaerobios y autótrofos aplicados en serie: reactor anaerobio de membranas (AnMBR) y el sistema Anammox ELAN<sup>®</sup> de eliminación autótrofa de nitrógeno. Finalmente, el biogás producido es tratado en un sistema de limpieza y afino consistente en una combinación de membranas selectivas con la tecnología patentada de Aqualia ABAD Bioenergy<sup>®</sup>, a fin de obtener biometano de calidad suficiente para cumplir la norma de UNE EN16723-2:2018 para uso como combustible en automoción.

El prototipo METHAGRO trata el biogás producido en la digestión anaerobia de purines de la granja de Porgaporcs (Lleida) y materia orgánica procedente de desechos de la zona, mediante la tecnología de membranas. Las membranas separan el CO<sub>2</sub> del CH<sub>4</sub> obteniéndose un gas enriquecido en CH<sub>4</sub>. El biogás de entrada es pretratado eliminando la humedad y contaminantes como el H<sub>2</sub>S, Siloxanos y compuestos orgánicos volátiles (COVs). El biometano producido a la salida de la planta de upgrading cumple con las normas UNE-EN 16723-1:2017 para inyección en la red y UNE-EN 16723-2:2018 para uso vehicular.

El biometano de ambos sistemas, será testado en vehículos SEAT. En el caso de UMBRELLA el biometano se testará además en vehículos pesados de recogida de residuos sólidos urbanos. Se trata de una contribución al cambio de movilidad urbana y al desarrollo de las ciudades del futuro. Además, esta iniciativa está de acuerdo con las directrices sobre economía circular que fomenta la Comisión Europea.

**Palabras clave:** Residuos; Biometano; Cambio Climático; Innovación; Movilidad Sostenible; Residuos Municipales; Agua





## 1. Introducción

El sector del transporte es uno de los principales causantes de las emisiones difusas de gases de efecto invernadero establecidas por el Protocolo de Kyoto siendo, aproximadamente, un tercio de las emisiones antropogénicas. El estudio de nuevas tecnologías que permitan reducir las emisiones derivadas del transporte tiene un alto valor estratégico para alcanzar los objetivos de la Unión Europea en relación al cambio climático.

Una opción es la producción de biometano para uso vehicular. Con el desarrollo de nuevas tecnologías en este ámbito, no sólo se puede conseguir una disminución de las emisiones del dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, provenientes de este sector, sino que además, puede contribuir significativamente a mejorar la calidad del aire local, especialmente en áreas densamente pobladas, ya que las emisiones de óxidos de nitrógeno y material particulado, NOx y PM, se reducen considerablemente en comparación con otros combustibles fósiles como el diésel.

Por otro lado, intervenir en el proceso de depuración de aguas residuales ligado a la producción de biometano también puede aportar un alto beneficio medioambiental. Este beneficio supone la reducción del consumo energético, y por lo tanto, las emisiones de efecto invernadero, sino que además puede obtener agua regenerada y, de este modo, aminorar el tratamiento y uso de agua potable.

De esta problemática nace LIFE METHAMORPHOSIS, un proyecto cofinanciado al 60% por la Unión Europea dentro del Programa LIFE, que pretende promover tecnologías innovadoras en materia de medio ambiente y cambio climático. El proyecto, cuenta con un presupuesto de más de 3 millones de euros y está formado por un consorcio de empresas privadas y entidades públicas españolas; Aqualia, como coordinador del proyecto; FCC S.A.; Naturgy Energy Group, S.A., SEAT S.A.; el Área Metropolitana de Barcelona (AMB); y el Institut Català d'Energia (ICAEN).

El proyecto LIFE METHAMORPHOSIS incluye los mismos objetivos que el Programa LIFE, en especial, la mitigación del cambio climático mediante el uso de energía renovable y, en particular, la producción de biometano procedente de plantas de tratamiento de residuos. Así pues, el principal objetivo es recuperar energía del residuo sólido orgánico, tanto municipal como agroindustrial, con el fin de obtener biometano, un combustible sostenible y alternativo, además de incrementar la eficiencia del proceso de tratamiento del agua residual generada. El biocombustible obtenido tiene menor ratio de gases de efecto invernadero comparado con otros convencionales como la gasolina o el gasoil, por lo que supone una contribución al cambio hacia una movilidad urbana sostenible y el desarrollo de las ciudades del futuro. Asimismo, se trata de una iniciativa que está en línea con las directrices sobre economía circular que fomenta la Unión Europea.

Para poder demostrar la viabilidad técnica y económica de la generación y uso del biometano, el proyecto está realizando la demostración a escala industrial de dos sistemas innovadores de tratamiento: el prototipo UMBRELLA y el prototipo METHAGRO.

## 2. Acciones demostrativas

### 2.1. Prototipo UMBRELLA



Figura 1. Prototipo UMBRELLA, LIFE Methamorphosis. Localización: Ecoparc de Montcada i Reixac, Barcelona

El prototipo UMBRELLA, gestionado por Aqualia, se ha implementado en una de las plantas de tratamiento de residuos municipales del Área Metropolitana de Barcelona, en el Ecoparc de Montcada i Reixac (Barcelona). Esta planta realiza un tratamiento mecánico biológico a la fracción orgánica seleccionada en origen (FORM) y fracción de rechazo (RESTO) del residuo municipal metropolitano. El Ecoparc de Montcada i Reixac tiene capacidad para tratar 260.000 toneladas anuales de residuos (160.000 t de RESTO y 100.000 t de FORM), y genera 12,6 Millones de m<sup>3</sup> de biogás/año.

Debido a las características de la planta y del residuo de entrada, esta infraestructura fue la escogida para instalar el primer prototipo. El objetivo del prototipo UMBRELLA es optimizar energéticamente la depuración de las aguas residuales procedentes del tratamiento de la fracción orgánica seleccionada en origen y tratada en el Ecoparc, mediante la implantación de innovadores procesos anaerobios y autótrofos aplicados en serie: un biorreactor anaerobio de membranas (AnMBR) y el sistema Anammox ELAN® de eliminación autótrofa de nitrógeno.

Por un lado, el sistema AnMBR permite eliminar la materia orgánica del agua residual sin la necesidad de un aporte externo de oxígeno por tratarse de un proceso anaerobio, lo que supone una importante reducción del consumo energético asociado al proceso de



tratamiento. Además, permite la recuperación de energía en forma de biogás y se obtiene una notable reducción en la producción de lodos. Es la primera vez que se aplica esta tecnología con este tipo de efluentes a escala demostrativa. Por otro lado, el sistema Anammox ELAN®, patentado por Aqualia, substituye al proceso tradicional de nitrificación-desnitrificación para eliminar el nitrógeno. El proceso Anammox ELAN® no requiere de un aporte extra de carbono y permite reducir los costes de aireación ya que el amonio se combina con el nitrito para generar nitrógeno.

Finalmente, el biogás producido es tratado mediante un sistema de membranas y, posteriormente, la corriente residual es limpiada y afinada mediante la tecnología ABAD Bioenergy®, de absorción-adsorción patentada también por Aqualia. Esta tecnología permite reducir costes de instalación y operación a la vez que se obtiene un biometano de calidad (> 85% CH<sub>4</sub>) apto para uso vehicular.

El prototipo UMBRELLA tiene una capacidad objetivo de tratar 14 m<sup>3</sup>/día de efluente procedente del digestato de la FORM, así como de generar suficiente biometano de calidad para abastecer suficiente combustible para recorrer, al menos, 30.000km con cada unidad de SEAT. Desde la puesta en marcha del prototipo (marzo 2018) hasta la actualidad, se están realizando analíticas de los efluentes del sistema. El propósito es llevar un control de calidad tanto del agua regenerada como del biometano que se obtiene a la salida del prototipo.

Se prevé que a finales de noviembre, el biometano generado en el UMBRELLA pueda ser utilizado como combustible vehicular, por lo que será testado en vehículos SEAT y en camiones de recogida de residuos sólidos urbanos de FCC.

## 2.2. Prototipo METHAGRO



Figura 2. Prototipo METHAGRO, LIFE Methamorphosis. Localización: Planta agroindustrial en Vilasana, Lleida

El prototipo METHAGRO, gestionado por Naturgy, se encuentra en la planta agroindustrial de Porgaporcs, propiedad de Ecobiogás, situada en Vilasana (Lleida). Esta planta trata, aproximadamente, 12.930 t/año de deyecciones porcinas y 7.350 t/año de otros residuos orgánicos, generando más de 1,5 GWh/año.

El prototipo METHAGRO tiene como objetivo permitir y asegurar la reapertura de plantas de tratamiento de purines mediante la adaptación y optimización de tecnologías de upgrading con el fin de reducir impactos ambientales actuales y producir biometano de calidad para uso vehicular. METHAGRO trata el biogás producido en la digestión anaerobia de purines de la planta agroindustrial y de la materia orgánica procedente de desechos de la zona mediante la tecnología de membranas.

El sistema de membranas requiere que el biogás de entrada sea pretratado eliminando la humedad y contaminantes como el sulfuro de hidrógeno, siloxanos y compuestos orgánicos volátiles. El agua es eliminada enfriando el biogás con un refrigerador hasta aproximadamente 5 °C, mientras que las otras impurezas se eliminan usando tres filtros de carbón activo. Una vez el biogás está limpio de contaminantes, se comprime y entra en el sistema de membranas donde el dióxido de carbono es permeable y pasa con facilidad, mientras que el metano sigue circulando a través de la fibra hueca de la membrana. De este modo se obtiene el biometano, un gas enriquecido en metano ( $[CH_4] > 95\%$ ) y apto para uso vehicular e inyección en red de gas natural. Esta tecnología permite trabajar sin la adición de productos químicos y con un uso relativamente bajo de energía.

Este prototipo tiene una capacidad de producción de biometano de 135 m<sup>3</sup>/h. Igual que en el UMBRELLA, desde su puesta en marcha (mayo 2018) hasta la actualidad, se están realizando analíticas del biometano de salida para determinar la calidad del mismo y, de este modo, comprobar que cumple los requisitos para su uso como combustible para vehículos. A finales de octubre, el biometano procedente del prototipo METHAGRO será testado en vehículos SEAT.

### 2.3. Los vehículos



*Figura 3. Modelo SEAT León TGI utilizado para testar el biometano generado en los prototipos*

El biometano procedente de ambos prototipos será testado en vehículos SEAT a fin de evaluar su efecto como combustible renovable y sostenible en motores de vehículos ligeros. Las pruebas se realizarán en 3 vehículos del modelo SEAT León TGI y un vehículo del modelo SEAT Arona TGI. El objetivo es recorrer un total de 120.000 km, 30.000 km por vehículo.

Durante la evaluación se analizará el efecto del biometano sobre las prestaciones, consumos y emisiones de la flota, así como sus efectos sobre la durabilidad y fiabilidad de los componentes del sistema de combustible, grupo motopropulsor y sistema de tratamiento de los gases de escape. Los ensayos se realizarán en condiciones reales y los datos recogidos serán evaluados por el equipo de ingenieros y analistas de SEAT.

Cada vehículo dispondrá de un sistema de captación y transmisión por telemetría de los datos a tiempo real. Este sistema permite una monitorización continua e instantánea para controlar y registrar parámetros de interés, así como el tipo de conducción de cada usuario, duración y parámetros de la ruta seleccionada, tiempos de repostaje, y otros criterios necesarios para la evaluación continua del vehículo.

Una vez finalizado el periodo de rodaje se realizará una última prueba de potencia, par y emisiones, antes del desmontaje total del motor y todos sus componentes, así como análisis individual de todas las piezas que han tenido contacto con el biometano.

### 3. Primeros resultados

Con la puesta en marcha y funcionamiento del prototipo UMBRELLA y el prototipo METHAGRO se pretende analizar y demostrar la viabilidad técnica y económica de generar biometano a partir de residuos orgánicos, tanto urbanos como agroindustriales. Se quiere impulsar la comercialización y consumo de biometano en vehículos y, de este modo, cumplir parcialmente los objetivos del plan de Ahorro y Eficiencia Energética y el de Energía Renovable 2011-2020 español, las directivas de ahorro y eficiencia energética 2010/27/EU, así como los objetivos de la UE en la promoción de biocombustibles.

El **prototipo UMBRELLA** inició su puesta en marcha en marzo de 2018 con el reactor anaerobio de membranas AnMBR. A continuación se presentan los primeros resultados respecto a la eliminación de DQO y conversión en biogás:

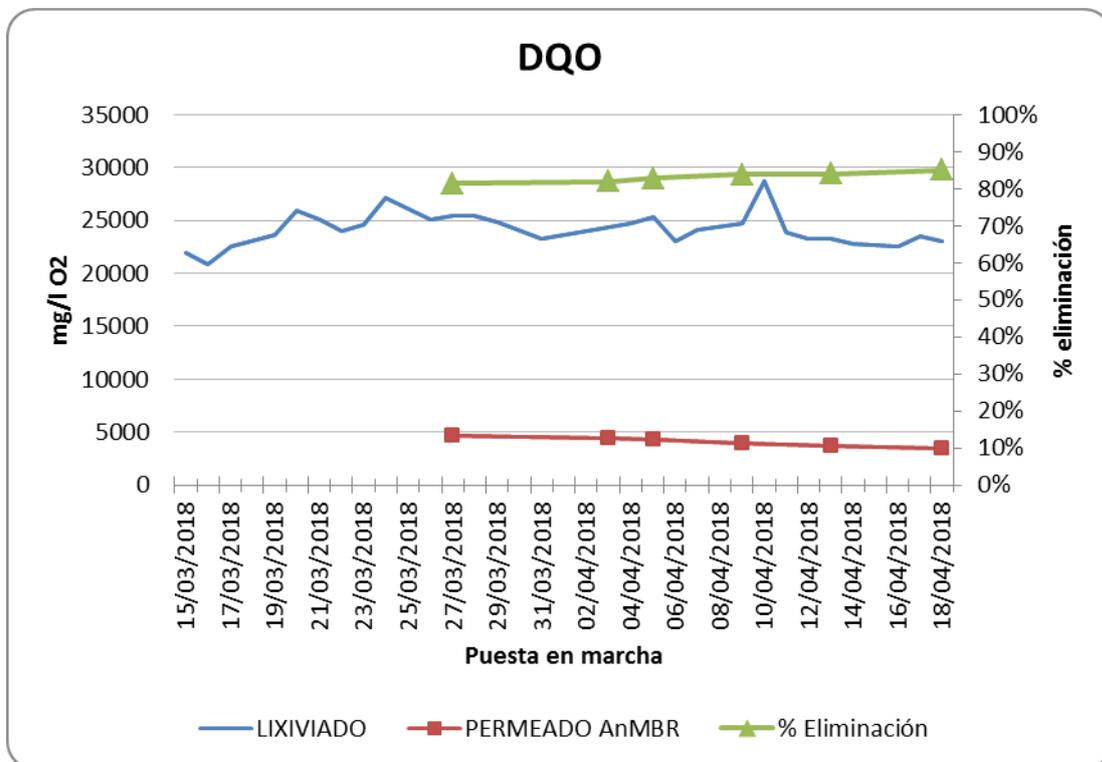


Figura 4. Evolución de la DQO y eliminación de DQO durante la puesta en marcha.

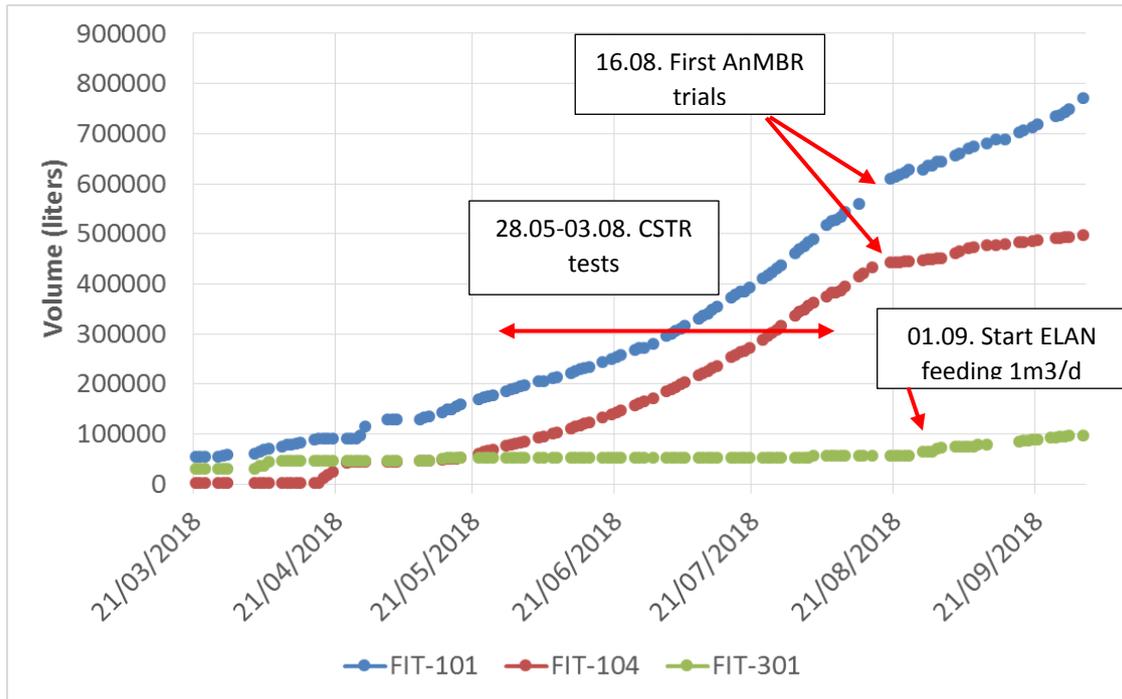


Figura 5. Evolución de volumen acumulado tratado registrado por los medidores de flujo.

La combinación de flujo de entrada, entrada de DQO y volumen del reactor (que generalmente fue constante y confirmado por medio del medidor de nivel LIT102) permitió la estimación de la tasa de carga orgánica (OLR), es decir, la cantidad de materia orgánica alimentada por día y por volumen de reactor:

$$\text{OLR (kg COD/m}^3 \text{ reactor/day)} = \frac{\text{Composition (kg COD/m}^3 \text{ leachate)} \cdot \text{Flow (m}^3 \text{/day)}}{\text{Volume (m}^3 \text{ reactor)}}$$

La evolución de la tasa orgánica del reactor (OLR) puede verse en la siguiente figura:

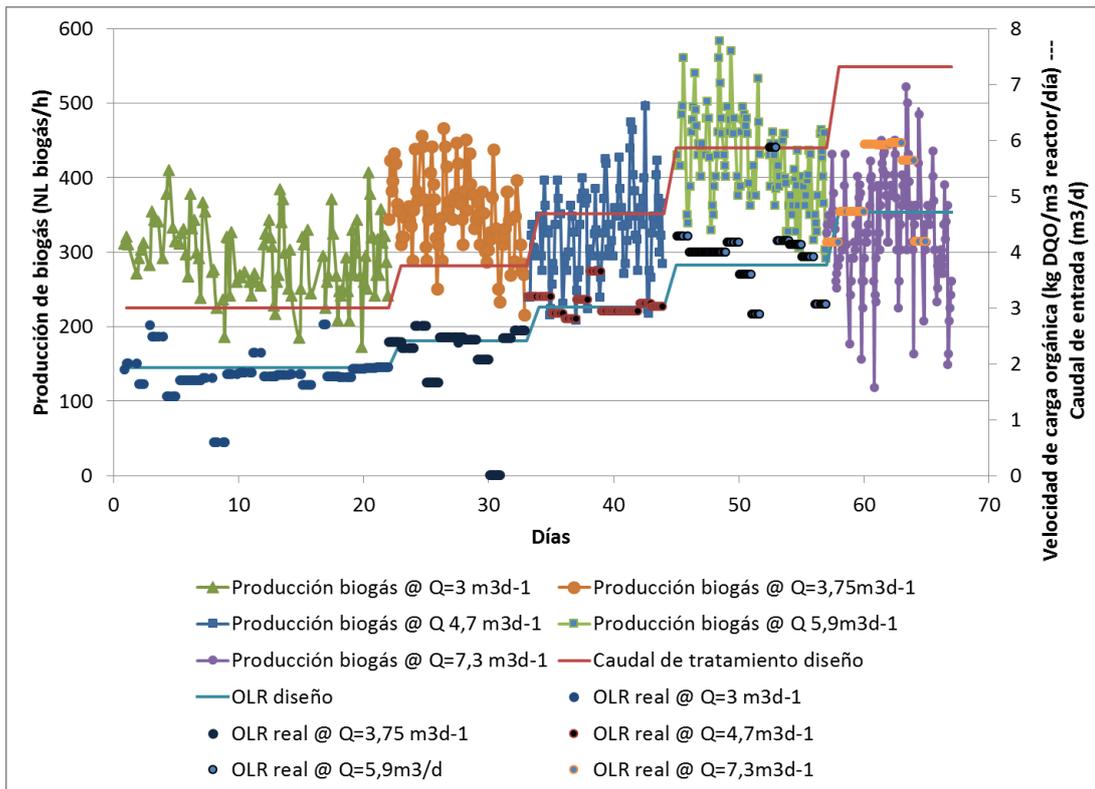


Figura 6. Evolución de la tasa de carga orgánica en el AnMBR del prototipo UMBRELLA durante los CSTR tests.

Para monitorizar la calidad del biogás y el biometano se ha utilizado un equipo portátil con sensores electroquímicos y catalítico para medir estos compuestos: O<sub>2</sub> (%) 0 – 25, CH<sub>4</sub> (%) 0 – 100, CO<sub>2</sub> (%) 0-100, CO (ppm) 0-500 y H<sub>2</sub>S (ppm) 0 – 500.

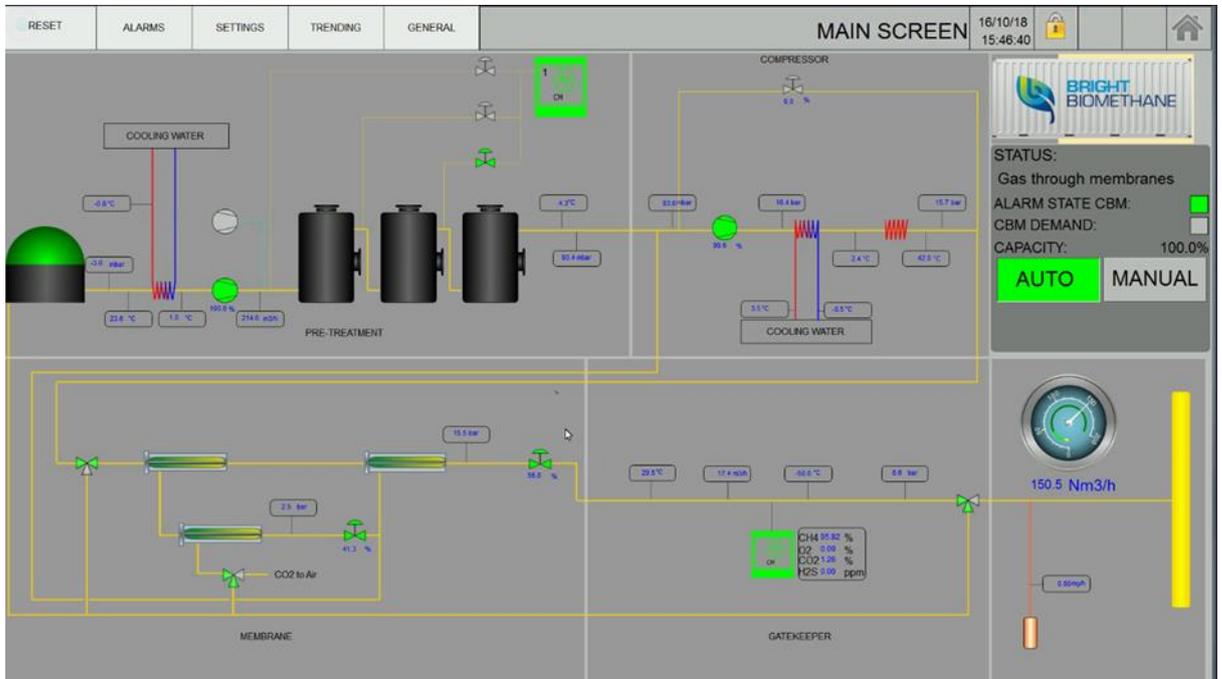
Adicionalmente se utiliza una bomba manual y tubos colorimétricos para medir H<sub>2</sub>S en dos rangos de concentración: 5-60 ppm and 100-2000 ppm.

El proyecto incluye el análisis de biometano a través de un laboratorio de los siguientes parámetros: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, siloxanos, compuestos orgánicos volátiles COVs, compuestos orgánicos sulfurados COS, mercaptanos, humedad, punto de rocío, poder, poder calorífico inferior PCI, poder calorífico superior PCS, número Wobbe y densidad.

La determinación analítica de los ácidos grasos volátiles (AGV) es esencial para saber la estabilidad del proceso anaerobio.

Debido a la estructura de biomasa altamente desagregada, la determinación analítica de sólidos suspendidos volátiles y totales (SST, SSV) en el efluente de entrada al AnMBR y en el licor mezclado AnMBR no fue posible mediante métodos analíticos estándar. El contenido de SST en el efluente de entrada se estimó a través de la diferencia entre el contenido seco total en la muestra original y el contenido seco total de sobrenadante obtenido después de una centrifugación de 20 minutos a 9000 rpm. El contenido de SST en el licor mezclado AnMBR se determinó mediante la diferencia entre el contenido seco total y el contenido seco total del permeado (suponiendo que este último es materia disuelta).

El **prototipo METHAGRO** inició su puesta en marcha en mayo de 2018 y desde entonces está produciendo biometano de calidad adecuada para su uso vehicular y para inyección en la red de gas.



Dispone de dos analizadores multiparamétricos on line para analizar la calidad del Biogás y Biometano, que permiten analizar en continuo metano, oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno y así se controla el rendimiento del proceso de upgrading.



Figure 7. Detalle de los multianalizadores

Las características técnicas de estos multianalizadores son:



**ANALYSER**

	Measurement range	Resolution	Stability	Reference	Interval	The measuring process	Automatic calibration	Remarks
<b>Methane</b> CH4	100 vol.%	0.1 vol.%	±1 vol.%*	50 vol.%	cont.	IR dual beam	proCAL	Thermostatic, pressure compensation
<b>Carbon dioxide</b> CO2	100 vol.%	0.1 vol.%	±1 vol.%*	50 vol.%	cont.	IR dual beam	proCAL	Thermostatic, pressure compensation
	10 vol.%	0.01 vol.%	±0.1 vol.%*	5 vol.%	cont.	IR dual beam	proCAL	
<b>Oxygen</b> O2	25 vol.%	0.1 vol.%	< 0.2 vol.%*	Zero point *****	cont.	electrochemical	Single point	
	2 vol.%	0.01 vol.%						
	5 vol.%	0.01 vol.%	< 0.1 vol.%**	Zero point *****	cont.	paramagnetic	Single point	Thermostatic control
<b>Sulphur hydrogen</b> H2S	5000 ppm	1 / 5 ppm	< 2 %***	Measured value	1 hours	electrochemical	Single point	
	1,000 ppm	1 ppm	< 2 %***	Measured value	1 hours	electrochemical	Single point	
	200 ppm	0.2 ppm	< 2 %***	Measured value	1 hours	electrochemical	Single point	
	25 ppm	0.1 ppm	< 2 %***	Measured value	cont.	electrochemical	Single point	Low hydrogen cross sensitivity

Para la medida en continuo del punto de rocío de agua, la instalación dispone de dos analizadores ubicados uno después del enfriador y del sistema de filtración y otro en la corriente de biometano generado. Las especificaciones técnicas de estos equipos son:

**Technical Specifications**

Product	Easidew PRO XP for Gases	Easidew PRO XP LQ for Liquids
<b>Performance Specifications</b>		
Measurement range	-110 to +20°C dew point; -100 to +20°C dew point	0 to 1000 ppm <sub>w</sub> ; Non-standard available on request
Accuracy	±1°C dew point (+20 to -60°C); ±2°C dew point (-60 to -110°C)	
Response time	5 mins to T95 (dry to wet)	
Repeatability	0.5°C dew point	
Calibration	Traceable 13 point calibration and certificate	

Además de los analizadores para medida en continuo de los que dispone METHAGRO, se realizan analíticas periódicas en laboratorio acreditado del resto de parámetros que exige la normativa en el biometano tanto para su uso vehicular como para inyección a red. Estos parámetros son: CH4, CO2, CO, N2, O2, H2, H2S, siloxanos, BTEX, compuestos orgánicos volátiles COVs, compuestos orgánicos sulfurados COS, mercaptanos, humedad, punto de rocío de agua y de hidrocarburos, partículas, poder calorífico inferior PCI, poder calorífico superior PCS, índice de Wobbe y densidad.

Las analíticas de calidad del biometano generado en el prototipo METHAGRO muestran el cumplimiento las normas UNE-EN 16723-1:2017 para inyección en la red y UNE-EN 16723-2:2018 para uso vehicular.

El prototipo UMBRELLA se encuentra en plena puesta en marcha, y se prevé que en noviembre el biometano producido ya sea apto para usarlo en los vehículos SEAT.

En general, al utilizar el biometano producido como combustible de automoción no sólo se pretende obtener una reducción de más del 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el balance global comparado con el gas natural comprimido actual, sino que también se prevé conseguir una disminución anual de las emisiones de partículas de hasta 6,21 kg/vehículo.

Además, cada prototipo tiene unos objetivos específicos a alcanzar:



Por un lado, el prototipo UMBRELLA debería conseguir una reducción de 1,2 t CO<sub>2</sub>eq/día en el proceso de depuración de las aguas residuales procedentes del tratamiento de la fracción orgánica seleccionada en origen y tratada en el Ecoparc, así como una reducción de más del 80% del sulfuro de hidrógeno presente en el biogás. Al mismo tiempo, se incrementa la capacidad de tratamiento del nitrógeno a 70 kg/día mientras que se reduce en un 95% la generación de sólidos suspendidos en el efluente de la depuradora. El sistema del UMBRELLA supone una reducción del consumo energético de más del 70% comparado con otros tratamientos convencionales.

El prototipo METHAGRO permite conseguir una concentración de metano en el biometano de más del 95%, mientras que la concentración de este compuesto en el biogás suele estar entre un 50-65%. Además, con el uso de este biometano en vehículos se espera evitar la emisión anual a la atmosfera de 2.064 kg de SO<sub>2</sub>/año y 9.500 t CO<sub>2</sub>/año, así como una reducción de las emisiones de partículas de 3.105 kg por año y vehículo. Del mismo modo, al utilizar 12.930 toneladas anuales de purines, se reducirá el riesgo de contaminación de acuíferos de la zona.

#### 4. Conclusiones

El principal objetivo del proyecto LIFE METHAMORPHOSIS, enmarcado en el Programa LIFE de la Comisión Europea, es la mitigación al cambio climático mediante la innovación.

En este caso se han construido dos prototipos demostrativos de recuperación de energía a partir del residuo orgánico municipal y agroindustrial a fin de obtener un combustible alternativo y sostenible apto para uso vehicular. El biometano resultante de ambos prototipos será testado en 4 vehículos de la marca SEAT, que realizarán un total de 120.000 km, así como en vehículos pesados de recogida de residuos sólidos urbanos de FCC.

Con la implementación del prototipo UMBRELLA, en el Ecoparc de Montcada i Reixac (Barcelona) y, del prototipo METHAGRO, en la planta agroindustrial de Porgaporcs situada en Vilasana (Lleida), no sólo se contribuirá a avanzar hacia una economía eficiente en el uso de los recursos, sino también a proteger y mejorar la calidad ambiental del territorio.

Por un lado, utilizar el biometano en el sector del transporte en rasgos generales supone un 25% menos de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a la gasolina, así como un 85% menos de emisiones de NO<sub>x</sub> en comparación con los vehículos diésel. Y por otro lado, la eficiencia energética de estas nuevas tecnologías permite reducir notablemente el consumo de energía y los costes asociados.

Es decir, al desarrollar y demostrar tecnologías, métodos e instrumentos de innovación, el proyecto LIFE METHAMORPHOSIS es una contribución al cambio hacia una movilidad urbana sostenible y al desarrollo de las ciudades del futuro, bajas en emisiones de efecto invernadero y atmosféricamente más limpias.