



# II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

# MasterClass 09



“Nuevos retos tecnológicos en la digestión anaerobia y la generación de biometano”

➤ **16 MARZO**

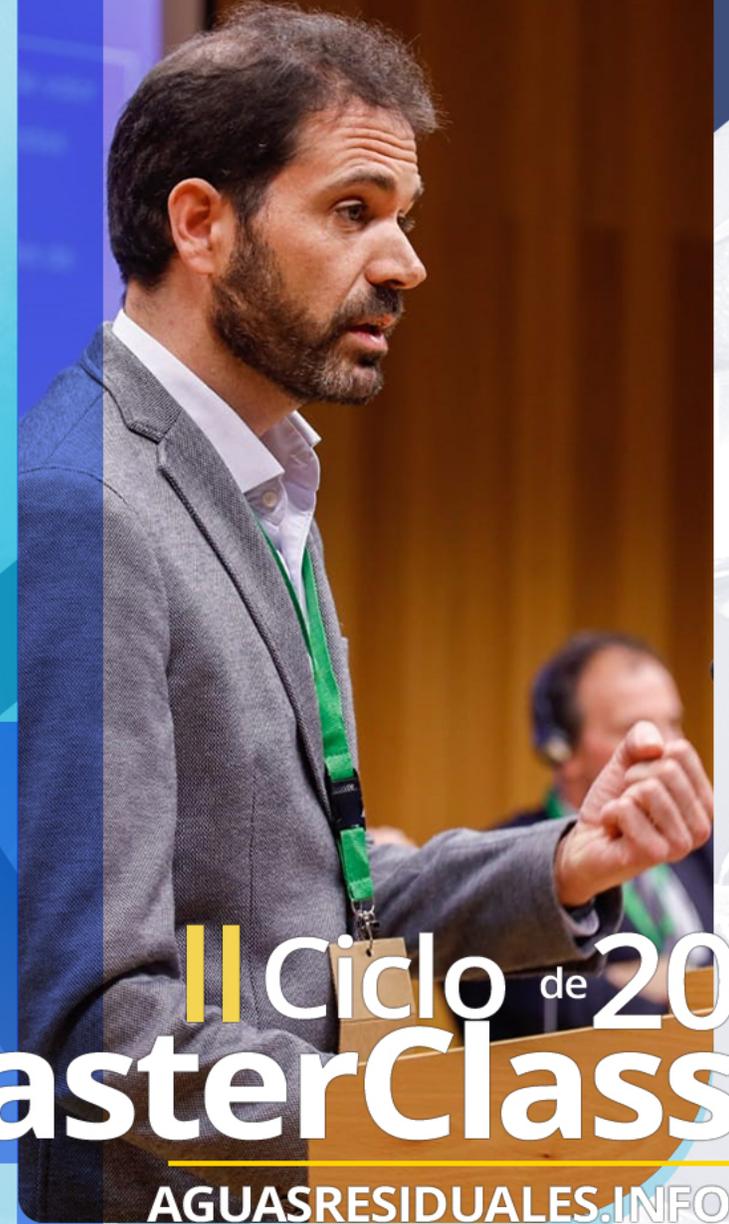
16:30 h. española

**Enrique Aymerich**

Director de la división de Aguas del CEIT  
PhD en Ingeniería Ambiental

II Ciclo de 20  
**MasterClass**

AGUASRESIDUALES.INFO



# INSTITUTIONAL PROFILE

## HISTORY AND MISSION

Founded in 1982 by the School of Engineering of the University of Navarra

- 1<sup>st</sup> private Univ. in Spain
- 12 000 students
- 48th in the world [Graduate Employability Ranking]
- IESE Business School 1<sup>st</sup> MBA in Europe,
- 5<sup>th</sup> in the world according to “The Economist”



Universidad  
de Navarra



# INSTITUTIONAL PROFILE

## HISTORY AND MISSION

### Creating knowledge and for more than 40 years



Scientific production + 1,300 publications and 2,000 contribution to international congresses



PhDs and researchers transferred to the industry +350 PhDs and 400 researchers (+60% locally)



New jobs created in spin-offs + 300 employees



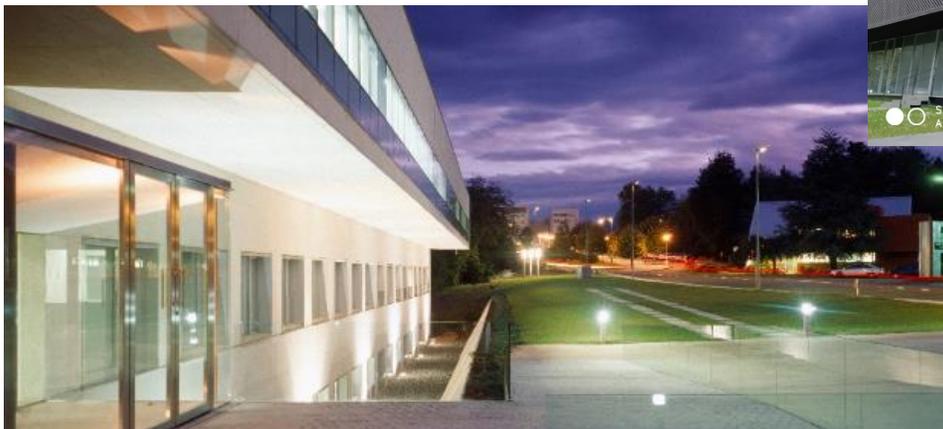
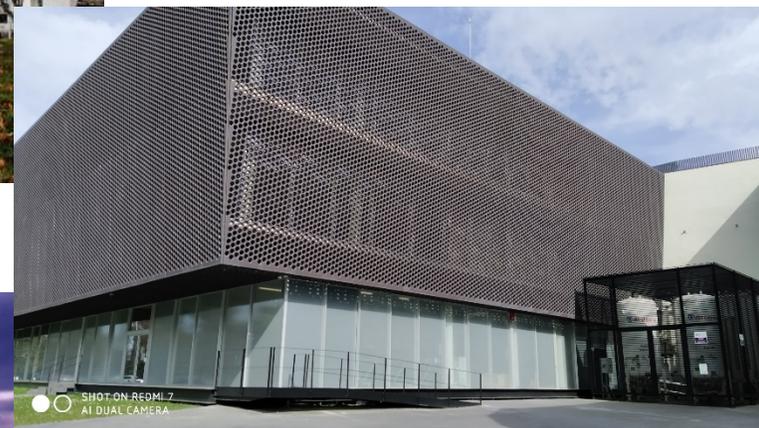
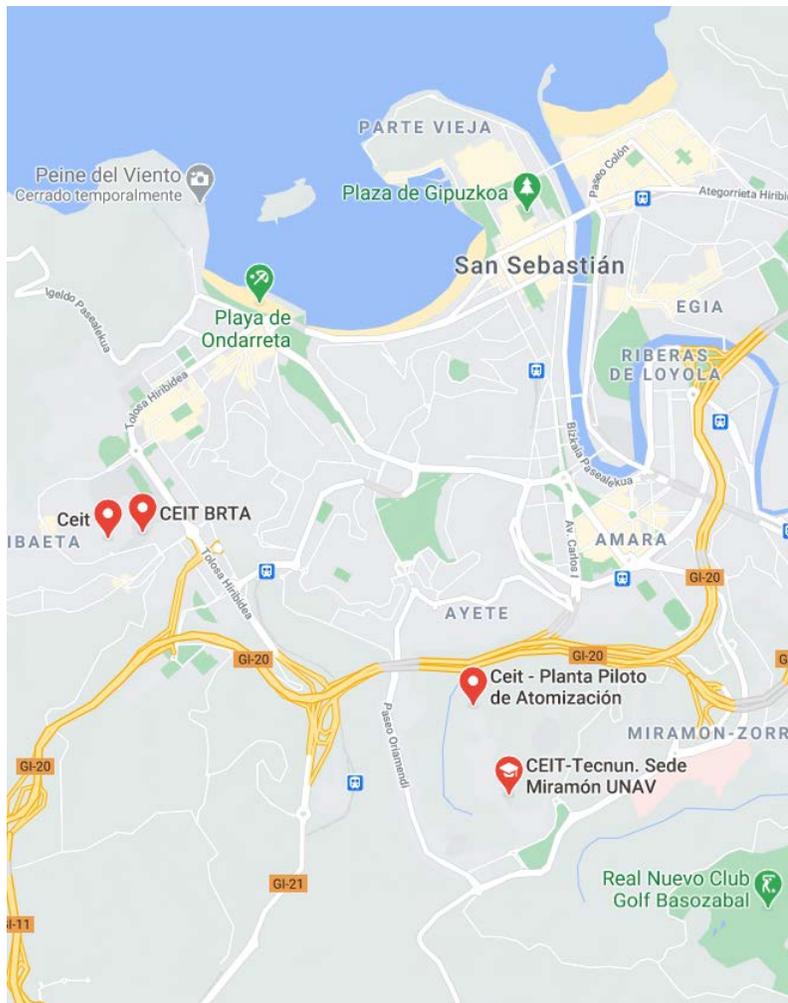
Accumulated incomes of spin-offs + 200 M€



Number of EU projects > 100

# INSTITUTIONAL PROFILE

## OUR LOCATION

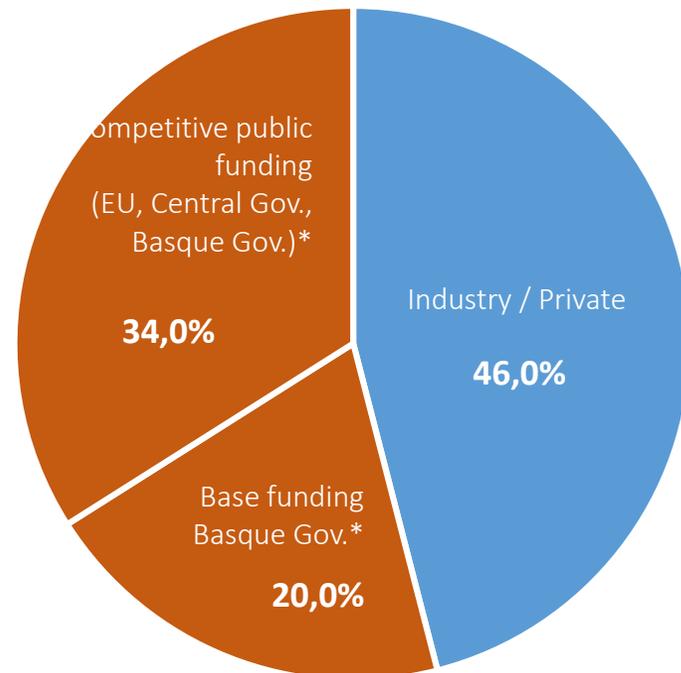


# FUNDING AND KEY FIGURES

BUDGET 2023: 24 MILLION EUROS



## Funding sources and type of research



\*Applied Research/  
knowledge generation



### Personnel

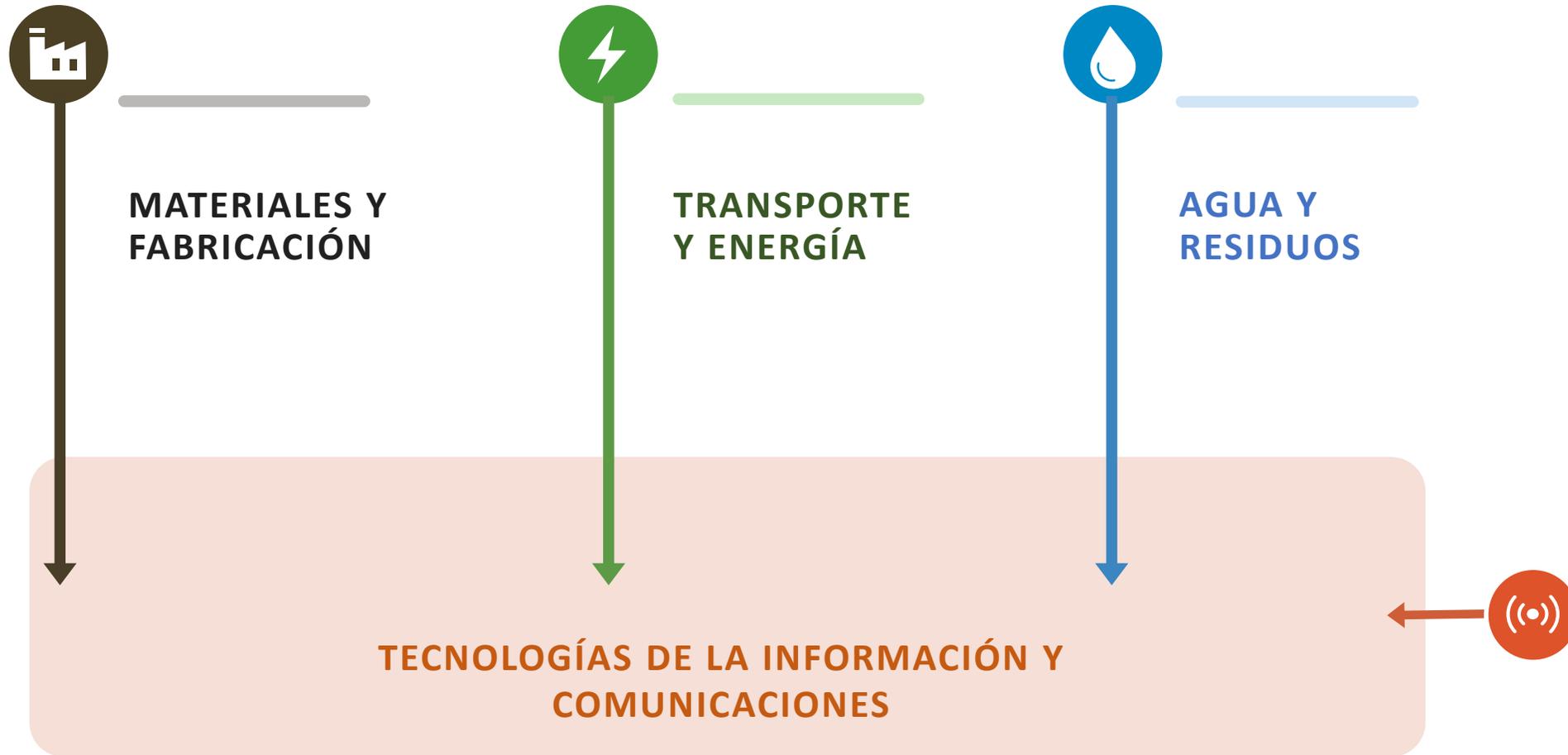
Total: 224  
Doctors: 95  
PhD students: 39



### Scientific production

Journal papers: > 60  
Conferences: > 75  
PhD theses: >10

## 4 DIVISIONES



# GRUPO AGUA & RESIDUOS



## Actividad principal del grupo



## PLANTAS PILOTO - LABORATORIO

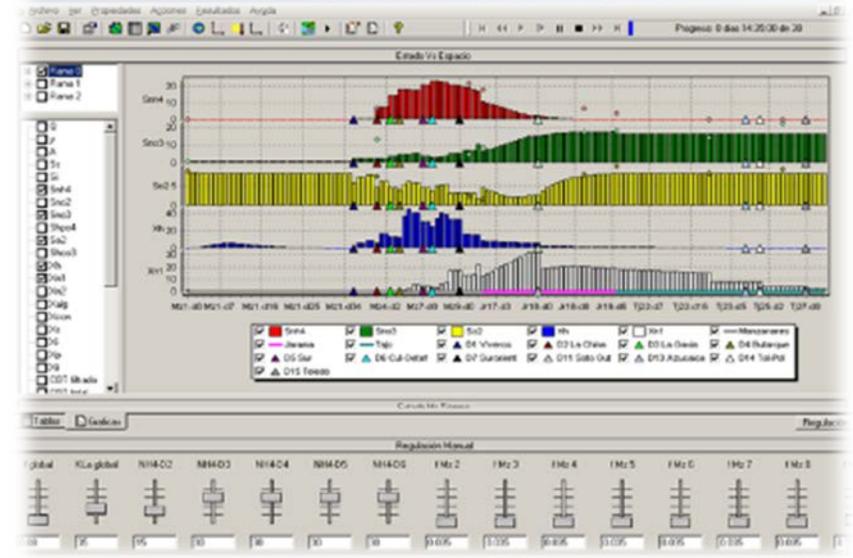
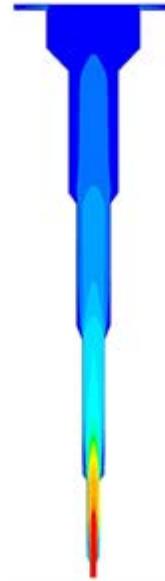
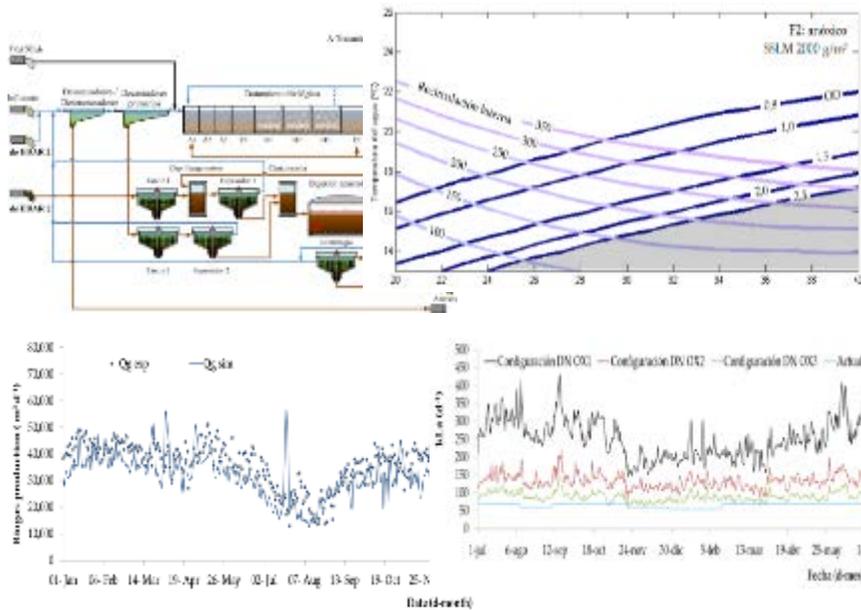


## PROTOTIPOS INDUSTRIALES



## SOFTWARE

West Mike (by DHI), Mike Urban (by DHI), ANSYS Fluent, Matlab



### WEST

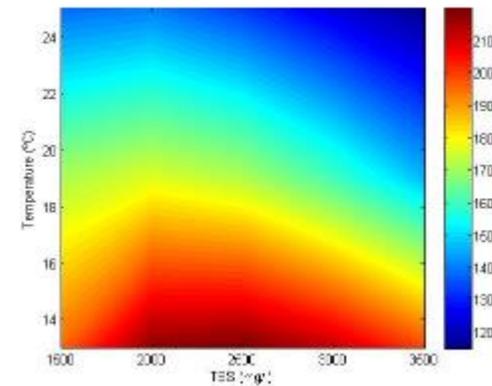


Modelling and simulation of WWTPs

### MIKE URBAN



Urban water modelling

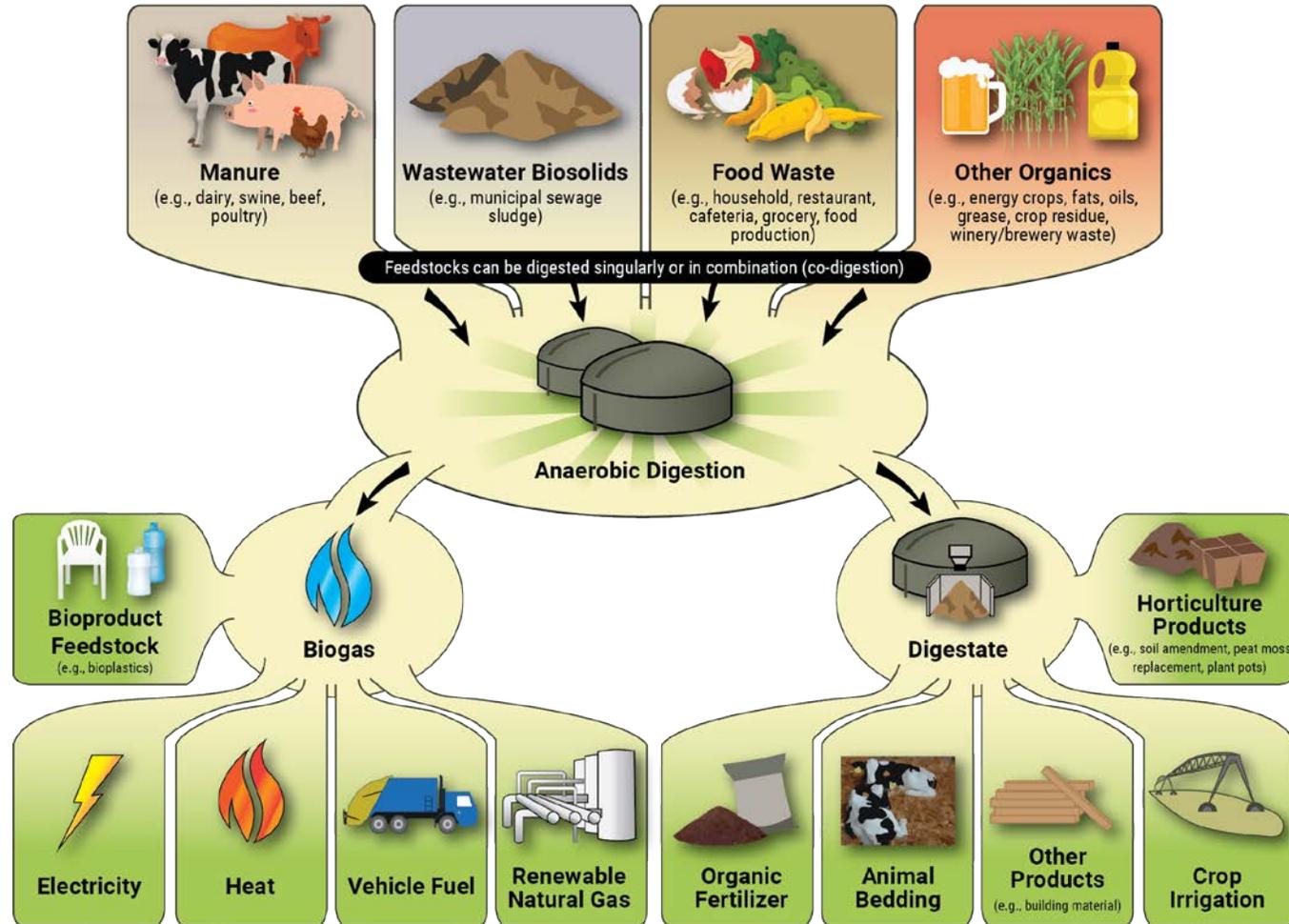


# Nuevos retos DA: Digestión seca



# Fundamentos

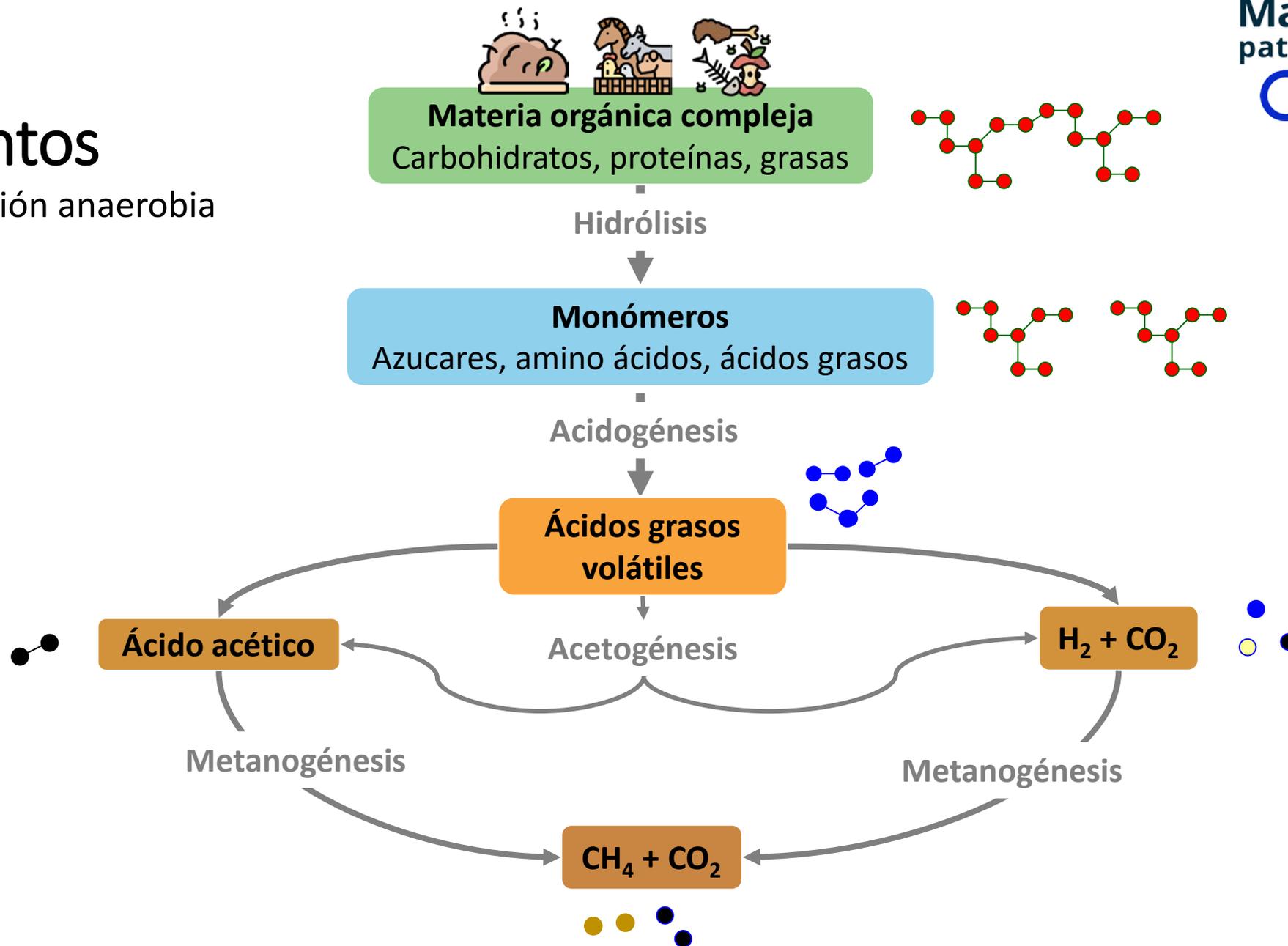
¿Para qué sirve la digestión anaerobia?



<https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work>

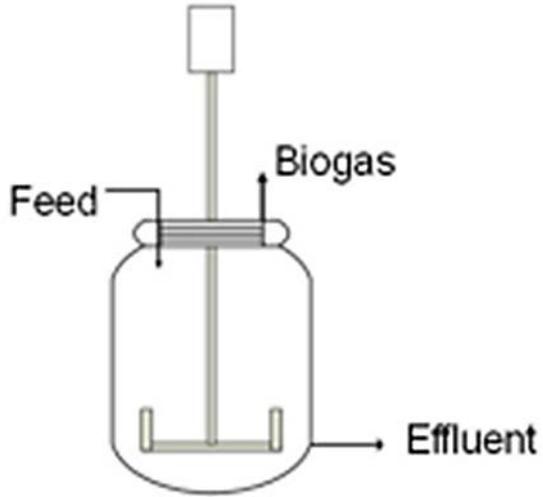
# Fundamentos

Proceso de digestión anaerobia



# Tecnologías digestión anaerobia líquida

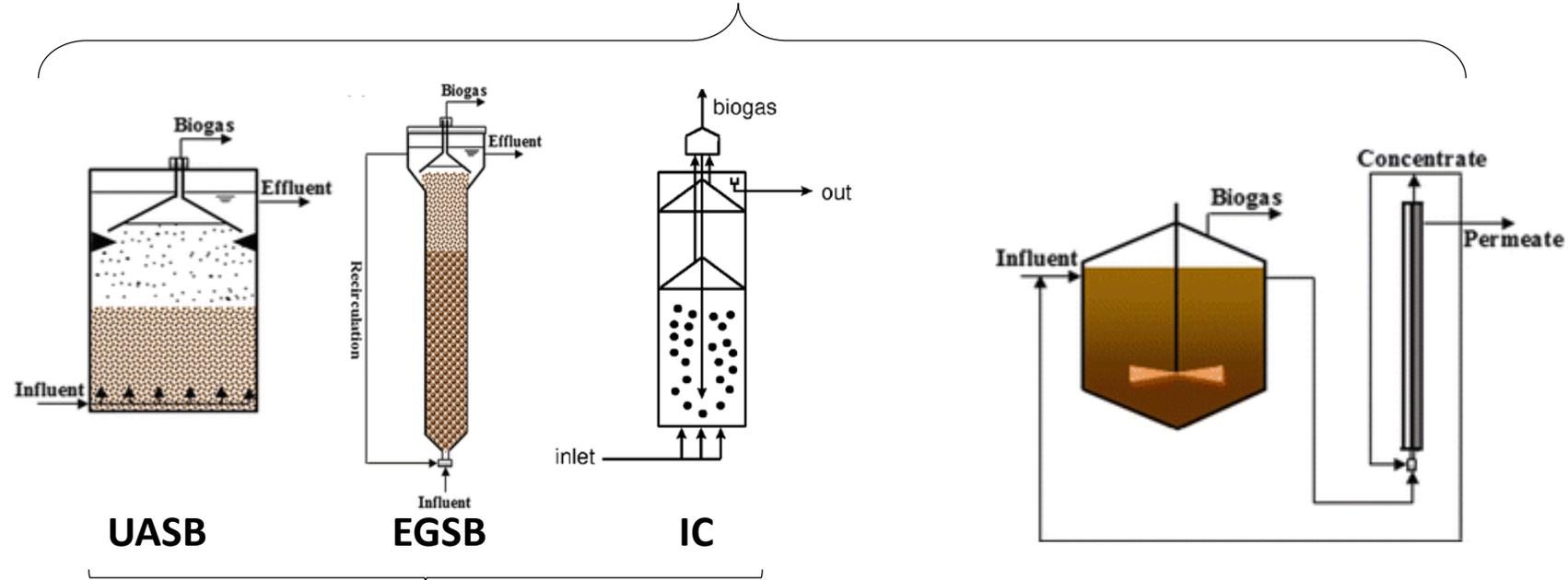
## Reactores en suspensión



## Tanque agitado (CSTR)

- 1 etapa
- 2 etapas → 2 reactores en serie

## Reactores Biomasa Retenida



## Reactores granulares

## An-MBR

HRT = 14 – 40 d

Carga orgánica  
3,5 kg COD/m<sup>3</sup>·day

Costes de inversión

HRT = 4 – 48 h

Carga orgánica  
4-35 kg COD/m<sup>3</sup>·day

HRT = 3 – 120 h

Carga orgánica  
8-16 kg COD/m<sup>3</sup>·day

Costes de inversión



## Digestión anaerobia líquida

- ✓ Contenido **sólidos (TS) < 10%**
- ✓ Dilución de los inhibidores
- ✓ Más económicos
- ✓ **Más implementados**
- ✗ Alto consumo de agua y energía Reactores de gran volumen
- ✗ Presencia de corto-circuitos
- ✗ Pretratamiento complicado
- ✗ Grandes cantidades de digestato a tratar
- ✗ Necesidad de separar el sólido del digestato para los siguientes procesos



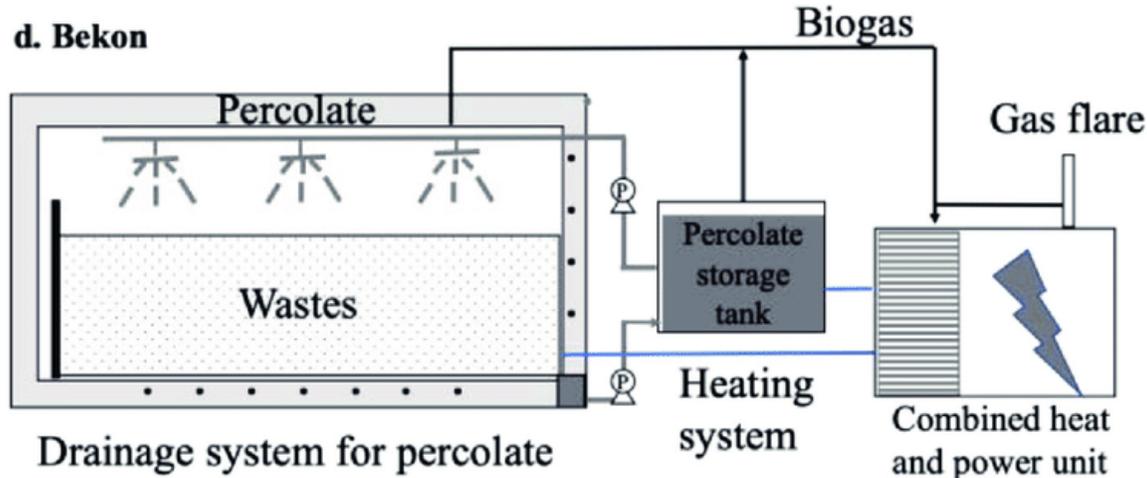
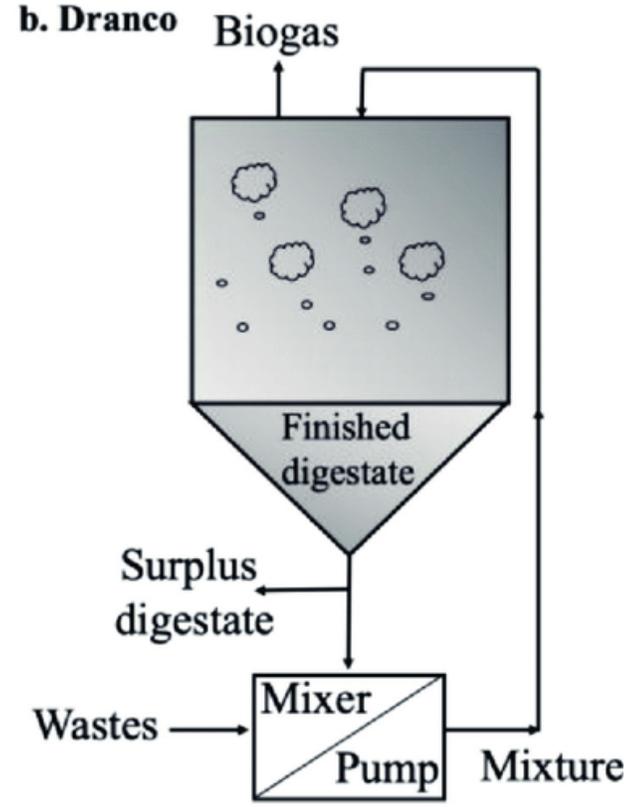
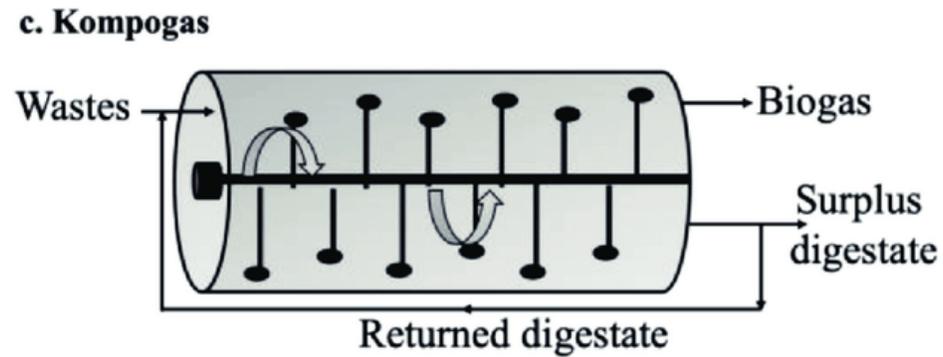
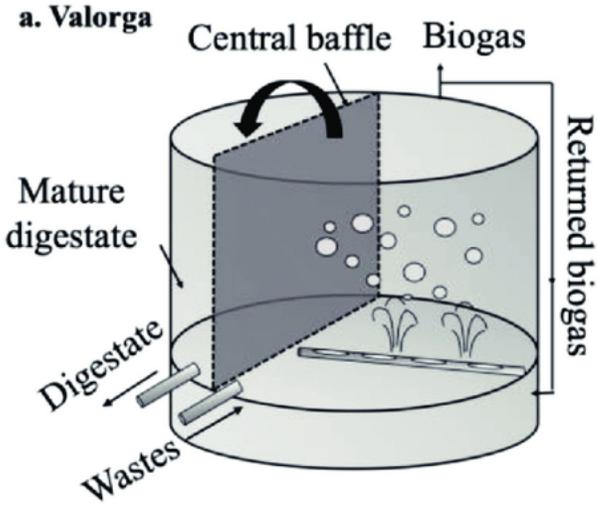
## Digestión anaerobia seca

- ✓ Contenido **sólidos (TS) > 15%**
- ✓ Se requiere de menos post-tratamiento del digestato
- ✓ Sistemas más robustos. No se requiere separar inertes y plásticos
- ✓ No hay problemas de corto-circuitos
- ✓ ORL alta
- ✓ Reactores pequeños y pretratamiento barato
- ✓ Baja utilización de agua
- ✓ **Reducción del consumo energético y costes de construcción**
- ✗ Peor transferencia de masa
- ✗ Acumulación de inhibidores (amoníaco, AGV)

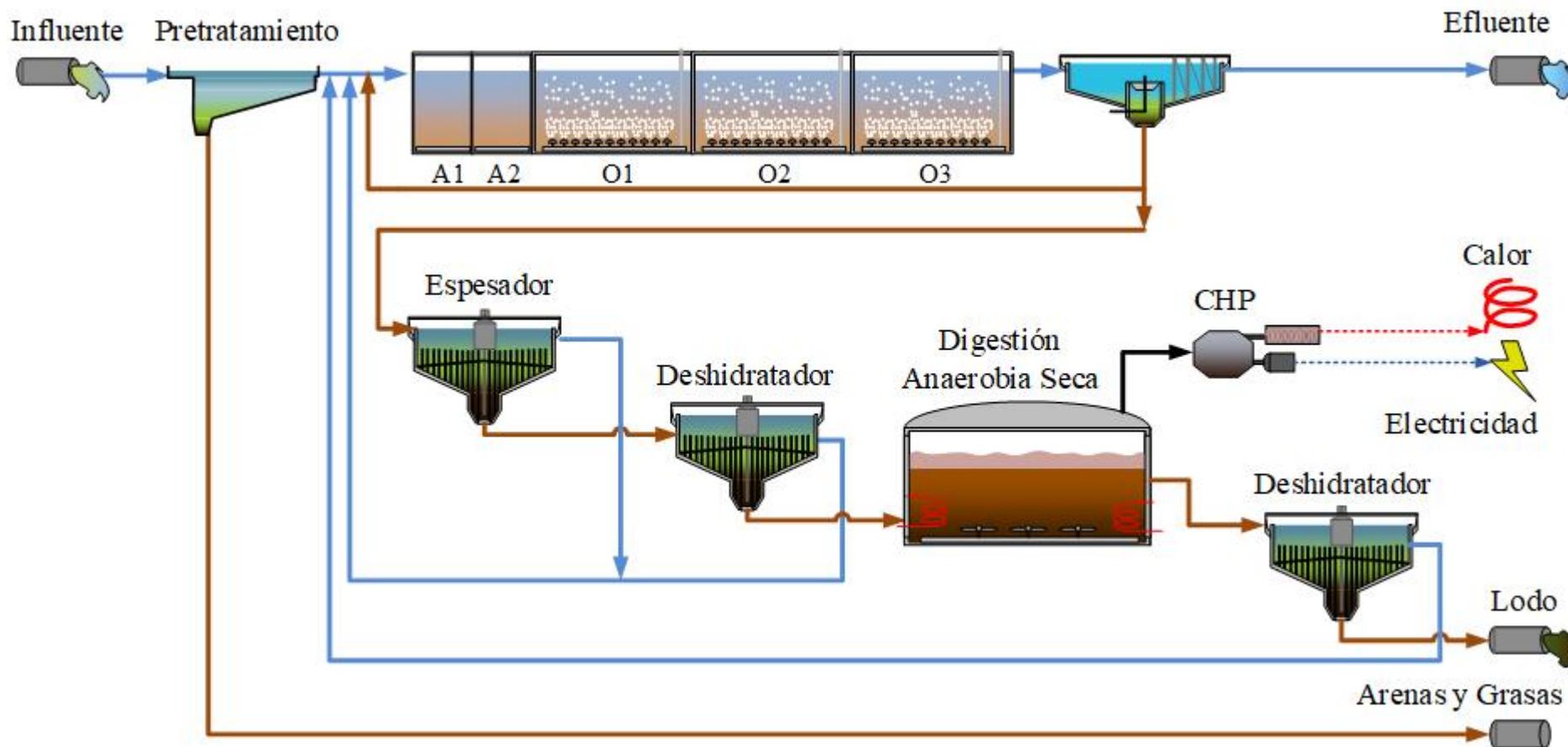


Parámetro	1-etapa vs. 2-etapas		Seca vs. líquida		Batch vs. Continuo		Reactores de biofilm
	1-etapa	2-etapas	Seca	líquida	Batch	Continuo	
<b>Producción de biogás</b>	Irregular y discontinua	Alta y estable	<b>Alta</b>	<b>Inferior e irregular</b>	Irregular y discontinua	continua	Continua y más elevada
<b>Contenido sólidos (%)</b>	10-40	2-40	<b>20-50</b>	<b>2-12</b>	25-40	2-15	<4-15
<b>Costes</b>	Bajos	Altos	<b>Bajos</b>	<b>Altos</b>	Bajos	Altos	Altos
<b>Destrucción de SV</b>	Baja-alta	Alta	<b>40-70%</b>	<b>40-75%</b>	40-70%	40-75%	75-98%
<b>HRT (d)</b>	10-60	10-15	<b>14-60</b>	<b>25-60</b>	30-60	30-60	0,5-12
<b>ORL (kg SV m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	0,7-15	10-15	<b>12-15</b>	<b>&lt;5</b>	12-15	0,7-1,4	10-15

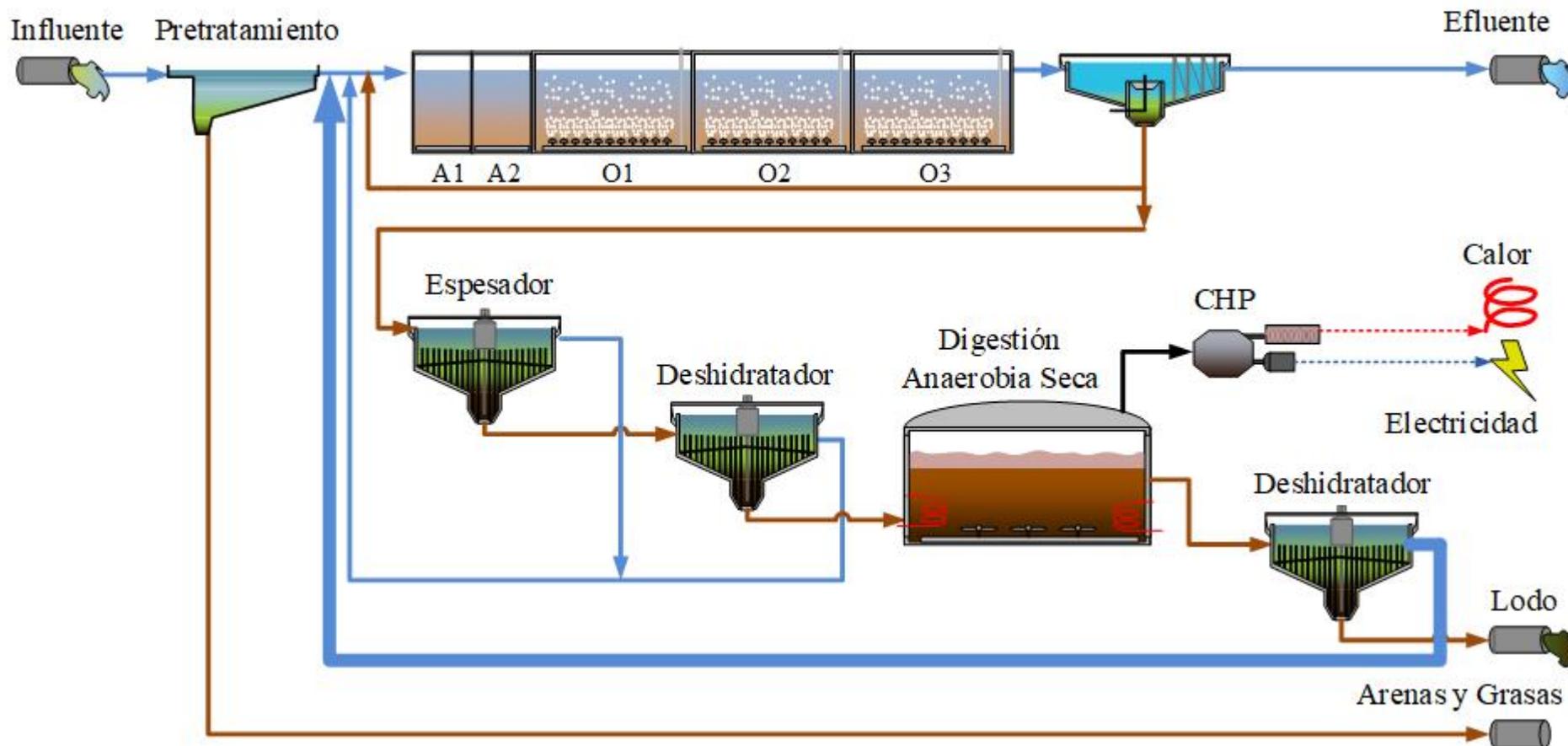
## Tecnologías DA seca



## Integración en la EDAR



## Integración en la EDAR



# Nuevos retos DA: Digestión anaerobia seca

## Caso de éxito I

**Proyecto LIFE-ANADRY**

## Digestión Anaerobia Seca como alternativa a la gestión y el tratamiento de lodos de depuradora

### Objetivos

- Demostrar la viabilidad de la digestión anaerobia seca para la gestión y el tratamiento de cantidades medias y bajas de fango de EDAR.
- Alcanzar una adecuada estabilidad e higienización del fango.
- Evaluar diferentes escenarios para la gestión del fango y transferir la tecnología.

### Metodología

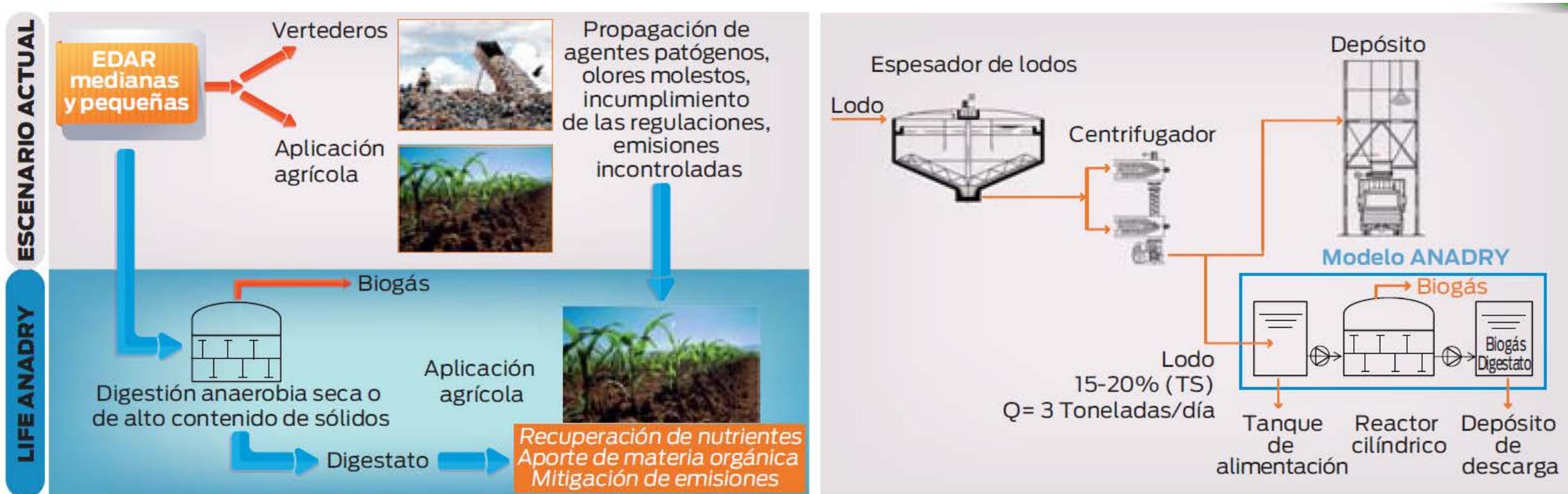
- Digestor horizontal de 20 m<sup>3</sup> y cogeneración diesel-biogás.
- Analizador de biogás en línea para metano (CH<sub>4</sub>) y sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).
- Modelado matemático en la herramienta WEST.



## Solución implementada en el proyecto

El diseño propuesto a escala preindustrial se basa en un reactor cilíndrico de 20 m<sup>3</sup> con capacidad para tratar hasta 3T/d de lodos de EDAR en semi-continuo.

El sistema funciona como una digestión anaerobia seca, con una concentración aproximada de sólidos en el lodo de entrada en torno a un 15-20 % (MS) y ha sido operado a dos condiciones de temperatura distintas: mesófila y termófila. Además, se ha estudiado la influencia del HRT sobre los rendimientos del proceso en términos de estabilización de lodos, eliminación de patógenos y producción de biogás.



# Proyecto LIFE-ANADRY



Sistema de alimentación



Digestor



Sistema de agitación



Tanque de almacenamiento efluente



Sistema de calentamiento



Sistema de control del proceso

Digestor  
TRH=40d  
pH=7,5-8,0  
T=55°C  
V agitación=5-10 rpm

INFLUENTE/ENTRADA  
Q=500 - 1300 kg/día  
%MS=14-17  
%MV=75,0  
E. Coli =  $6,9 \times 10^4$   
CFU/100m (Unidades)  
Salmonella=Presencia

Biogás  
CH<sub>4</sub>=30-40%  
CO<sub>2</sub>=60-70%  
H<sub>2</sub>S<1000ppm



EFLUENTE/SALIDA  
%MS=12  
%MV=60,0  
E. Coli=<10  
Salmonella=Ausencia

Parámetro	Unidad	Termófila (55°C)		Mesófila 35°C	
		Influente	Efluente	Influente	Efluente
Q	Kg/d	500-1200kg/d		500- 1800 kg/d	
ST	%	15	12,5	13-15	10,5
MV	%	76	60	81	69,2
pH		7,1±0,5	7,5±1,2	7,1±0,5	8,1
Salmonella spp.	presencia 25 g	(+)	(-)	(+)	(-)
E. coli	UCF/100 ml	$6,9 \times 10^4$	< 10	$5 \times 10^4$	< 100

# Proyecto LIFE-ANADRY



## Implantación del proyecto

El proyecto se llevó a cabo en la EDAR de Alguazas en Murcia (España). La EDAR de Alguazas es una depuradora urbana de tamaño medio-pequeño, que carece de digestión anaerobia, y trata un caudal aproximado de 3,500 m<sup>3</sup>/d de aguas residuales, dando servicio a una población de aproximadamente, 60,000 habitantes. Actualmente produce aproximadamente 10 T/día de fango deshidratado.



# Nuevos retos DA: Digestión anaerobia seca

## Caso de éxito II



# Planteamiento técnico CircRural

## Consortio

Aguas del Tajo Atlántico

Reseau31

Promedio

CTAEX

ITG

Ceit

Universidad de Toulouse

Universidad Nova Lisboa

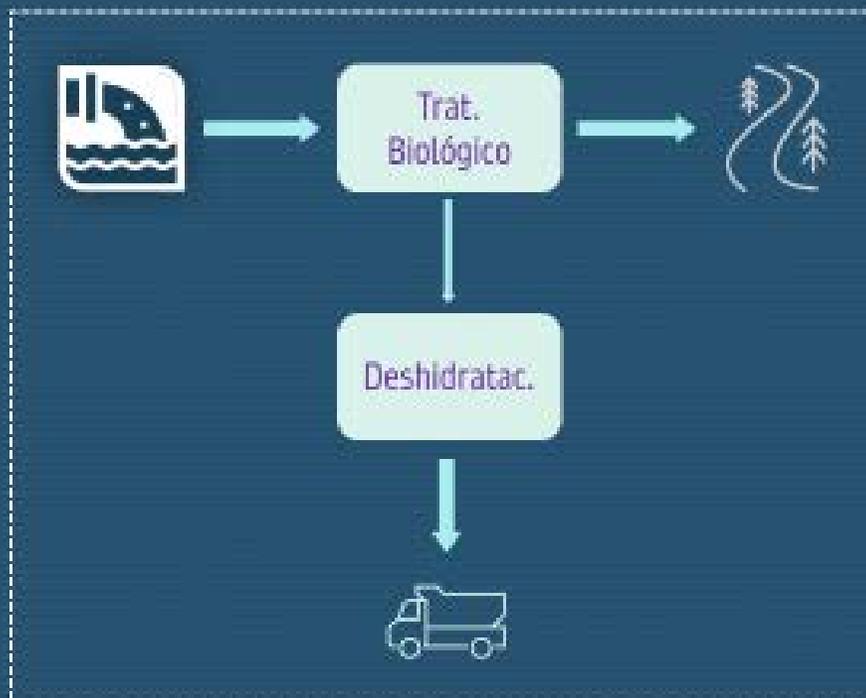
Agencia EFE

3 casos de uso

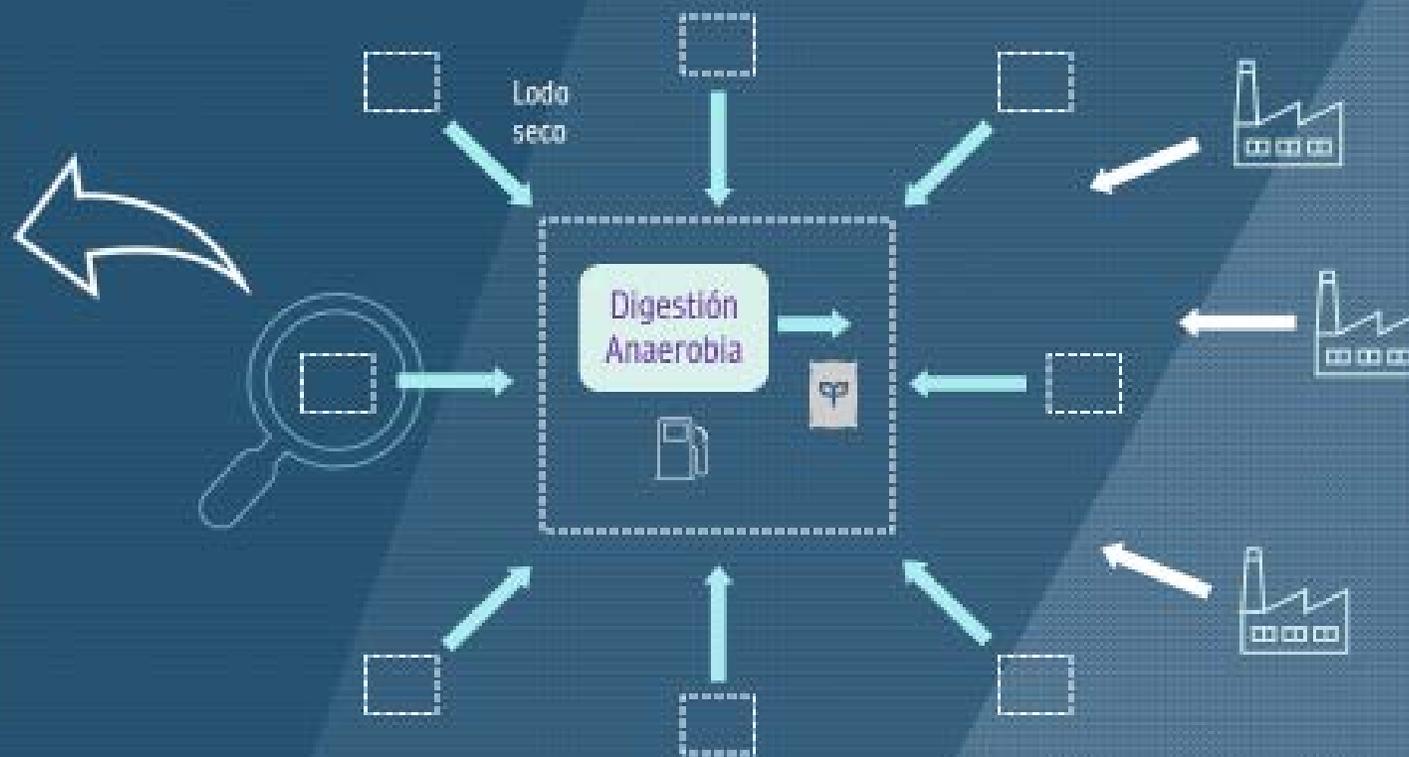


Hacia una concepción circular e inteligente de la gestión del agua residual en el ámbito rural

# Planteamiento técnico CircRural



Optimización costes operación



Tratamiento centralizado de lodos

Hacia una concepción circular e inteligente de la gestión del agua residual en el ámbito rural

## 4 Soluciones tecnológicas propuestas

Optimización costes operación

- 1 **Control** Automático
- 2 **Análisis** avanzado de **Datos**

Tratamiento centralizado de lodos

Aprovecham. de residuos agroaliment.

- 3 Digestión Anaerobia **Seca**
- 4 Software de **Optimización**

## 3 Digestión Anaerobia seca

- Digestor piloto 1 m<sup>3</sup>+ Unidades de precipitación de P y N
- **Codigestión:** mezcla de lodos con residuos agroalimentarios de Badajoz
- **200 m<sup>3</sup> de biogás** por cada tonelada de materia volátil alimentada
- **2 kg de P** y **3 kg de N** recuperados por cada m<sup>3</sup> de digestato escurrido



# Nuevos retos DA: Digestión anaerobia seca

## Caso de éxito III

**THERMOGAS**

- TRATAMIENTO DE FANGOS MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA TERMÓFILA: ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DESDE LA MICROBIOLOGÍA, LA INGENIERÍA Y LA SIMULACIÓN



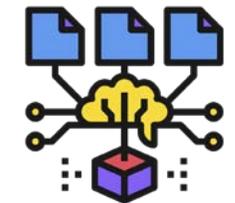
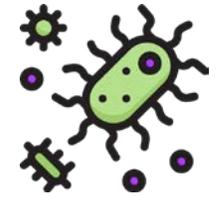
Figura 1: Plantas piloto de digestión anaerobia de fangos líquidos



Figura 2: Planta piloto de digestión anaerobia seca

## OBJETIVOS

1. Diseñar estrategias de operación de la **digestión anaerobia termófila**, que permitan optimizar la producción de biogás y el consumo energético de los digestores, manteniendo un grado de estabilización e higienización adecuado para su valorización agrícola. Determinar las variables y parámetros de operación óptimos.
2. Evaluar el papel y la importancia de las **comunidades microbianas** que sustentan el proceso de digestión anaeróbica y establecer el nexo entre las condiciones de operación, la comunidad microbiana, el rendimiento y la estabilidad del proceso.
3. Desarrollar y validar experimentalmente un **nuevo modelo matemático** de los digestores anaerobios de fangos capaz de describir adecuadamente su funcionamiento para condiciones variables de temperatura y sequedad.
4. Construir un prototipo de **herramienta de ayuda a la decisión** para la operación óptima de los digestores DAT. Primer paso para la digitalización del proceso mediante un gemelo digital.
5. Comparar la tecnología de la **DAT líquida con la DAT seca**, haciendo énfasis en la calidad del digerido, el biogás producido, la estabilidad del proceso y la complejidad de operación.



# Nuevos retos DA: Biometano



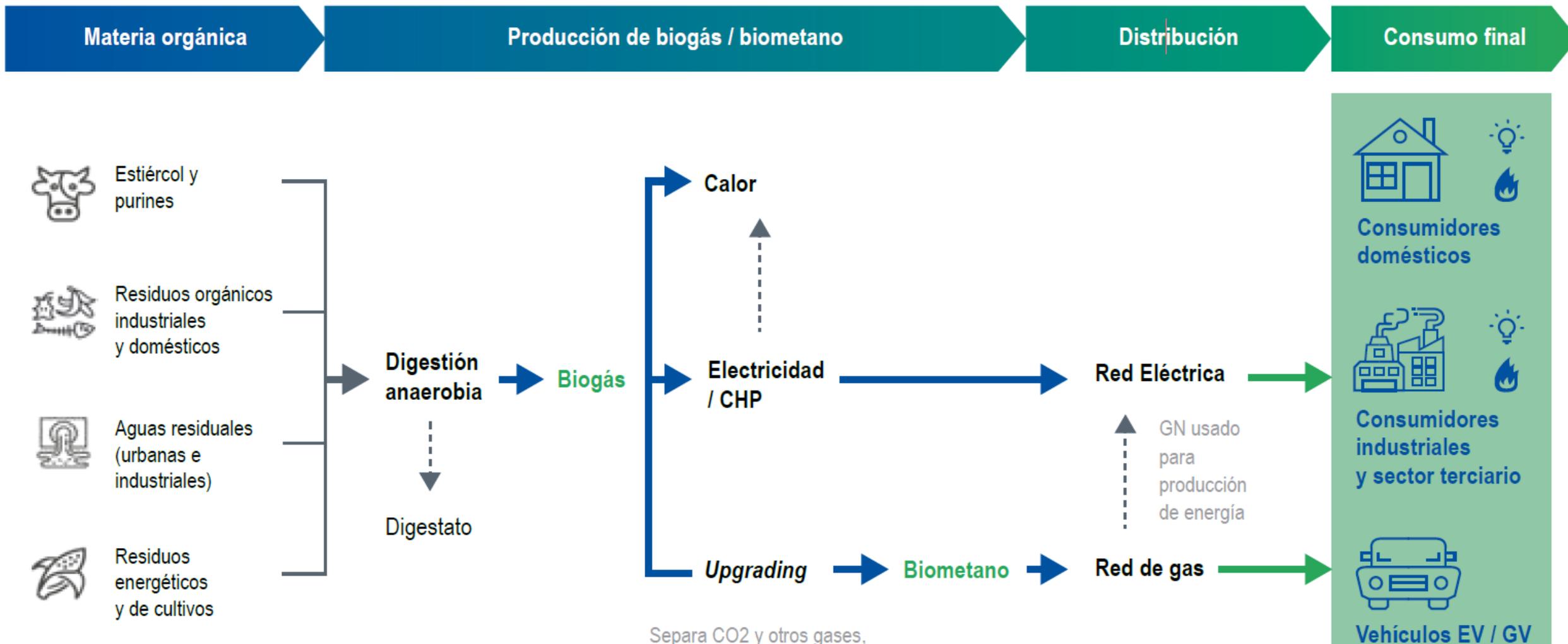
## ¿Biometano?

La producción de biometano a partir del biogás permite avanzar hacia una economía circular y sostenible con el medio ambiente:

- Generación de energía renovable.
- Descarbonización, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Valoración rentable de los residuos.
- Energía verde que puede almacenarse y distribuirse fácilmente.
- Fomenta la movilidad sostenible.
- Fomenta el desarrollo industrial en zonas rurales.
- Recuperación de CO<sub>2</sub> para su reutilización en aplicaciones industriales.

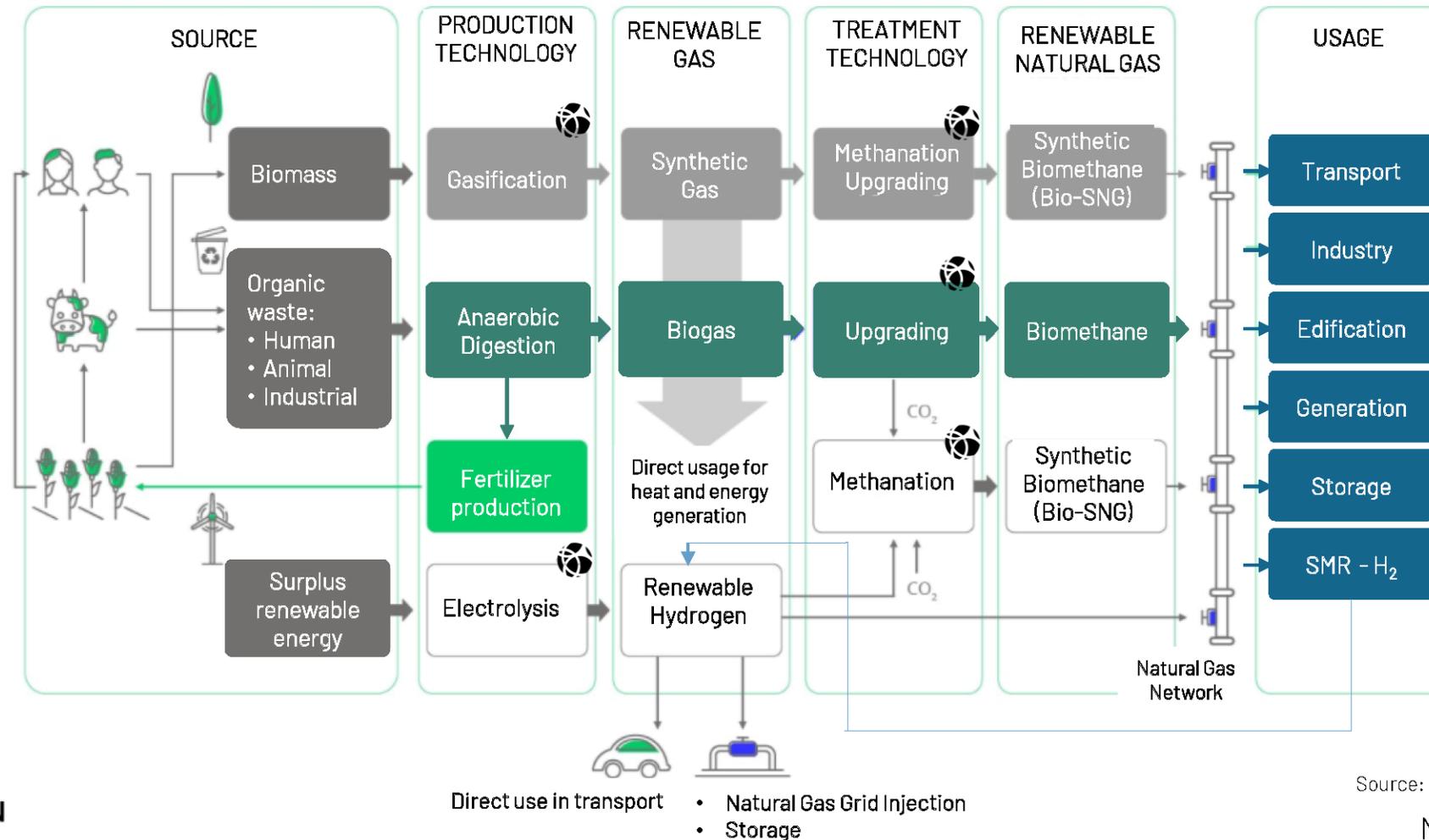


## Producción de biometano

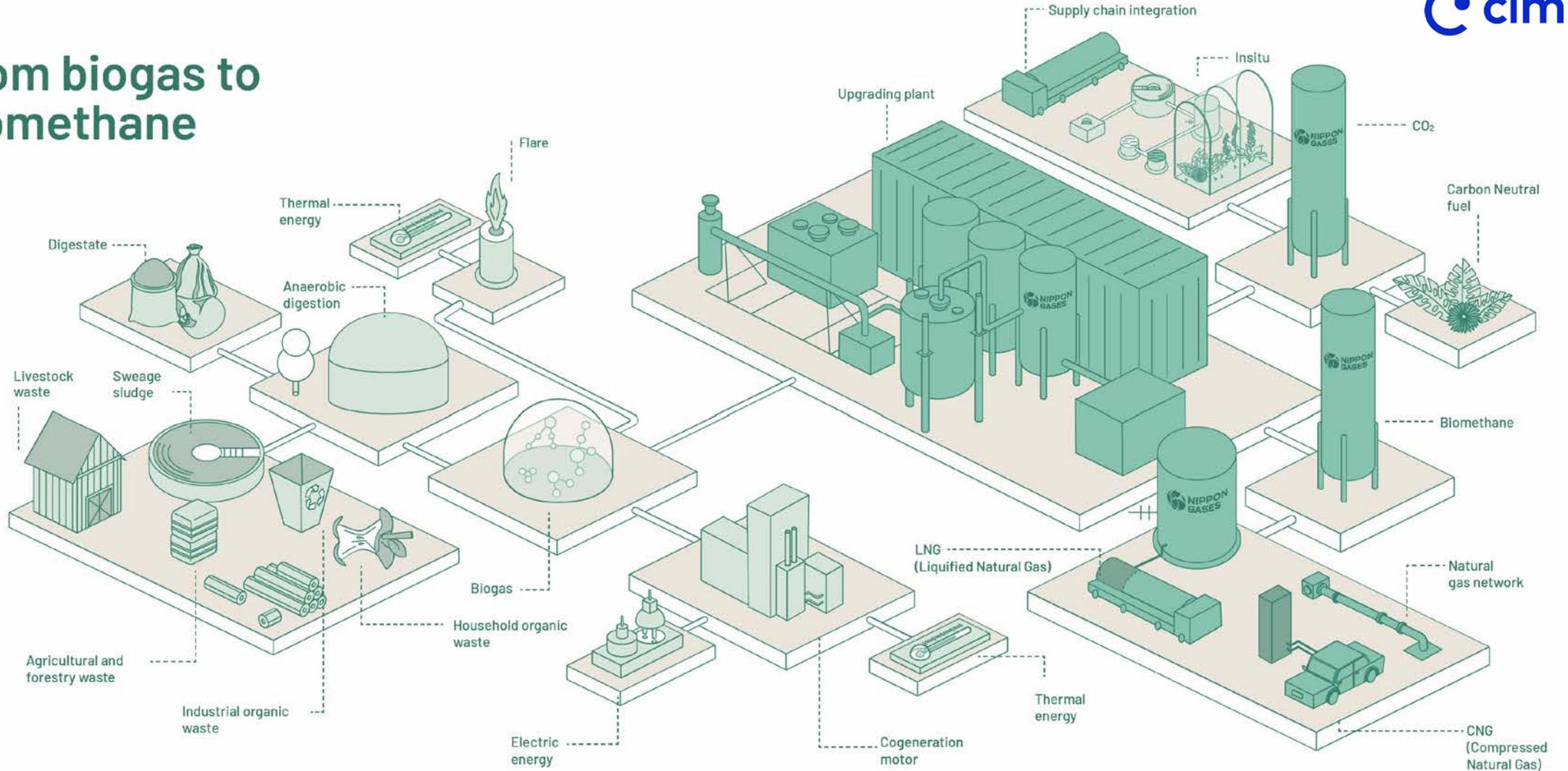


Separa CO2 y otros gases,  
refinado del biogás a GN  
de calidad (95% metano)

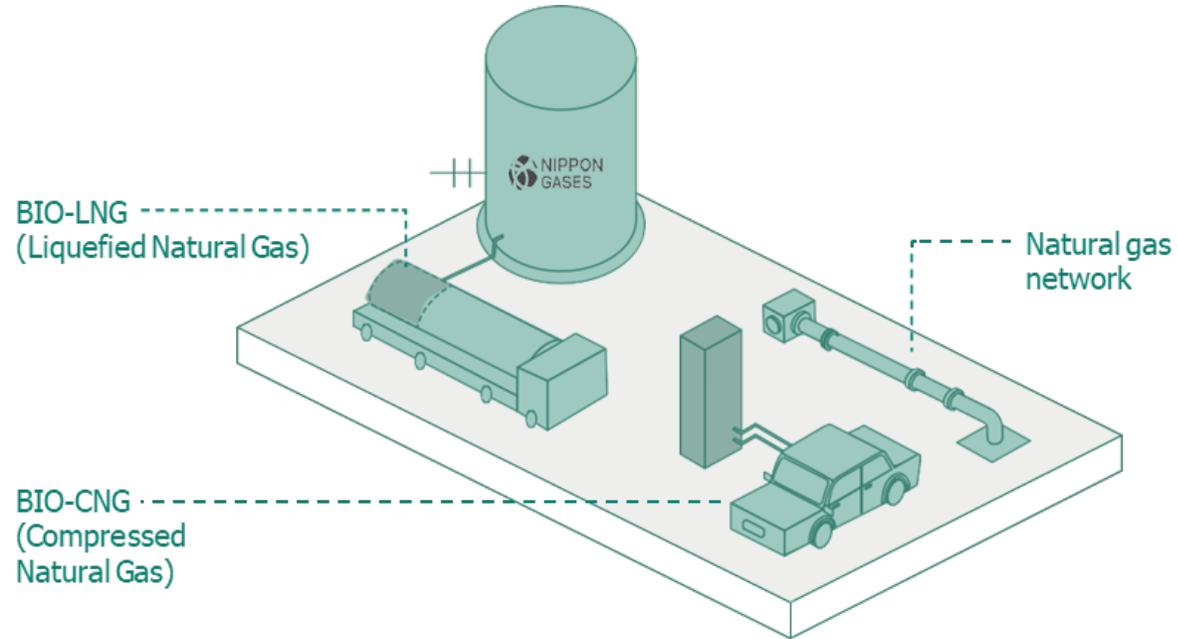
# Synthetic and Renewable Natural Gas Production



## From biogas to biomethane



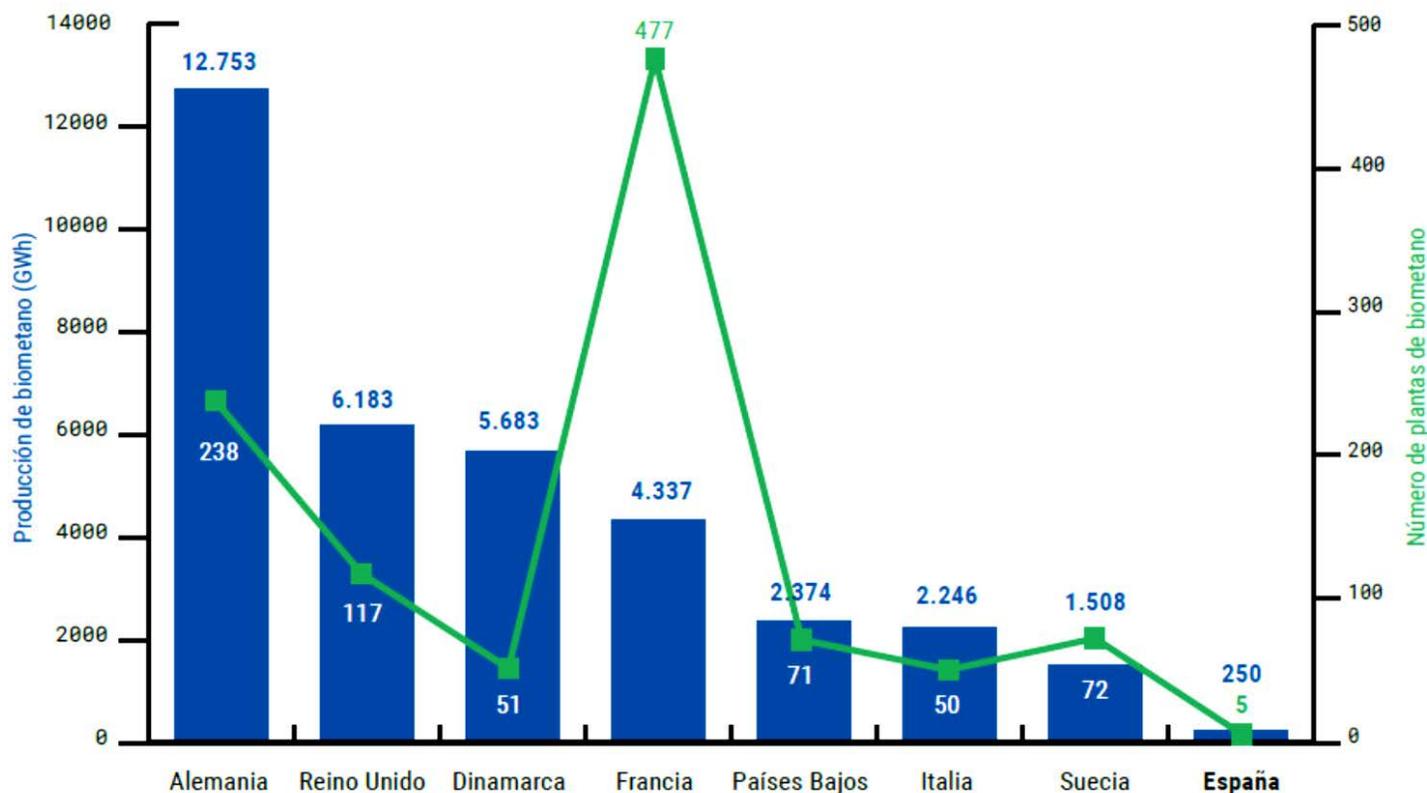
## Biomethane valuation



## Producción de biometano

### Producción de biometano y número de plantas por país en 2021

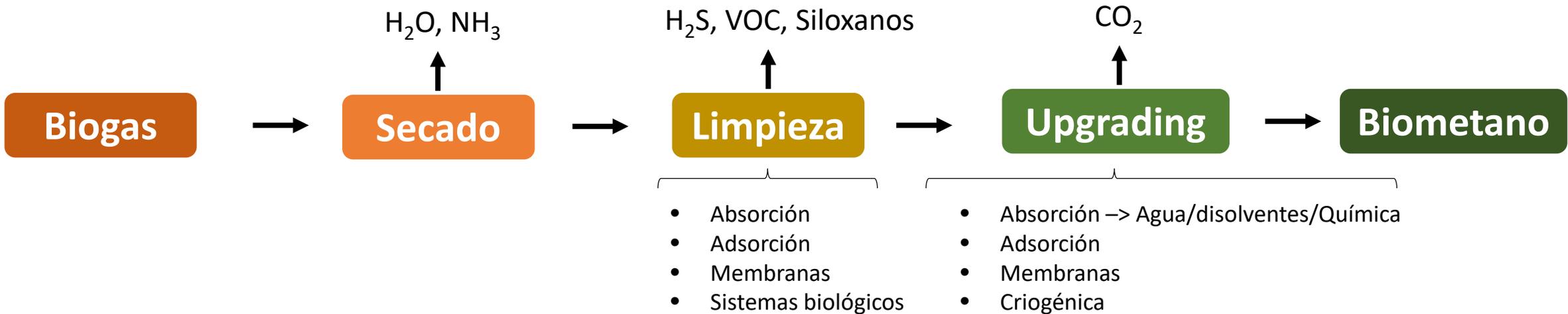
Fuente: European Biogas Association (EBA)



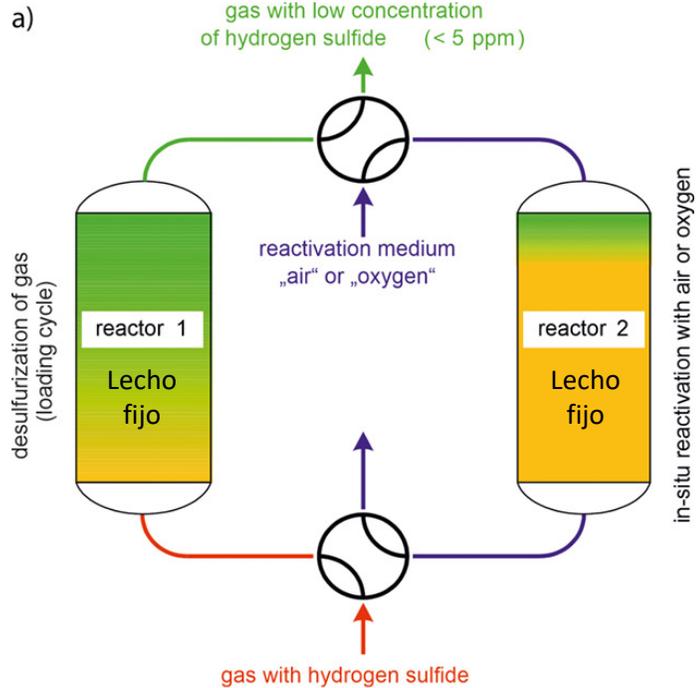
En España se aprobó en marzo de 2022 la Hoja de Ruta del Biogás, que fija como objetivo:

- Producción de biogás de **10,4 TWh anuales** a partir de 2030
- 1% del consumo de gas sea biometano → Poco ambicioso con respecto a otros países

## Proceso conversión Biogás → Biometano

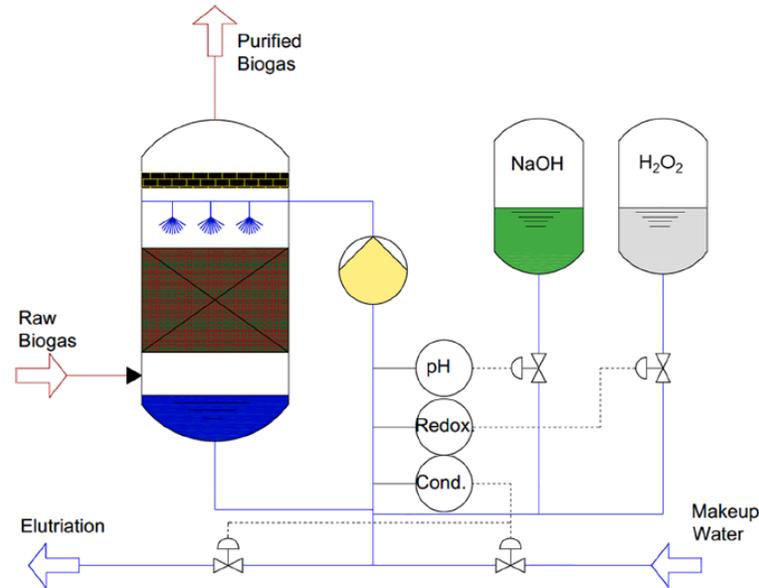


## Limpieza del biogás



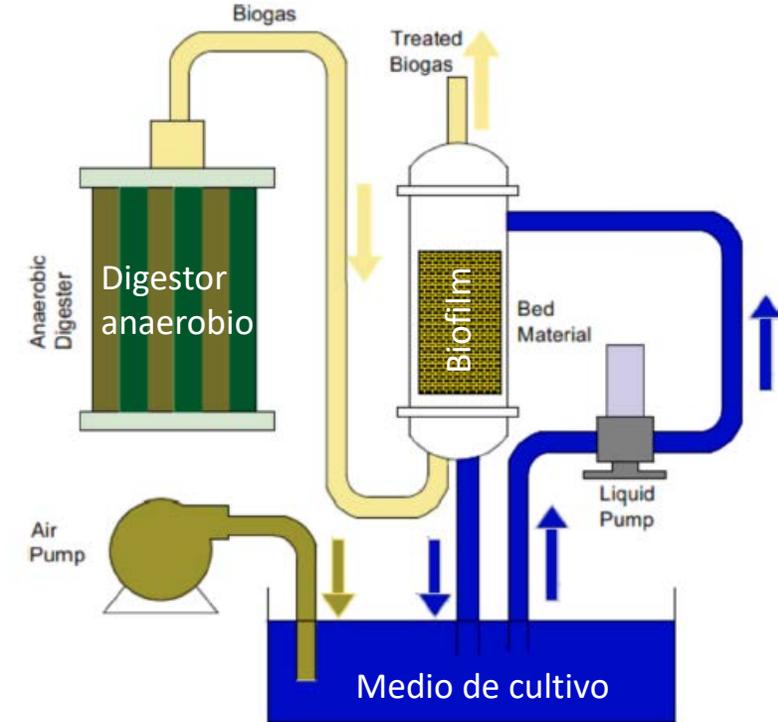
### Adsorción

Óxidos de hierro, carbón activo, Zeolitas, gel de sílice



### Absorción

Agua, DMPEF, metanol, DEA, carbonato de propileno, NaOH, FeCl<sub>2</sub>



### Biotrickling filters

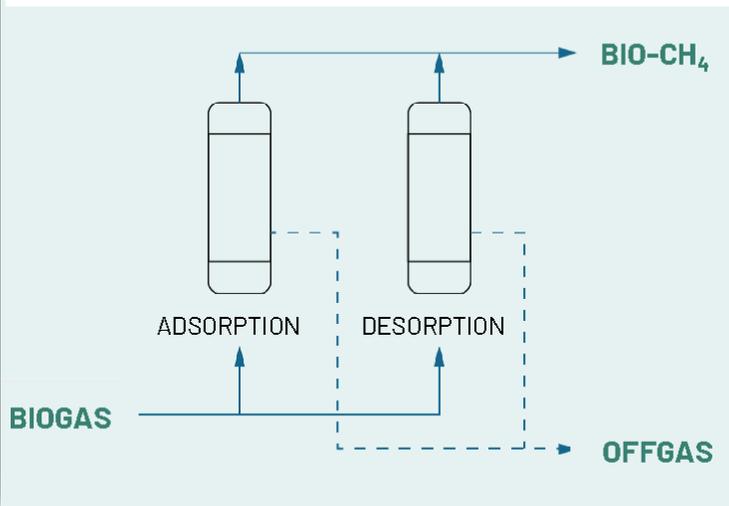
Bacterias oxidantes del azufre  
Bacterias Desnitrificantes

# Nuevos retos DA: Biometano

## Upgrading

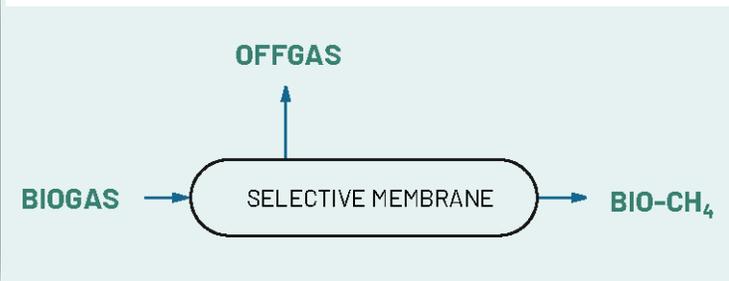
### VPSA

#### Vacuum Pressure Swing Adsorption



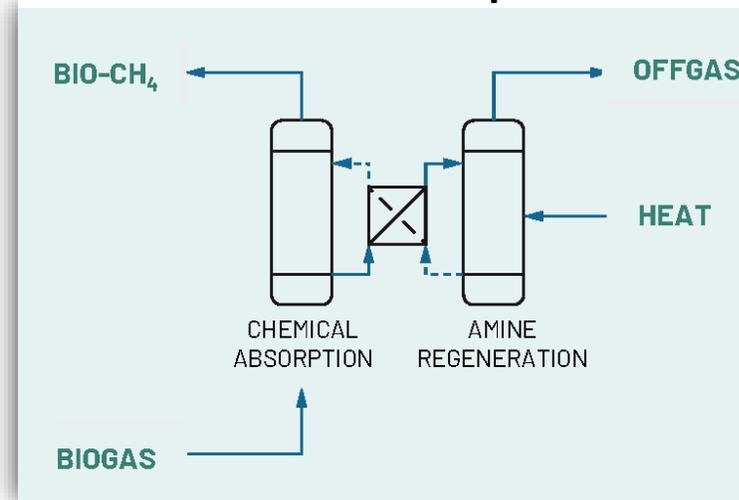
El biometano se puede separar del CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> con materiales absorbentes y variaciones de presión

### Membranes



El biometano se obtiene pasando el gas presurizado a través de membranas selectivas, separando el CO<sub>2</sub>

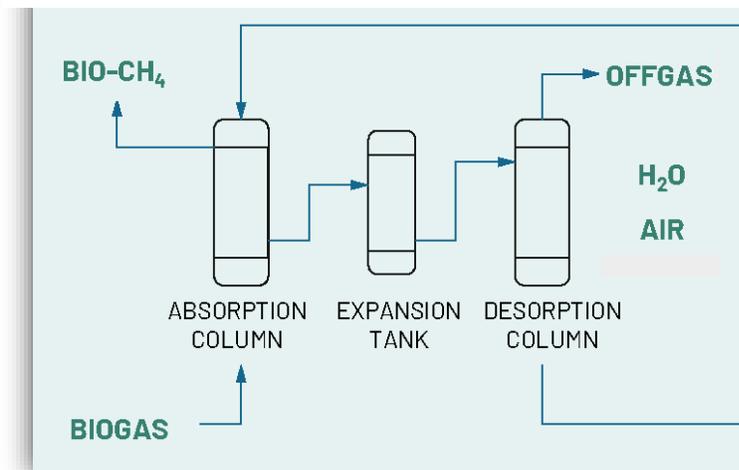
### Chemical Absorption



Algunos compuestos químicos como las aminas o las sales alcalinas, absorben CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y VOCs, produciendo biometano

### PWS

#### Pressure Water Scrubbing



El metano y el CO<sub>2</sub> son separados gracias a la diferencia de solubilidad en agua de los dos compuestos

## Upgrading

Advantages and disadvantages of technologies for biogas upgrading.

Method	Advantages	Disadvantages	CH <sub>4</sub> loss (%)	CH <sub>4</sub> Purity (%)
Water scrubbing	Most common technology, ideal for cold regions, high CH <sub>4</sub> purity and low CH <sub>4</sub> loss	The need for elevated pressures (6–20 bar) and a cooling unit before the absorption column (<20 °C), foam formation, accumulation of elemental sulphur, environmental issues such as global warming, acidification, and human toxicity	1–2	>97
Organic solvent scrubbing	Higher affinity towards CO <sub>2</sub> , reduction in plant size and lower capital and operating costs, simultaneous removal of CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S and water, low desorption temperature of 40 °C	For high H <sub>2</sub> S concentration, only steam or inert gas (not air) should be used for regeneration. It is recommended that H <sub>2</sub> S be removed prior to organic solvent scrubbing	2	96–98
Chemical scrubbing	Low pressure in the absorption column and consequently lower capital costs, highest CH <sub>4</sub> purity and lowest loss	Foaming, high energy consumption for absorbent regeneration, poisoning by H <sub>2</sub> S	0.1–1.2	>99
Adsorption	Low operating costs, environmentally friendly solution	Low CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> selectivity and chemical stability of current adsorbents, the need for high vacuum or high temperature for adsorbent regeneration, VSA and TSA technologies can be used, low recovery, H <sub>2</sub> S and water need to be removed before the decarbonisation step	>3	<98
Membrane	Commercial application, high mechanical stability, and flexible shapes for polymeric membranes, low energy consumption for gas-liquid membranes	Physical aging, plasticization, high pressure requirement (20–36 bar) for pressure driven dense (gas-gas) membrane, pre-treatment necessary to remove water, H <sub>2</sub> S, VOCs, NH <sub>3</sub> and sil oxanes to avoid rapid deterioration and clogging of the membrane	7–10	<96
Cryogenic	Simultaneous removal of all impurities	Highest energy consumption		97

# Nuevos retos DA: Biometano

## Caso de éxito

## Tratamiento de fangos zona sur Navarra: Tudela

### PLANTA CENTRALIZADA DE FANGOS FASE I Y II:

- Recepción fangos líquidos
- Recepción fangos deshidratados
- Tratamiento Anaerobio Termófilo
- Deshidratación de fangos
- Almacenamiento biogás
- Generación de energía renovable
- Recuperación de nutrientes



### PLANTA GESTIÓN FANGOS AGRICULTURA FASE III

- Recepción fangos deshidratados tratados
- Secado Solar
- Almacenamiento fangos seco
- Aplicación en agricultura, gestión propia



## Planta centralizada de fangos

	ACTUAL	FUTURO
Volumen (tmh/d)	252	465,6
Concentración (%)	6,83%	6,97%
Producción biogás (Nm <sup>3</sup> /año)	<b>1.762.139</b>	<b>3.314.468</b>
Producción biometano (Nm <sup>3</sup> /año)	<b>1.321.604</b>	<b>2.485.851</b>

### BALANCE ENERGÉTICO. SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN

- Consumo energético: **12 GWh/año**
- Consumo energético EDAR Tudela: **1,9 GWh/año**
- Alt 1:Producción energética (biometano): **9,9 GWh/año**
- Alt 2:Producción cogeneración:
  - Producción eléctrica: **3,2 GWh/año**
  - Producción calorífica: **1,9 GWh/año**
- Futura producción fotovoltaica: **1,8 GWh/año**

**Gracias por vuestra  
atención.**

---



# II Ciclo de 20 MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO