

Biorrefinerías de gases en el contexto de bioeconomía: Potencial para la obtención de bioproductos y limitaciones

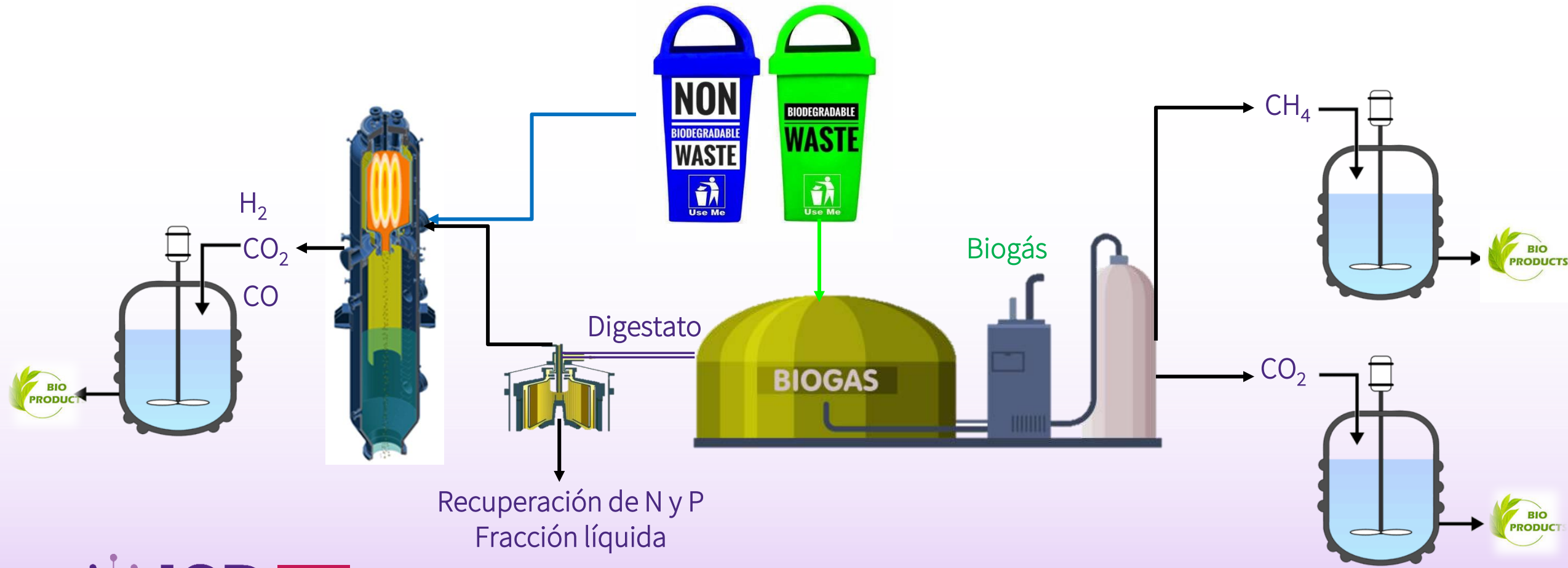
Raúl Muñoz (raul.munoz.torre@uva.es)

¹ Institute of Sustainable Processes, University of Valladolid, Dr. Mergelina, s/n, 47011, Valladolid, Spain.



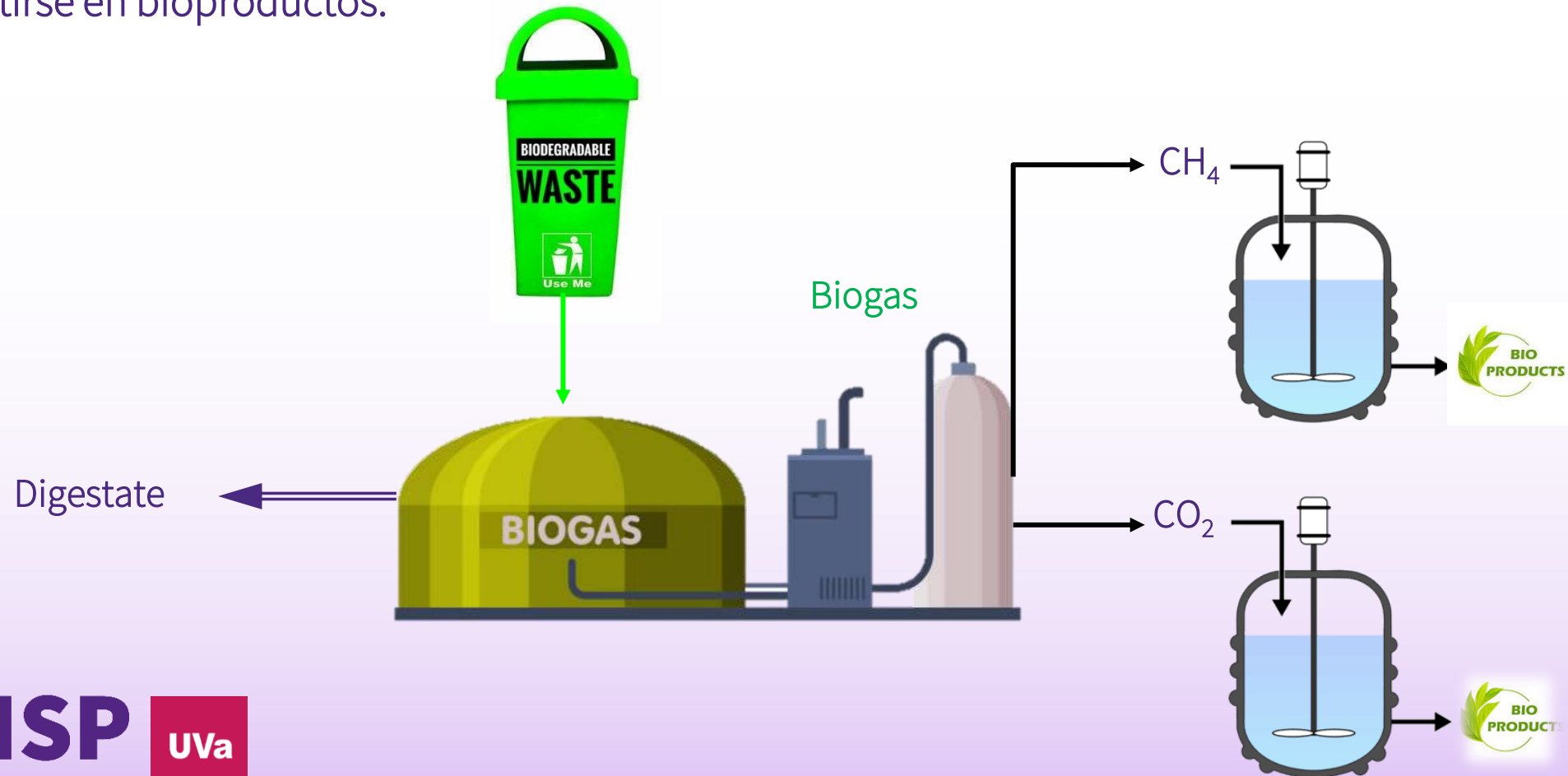
Biorrefinerías de gases

La combinación de digestión anaerobia y gasificación permite una valorización integral del carbono presente en los residuos biodegradables y no biodegradables

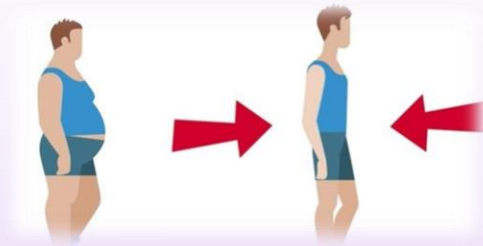
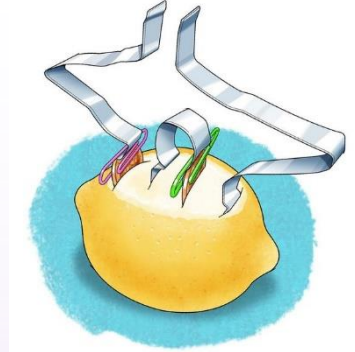
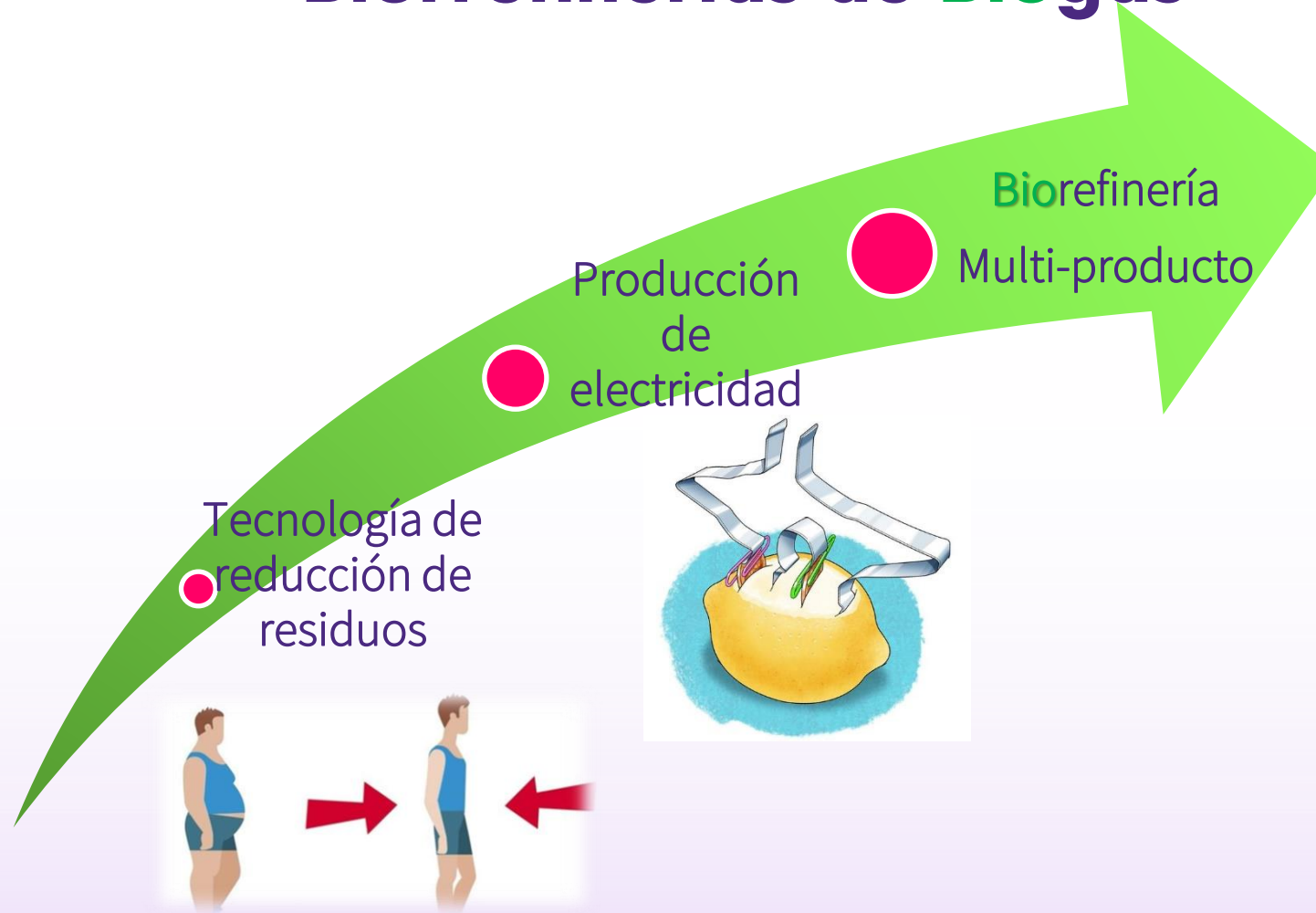


Biorrefinerías de gases

La digestión anaerobia puede convertir los residuos biodegradables en Biogás ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) y digestato (carbono recalcitrante y un efluente líquido rico en nutrientes). El CO_2 y CH_4 del biogás pueden convertirse en bioproductos.

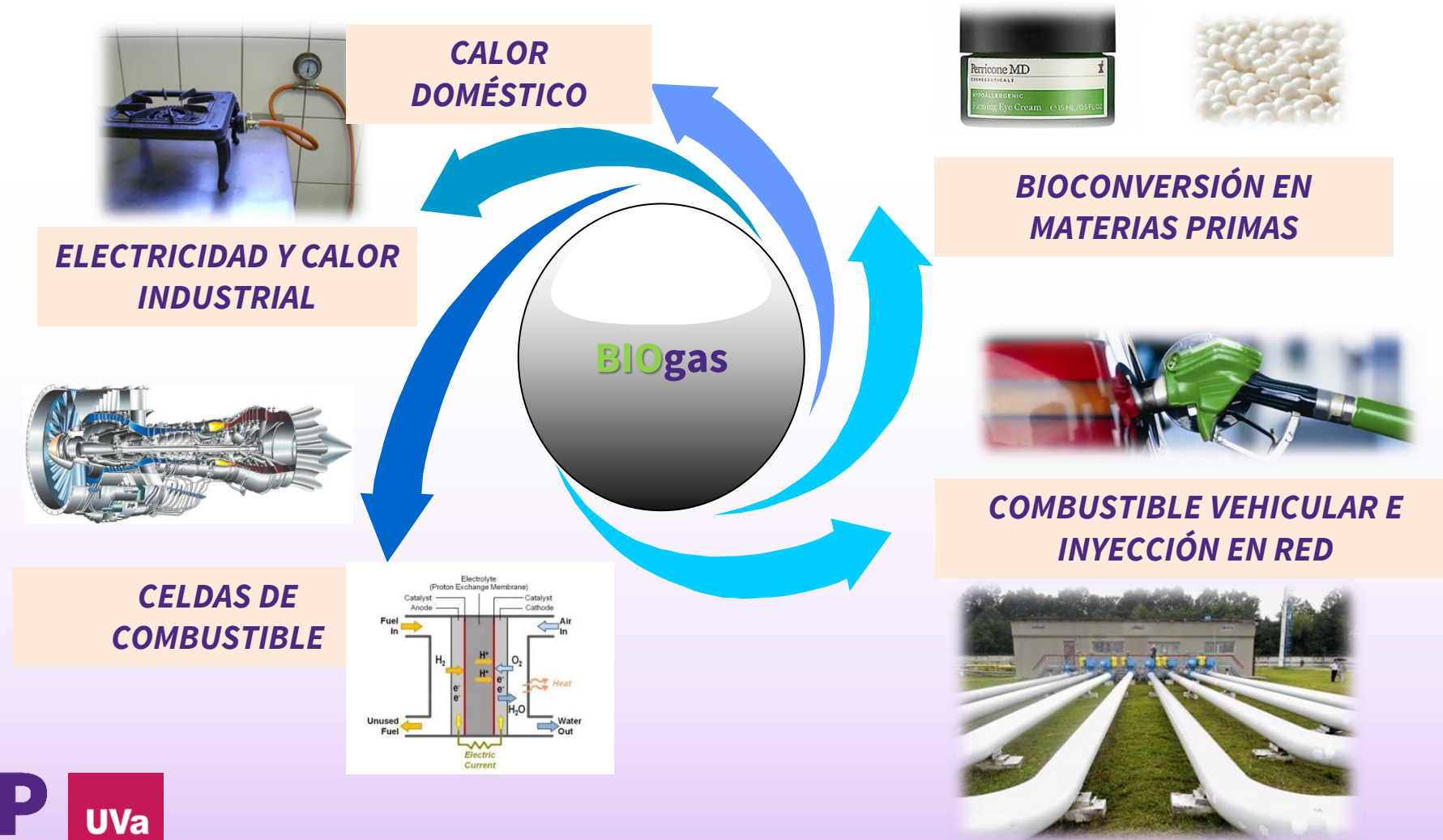


Biorrefinerías de Biogás



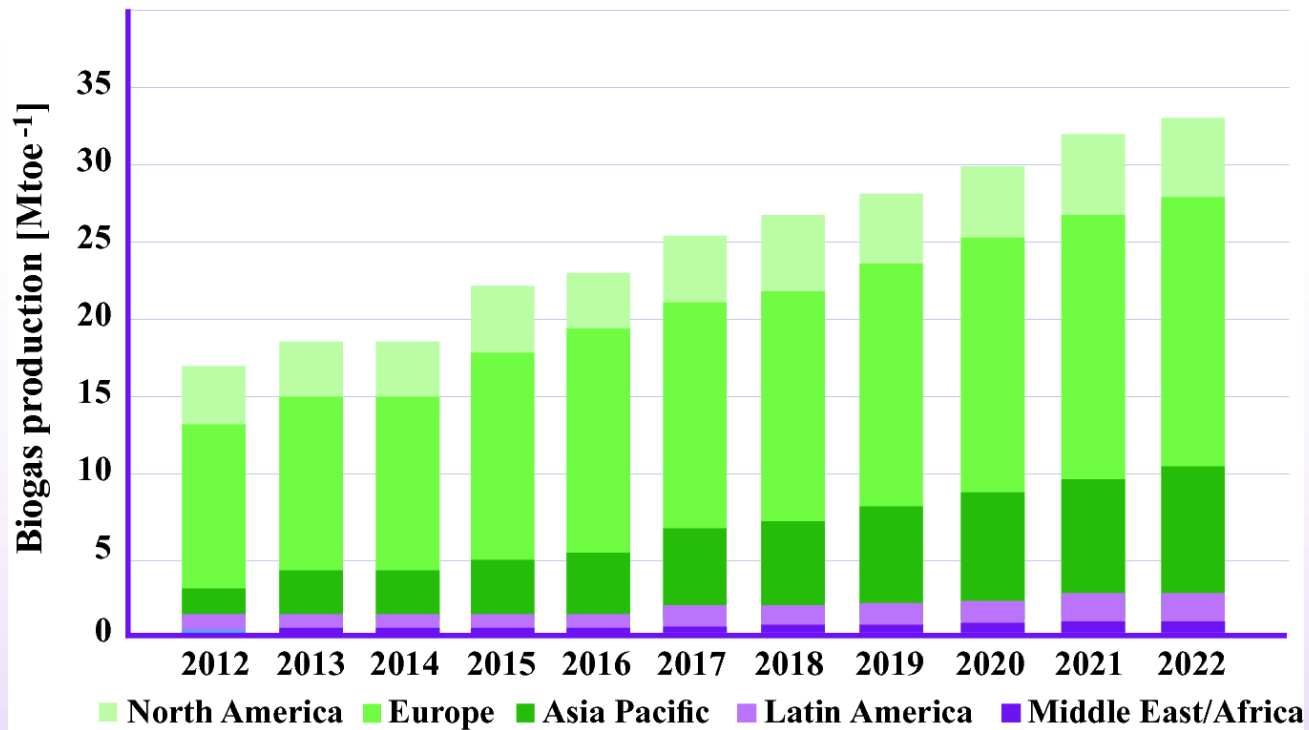
Biorrefinerías de Biogás

Biogás es el subproducto de la digestión anaerobia con mayor potencial de valorización.

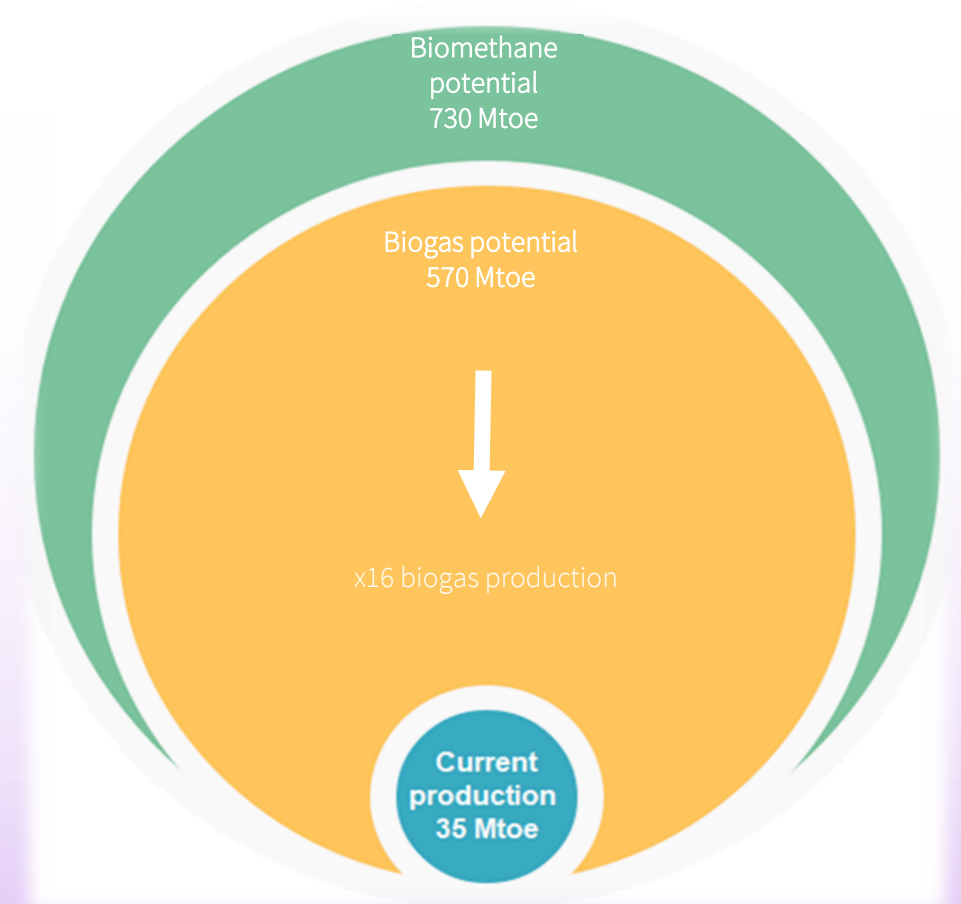


Biorrefinerías de Biogás

Aumento gradual de la producción de Biogás en el mundo

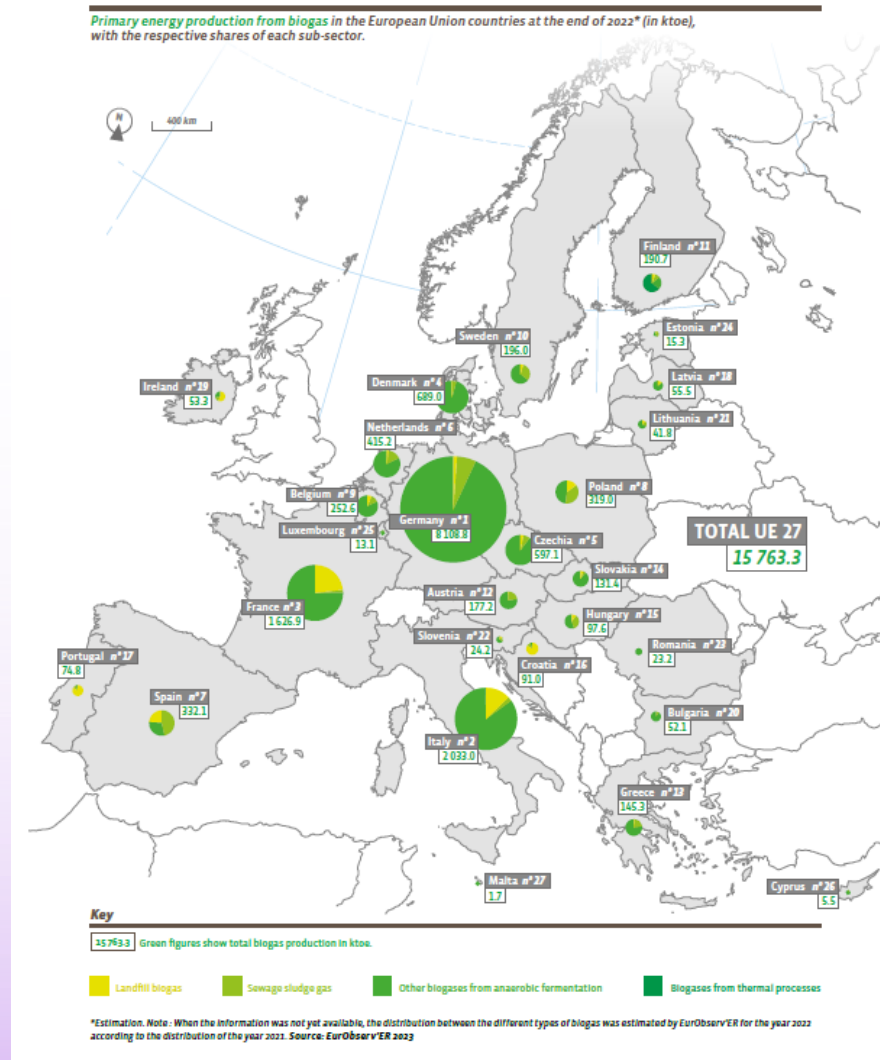


Alto potencial de producción de biogás y biometano en el mundo



Biorrefinerías de Biogás

Potencial de producción de Biogás en la UE27 es enorme: 115 Mtoe/año

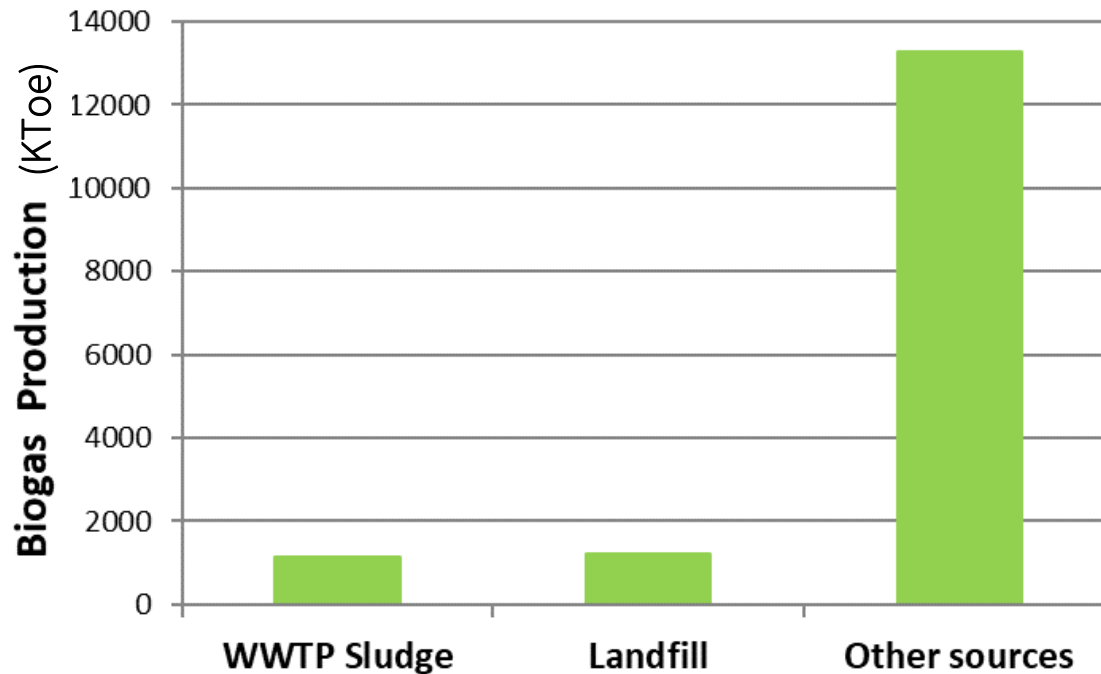


2021

15,7 Millones de Toe

Biorrefinerías de Biogás

Producción de Biogás en la Unión Europea

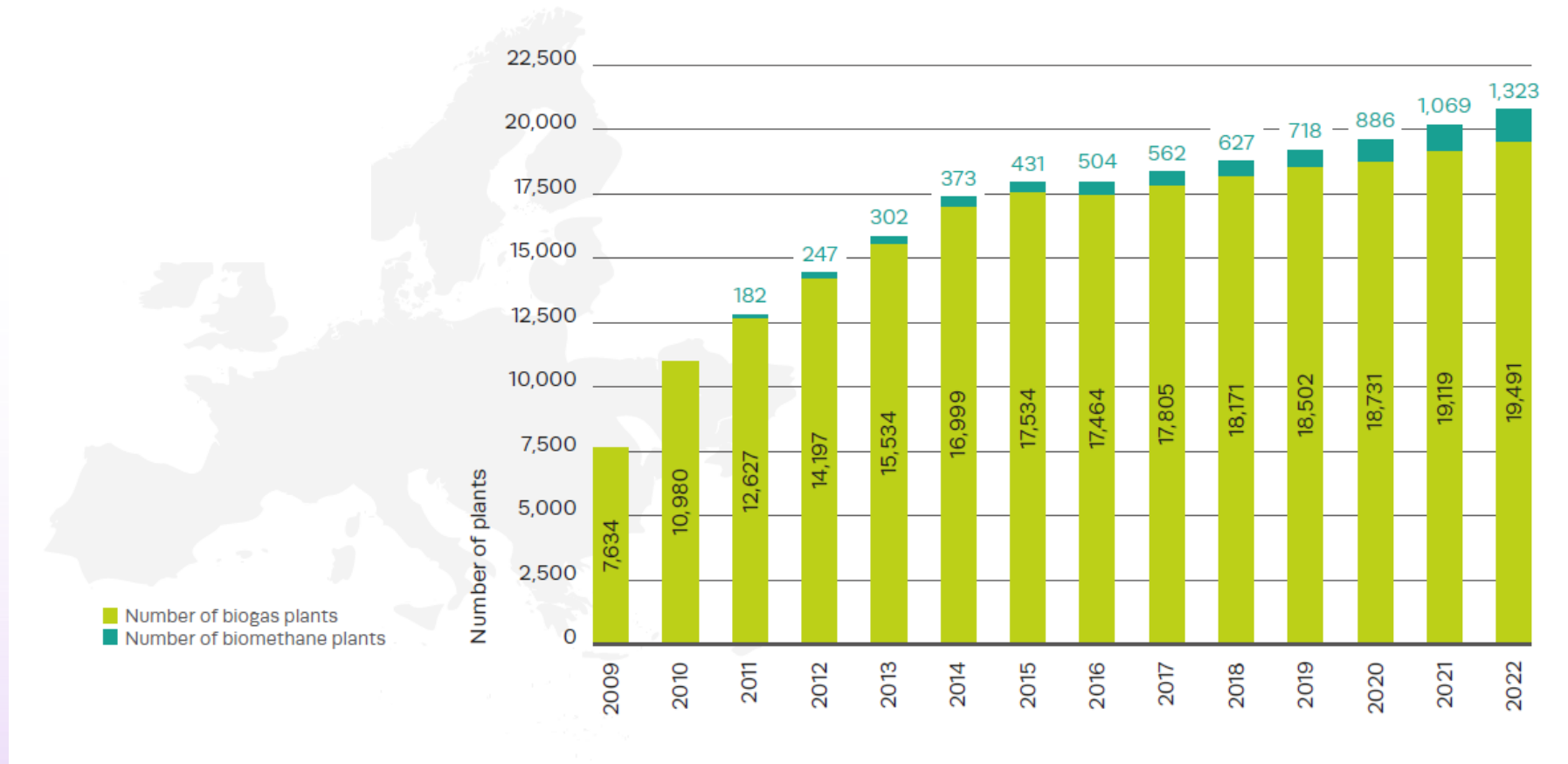


Otras Fuentes

Residuos Ganaderos, Residuos de cultivos, Residuos de Alimentos, FORSU, Cultivos Energéticos, etc.

Biorrefinerías de Biogás

Nº de Plantas de Biogás en operación en la Unión Europea



Biorrefinerías de Biogás

Composición del Biogas depende del estado RedOx de la materia orgánica y del tipo de Digestor

Component	Landfill Gas	WWTP/FoodWaste/Manure
CH ₄	35-65%	53-70%
CO ₂	15-50%	30-47%
N ₂	5-40%	0-3%
O ₂	0-5%	0-1%
H ₂	0-3%	-
CO	0-3%	-
H ₂ S	0-100 ppm _v	0-10.000 ppm _v
NH ₃	0-5 ppm _v	0-100 ppm _v
Siloxanes	0-50 mg Si m ⁻³	0-41 mg m ⁻³
Halocarbons	20-200 ppm _v Cl ⁻ /F ⁻	-
VOCs	0-4500 mg m ⁻³	0-200 mg m ⁻³

Persson et al, 2006; Bailón and Hinge, 2012

Disminución del Poder Calorífico

Riesgo de Explosión

Disminución en concentración de CH₄

Corrosión en Tuberías, Compresores, Turbinas

Depósitos de Oxidos de Silicio: Abrasión y Problemas de Mantenimiento en motores

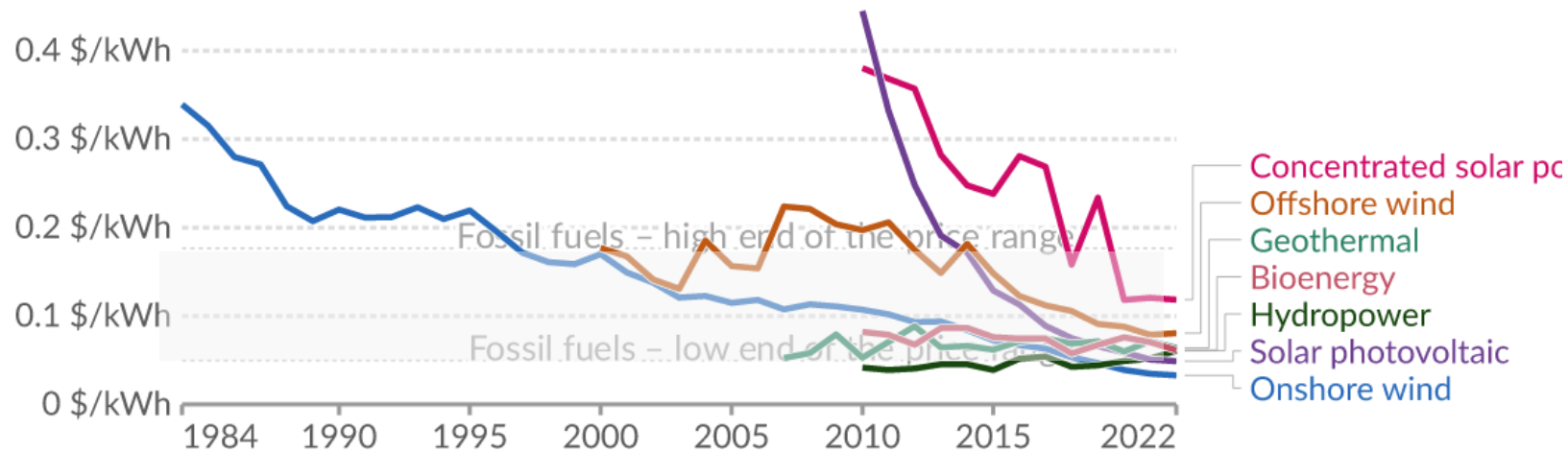
Biorrefinerías de Biogás

Qué haríamos con el biogás si el coste de producción de electricidad es mayor que el precio de mercado?

Our World
in Data

Levelized cost of energy by technology, World

The average cost per unit of energy generated across the lifetime of a new power plant. This data is expressed in US dollars per kilowatt-hour. It is adjusted for inflation but does not account for differences in the cost of living between countries.



Data source: International Renewable Energy Agency (2023)

Note: Data is expressed in constant 2022 US\$.

OurWorldInData.org/energy | CC

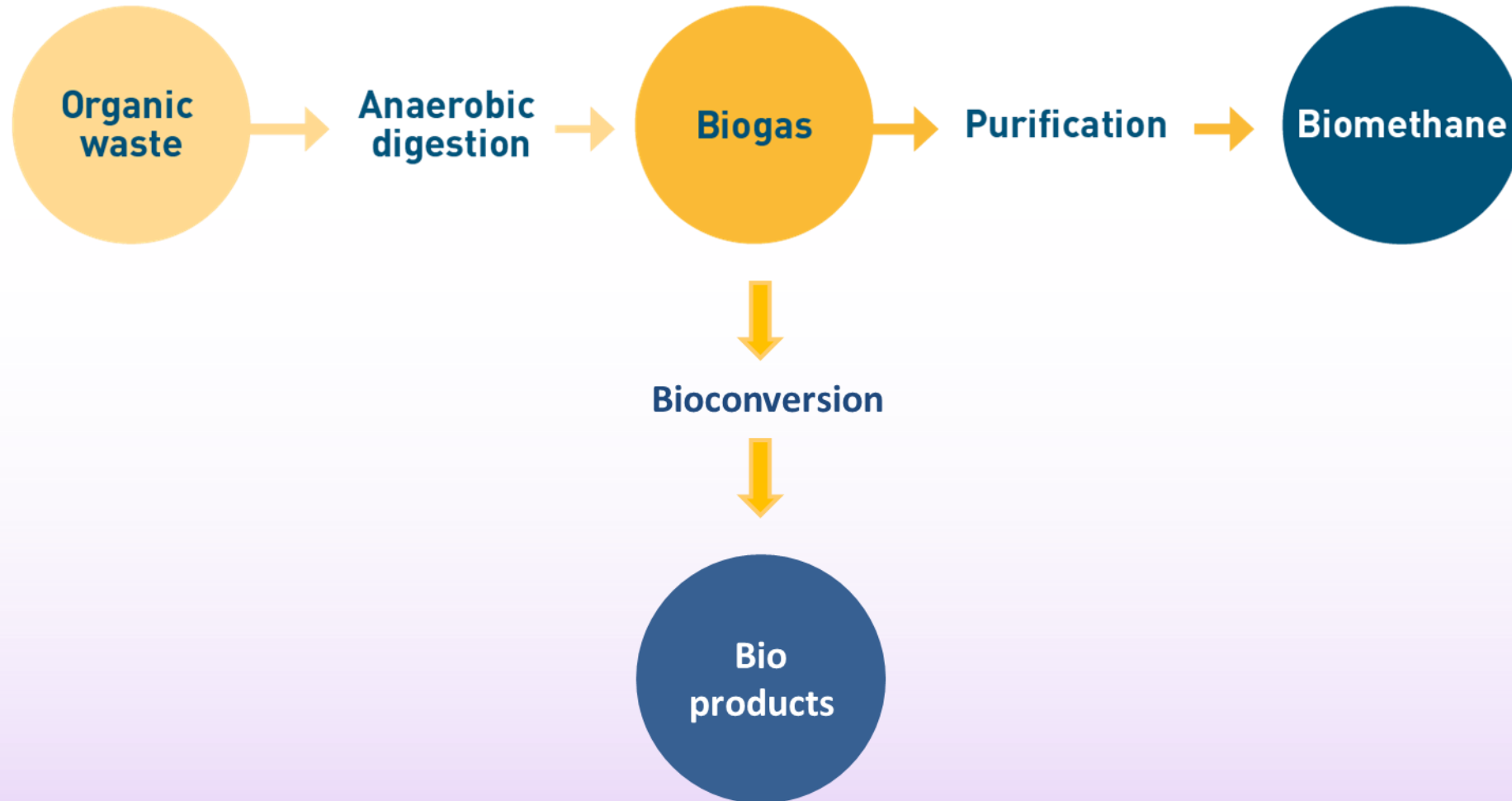
LCOE biogás: 0.05-0.19 \$/kWh



INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Biorrefinerías de Biogás



Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano



- Tecnologías de eliminación de CO_2
- Tecnologías de eliminación de H_2S
- Tecnologías de eliminación de H_2O
- Tecnologías de eliminación de O_2 & N_2
- Tecnologías de eliminación de COVs,
- siloxanos & halocarbonados

BIOGAS UPGRADING



Tecnologías Físico-Químicas

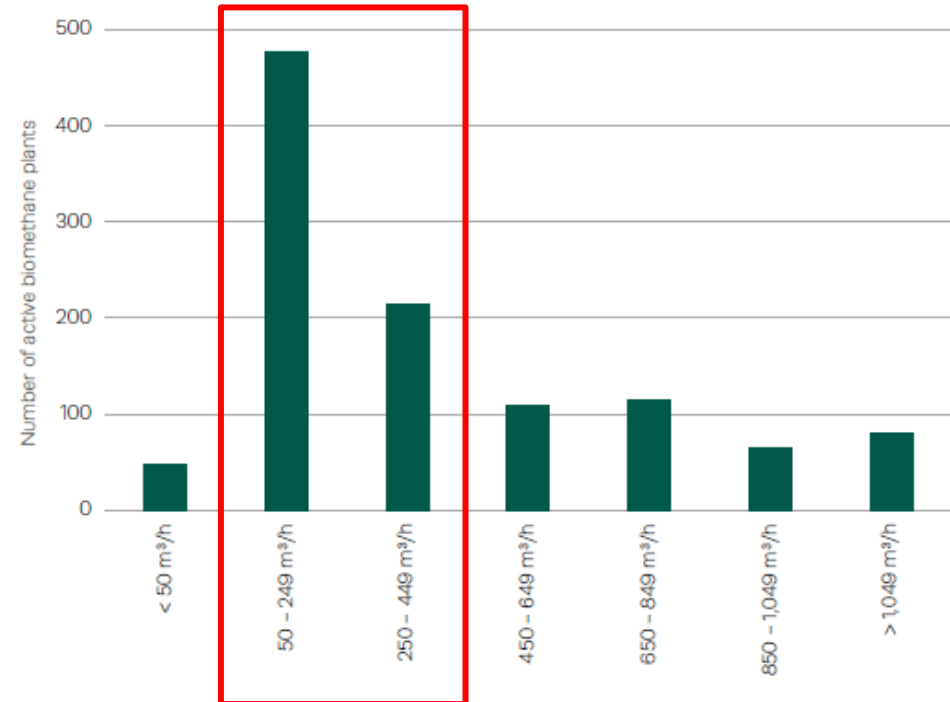
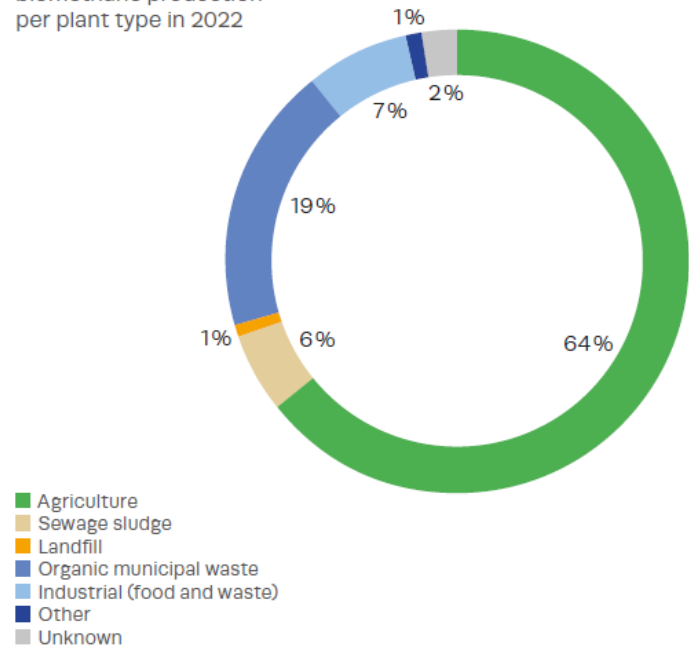


Tecnologías Biológicas

Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Distribución de plantas de Upgrading de **Biogás** en la Unión Europea

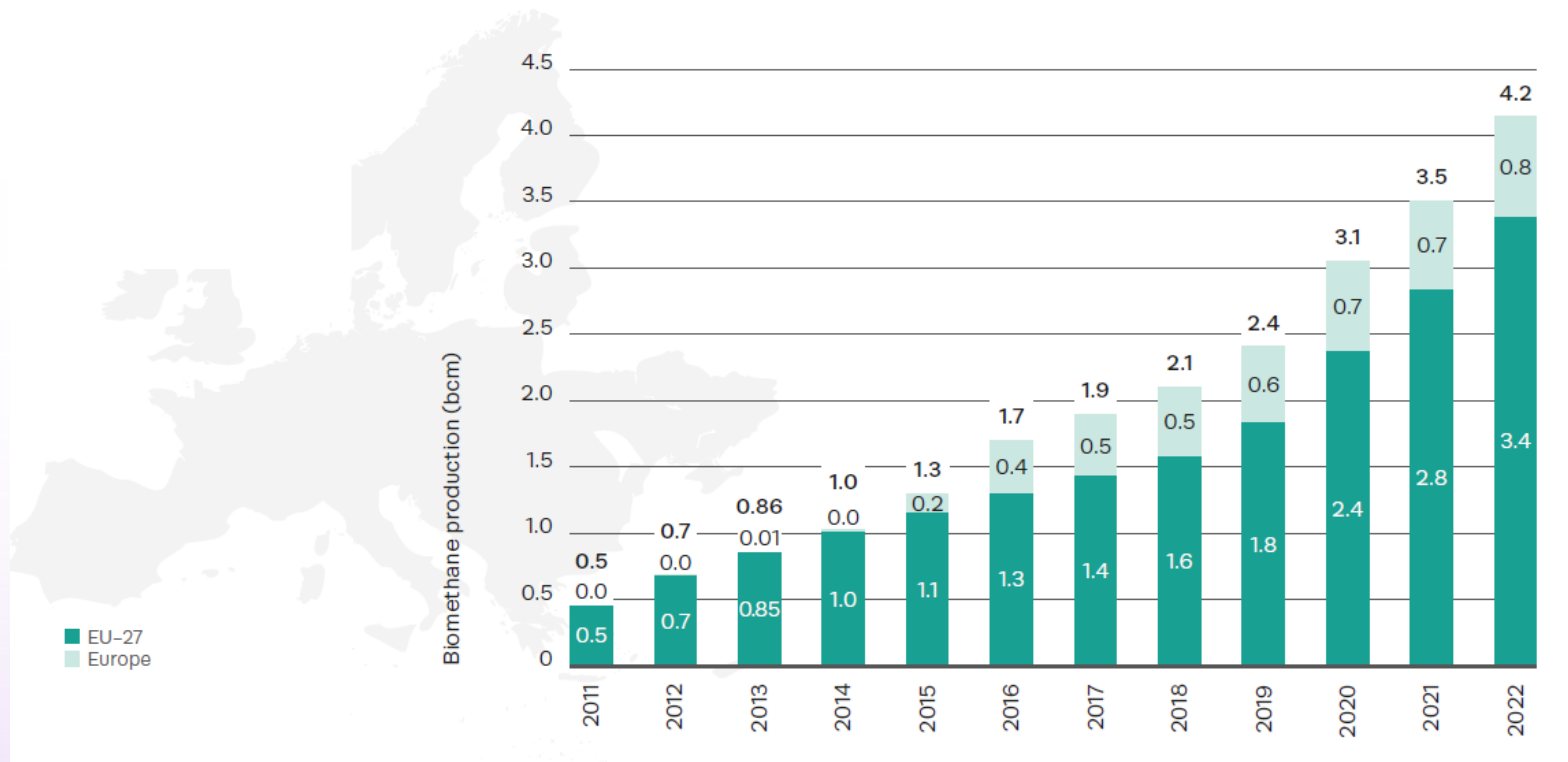
Percentage of European biomethane production per plant type in 2022



(EBA 2023)

Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Producción de **biometano** en la EU27

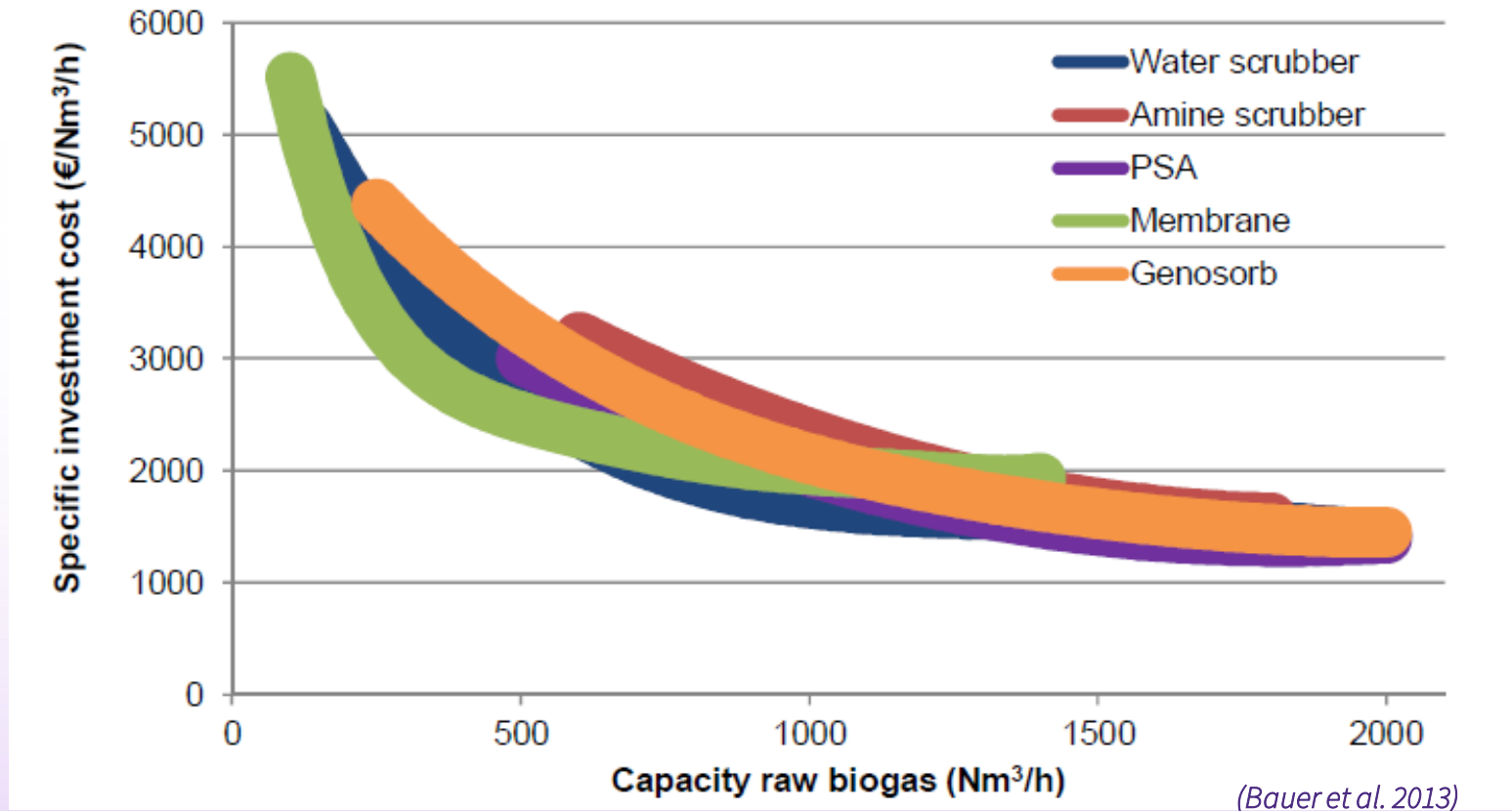


RePowerEU: 35 bcm biometano en 2030 ^(EC, 2022)

(EBA 2023)

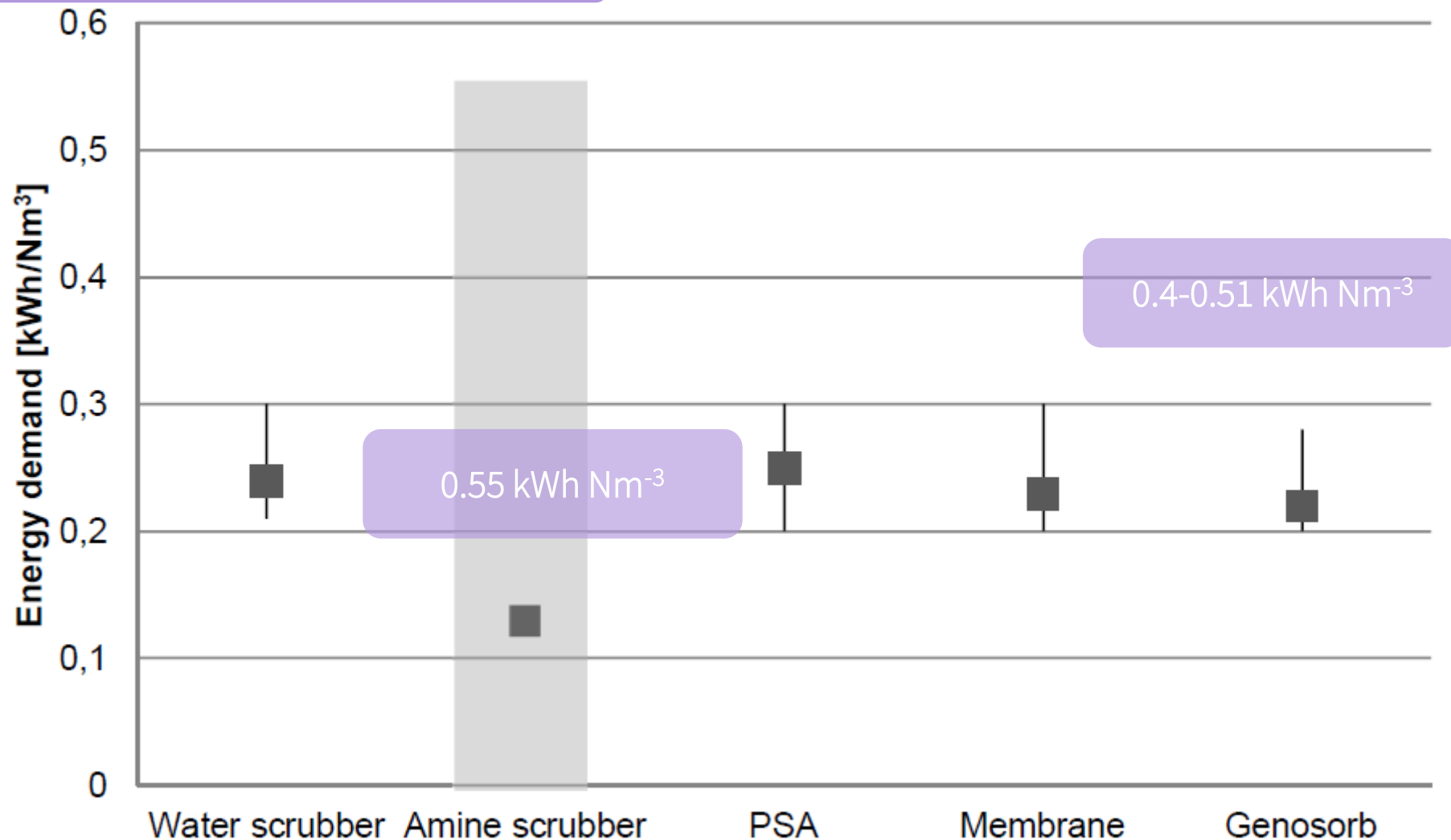
Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Costes de inversión de tecnologías de upgrading de **biogás** comerciales



Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Demanda energética : 3-12 % del contenido energético del **biogás**



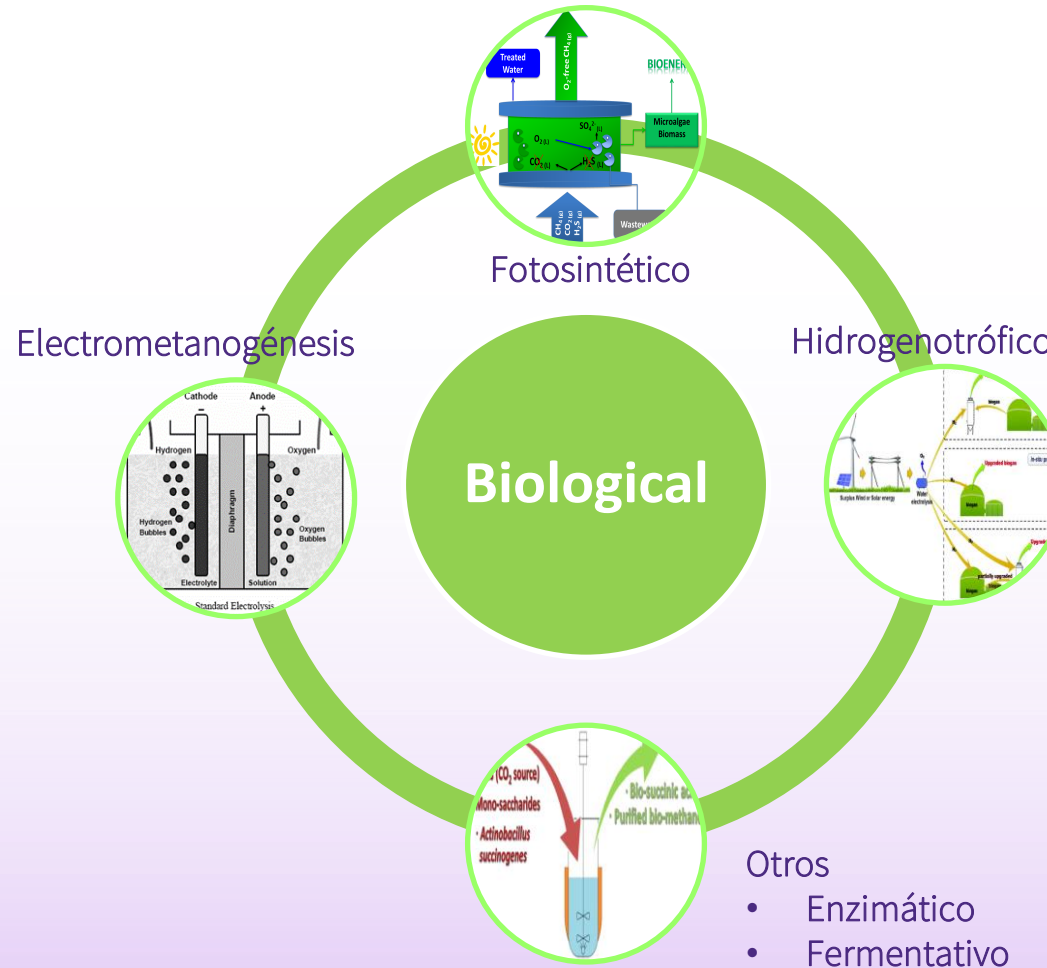
Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

*Necesidad de desarrollar y
validar tecnologías
novedosas y sostenibles
para el upgrading de **biogás**
a **biometano***



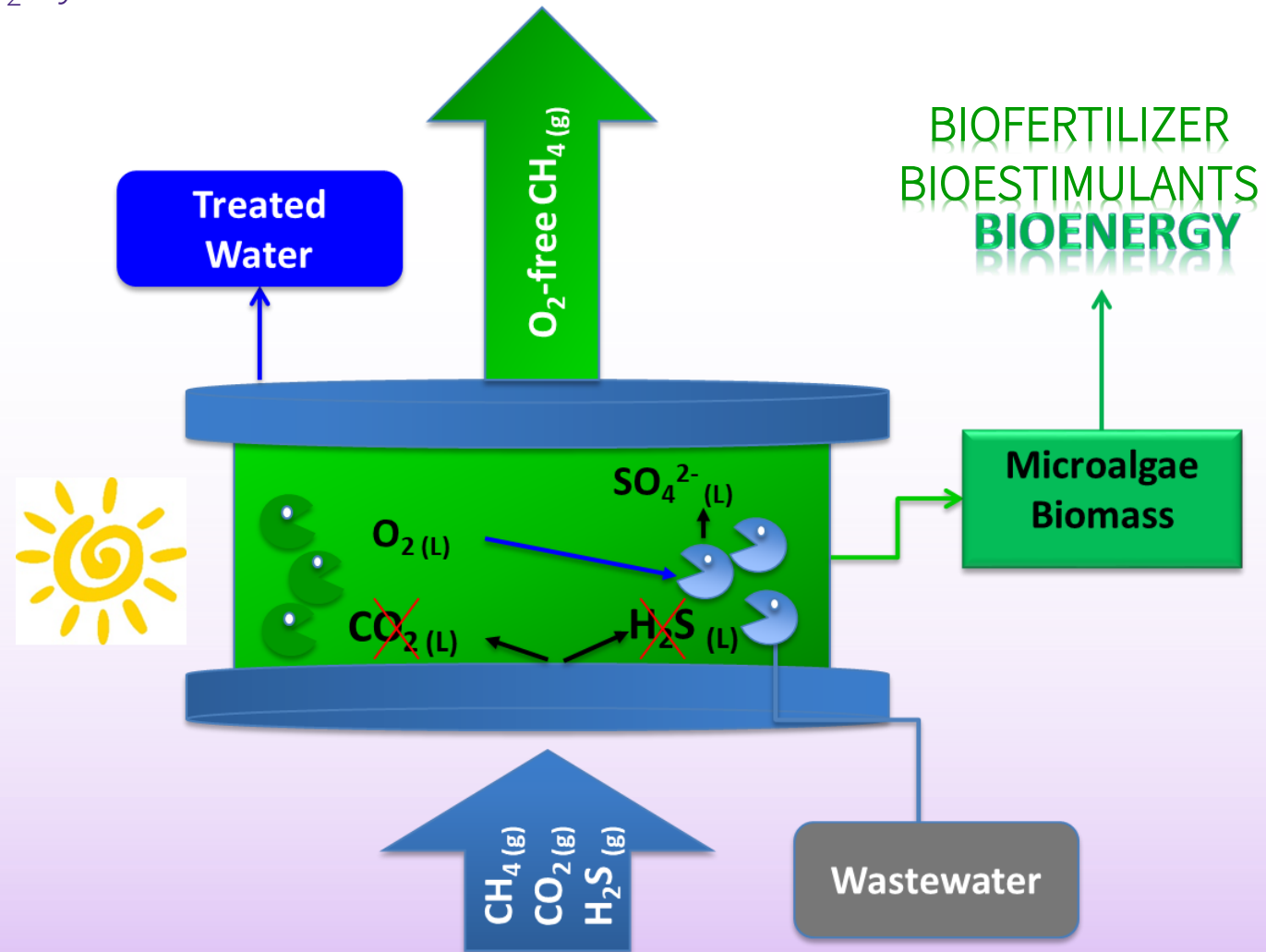
Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Un amplio abanico de **bi**otecnologías de upgrading de **biogás** a **biometano** en desarrollo y validación



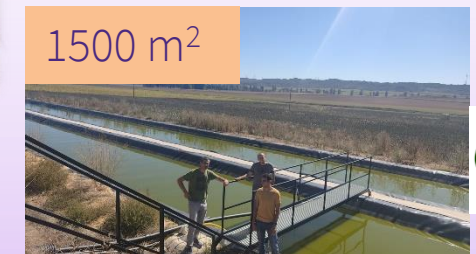
Biorrefinerías de Biogás: Upgrading a Biometano

Upgrading Fotosintético de Biogás: Basado en la simbiosis entre microalgas y bacterias. Permite una eliminación simultánea de CO_2 , H_2S y VOCs



Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Upgrading Fotosintético de Biogás: Escalado del Proceso



Biorrefinerías de Biogás: Upgrading a Biometano

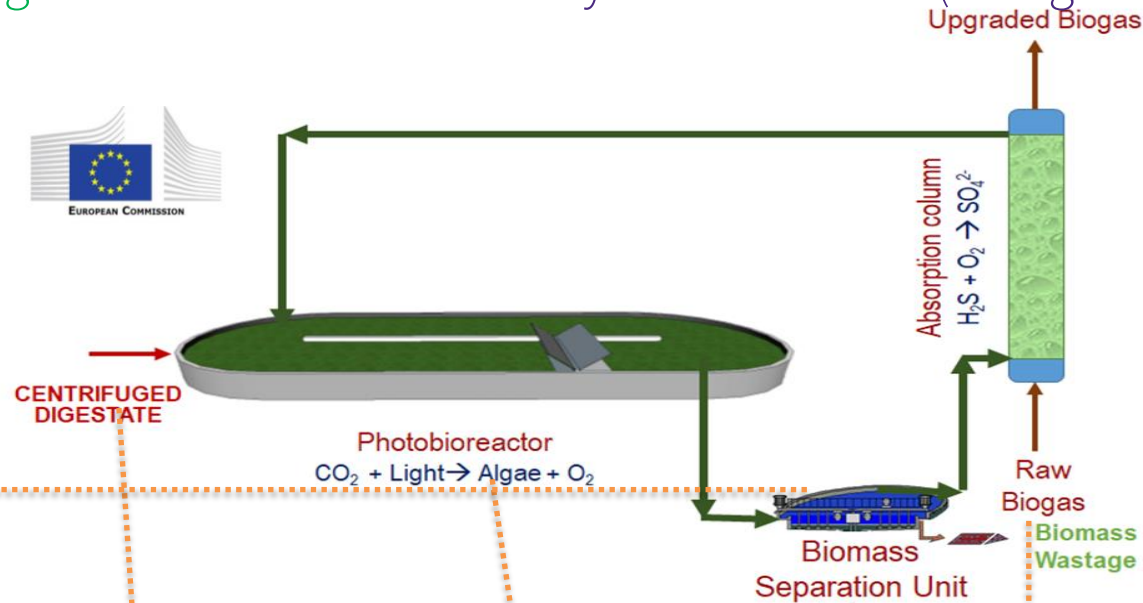
Upgrading Fotosintético de Biogás: Caso de estudio del Proyecto URBIOFIN (Zaragoza)

URBIOFIN
urban biorefinery

FROM URBAN WASTE TO
BIOPRODUCTS THROUGH
BIOREFINERY



HRAP: 270 m²

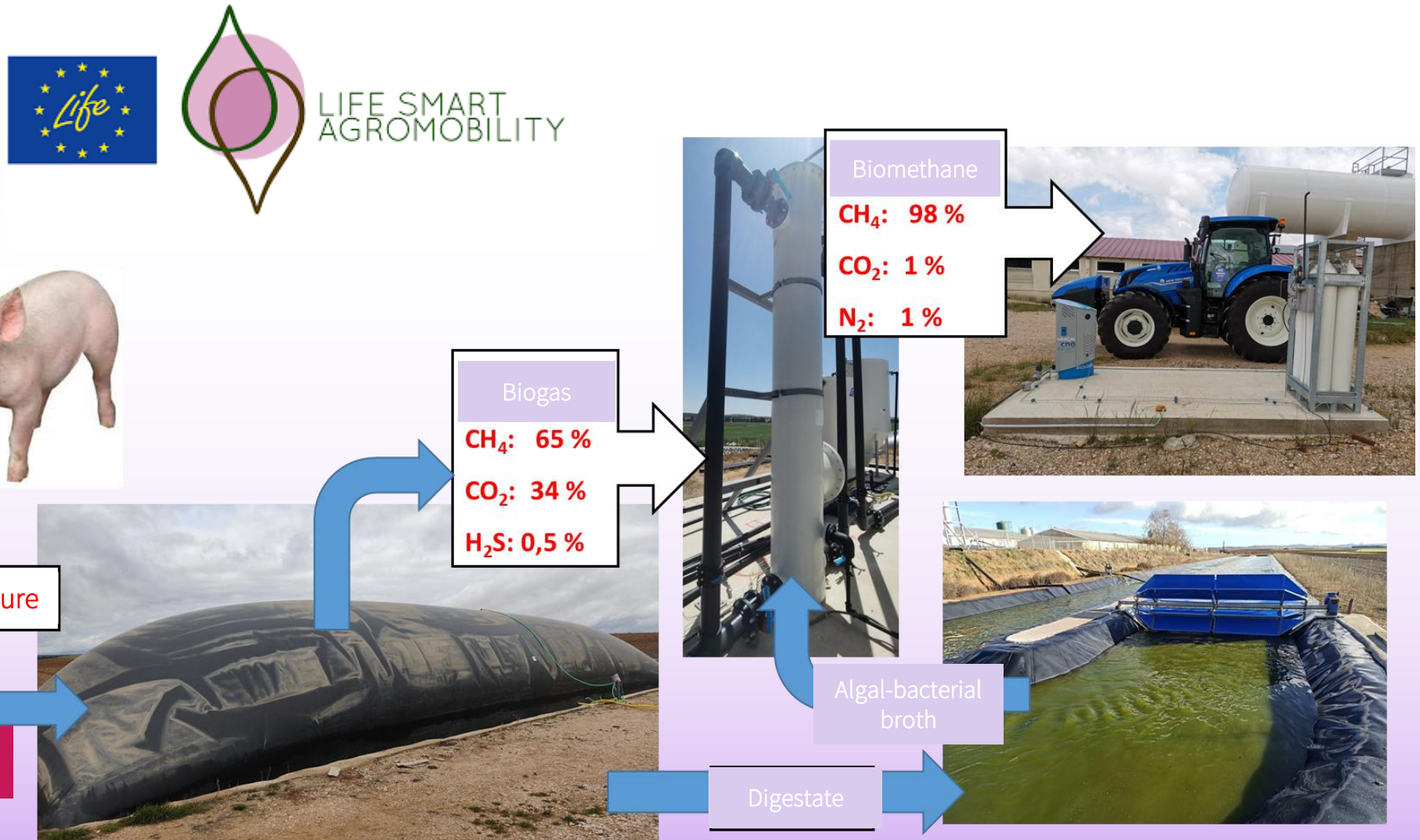


- HRAP operado durante 1 año
- Biometano cumplió con Estandar de biometano
 - CH_4 : ~95%
 - CO_2 : 2-3%
 - N_2 : 2-3%
 - H_2S : 0%



Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Upgrading Fotosintético de Biogás: Caso de estudio del Proyecto SMART AGROMOBILITY (Soria)

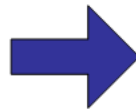
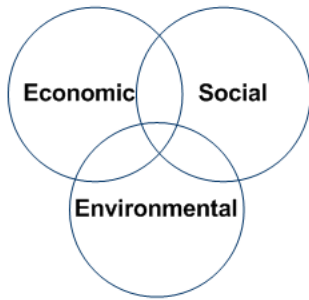


Biogas Biorefineries: Biogas Upgrading to Biomethane

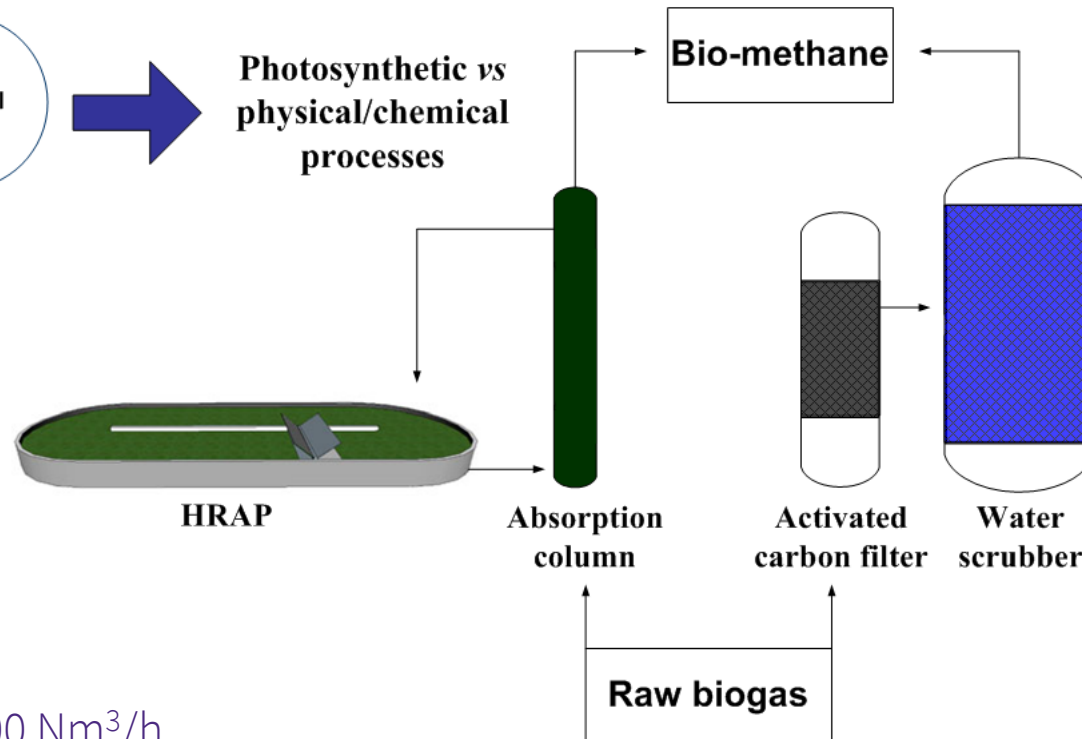
Upgrading Fotosintético de Biogás: Analisis de Sostenibilidad



IChemE Sustainability Metrics



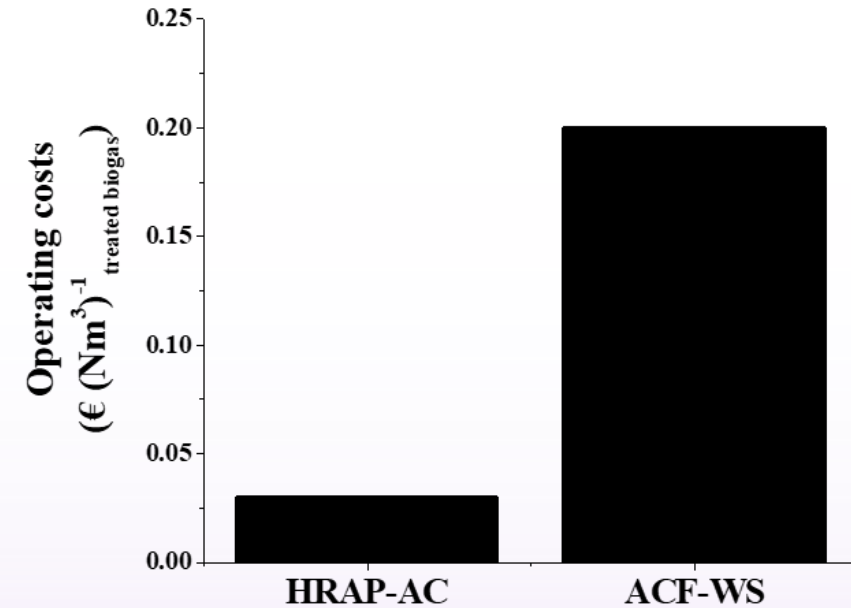
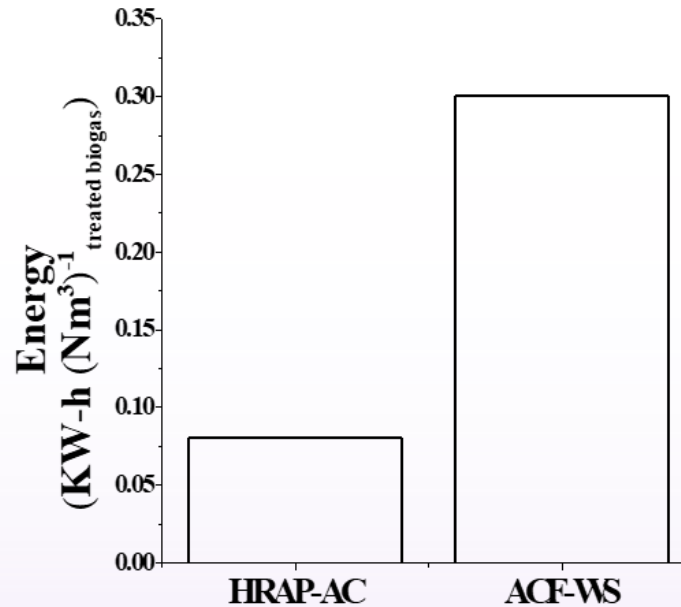
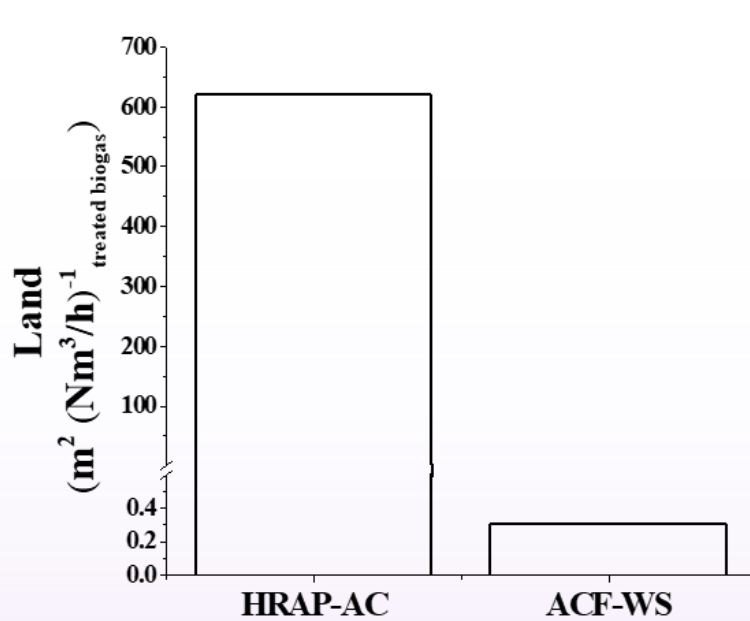
Photosynthetic vs physical/chemical processes



REFERENCE FLOW RATE: 300 Nm³/h

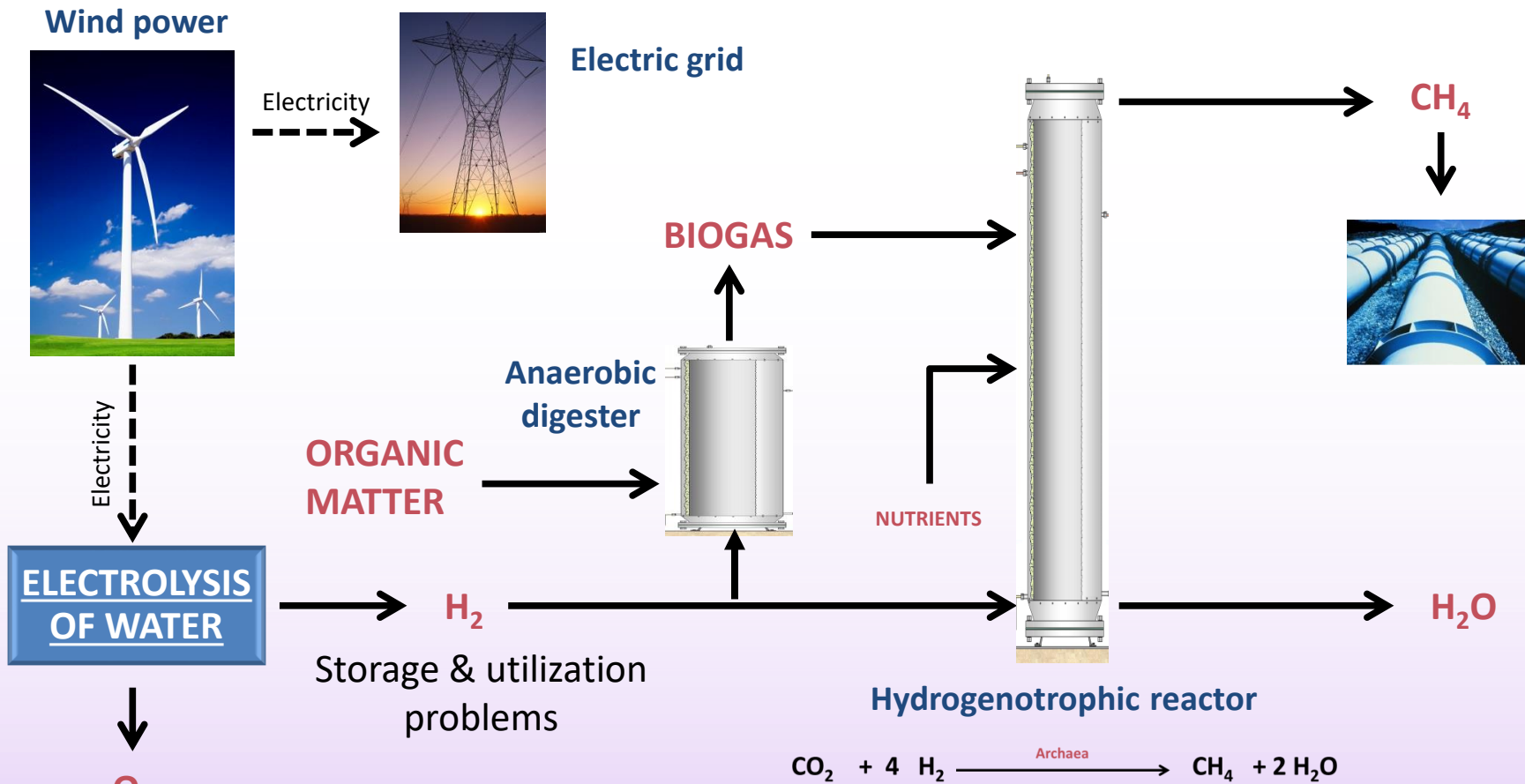
Biogas Biorefineries: Biogas Upgrading to Biomethane

Upgrading Fotosintético de Biogás: Analisis de Sostenibilidad



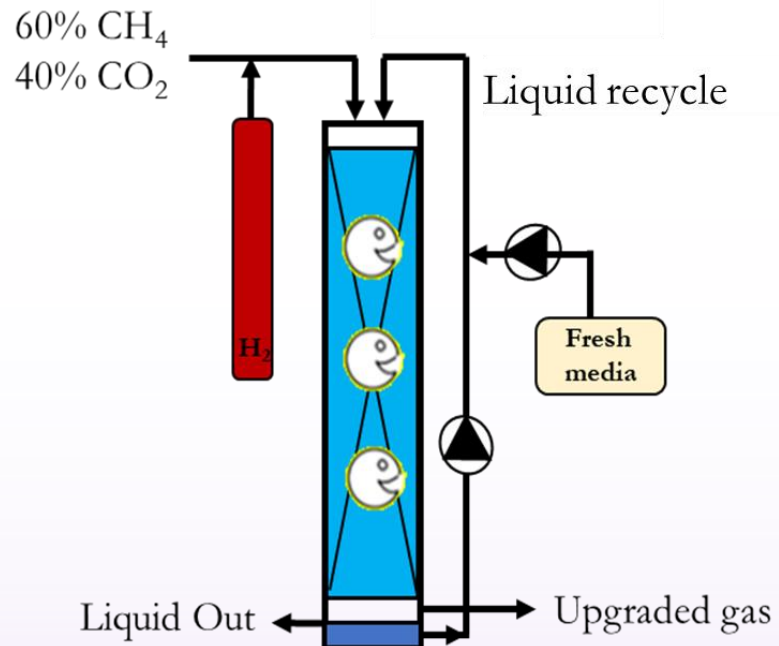
Biorrefinerías de **Biogás**: Upgrading a Biometano

Upgrading hidrogenotrófico de biogás: Basado en la reducción biológica del CO_2 presente en el biogás H_2 verde



Biorrefinerías de Biogás: Upgrading a Biometano

Upgrading hidrogenotrófico de biogás: Ex-situ upgrading



- + Alta superficie específica para crecimiento de biomasa
- + Altas tasas de transferencia gas-célula

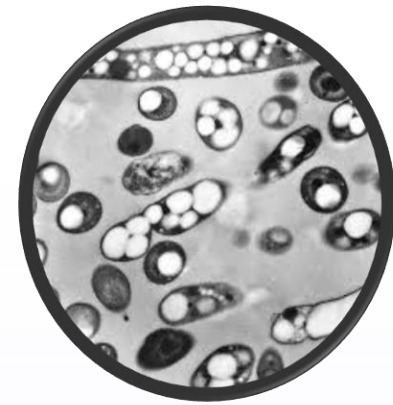
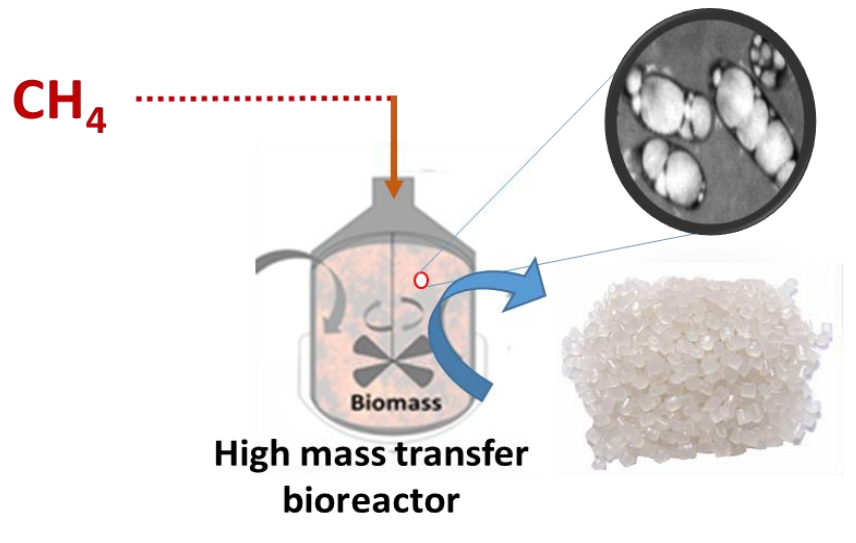
Influent Biogas Composition (CH ₄ :CO ₂)	30:70	45:55	60:40
Final [CH ₄] (% vol/vol)	98	98	98
Final [CO ₂] (% vol/vol)	1.2	1.5	1.5
Upgrading Capacity (m ³ m ⁻³ d ⁻¹)	13	11	9.5

Biorrefinerías de Biogás



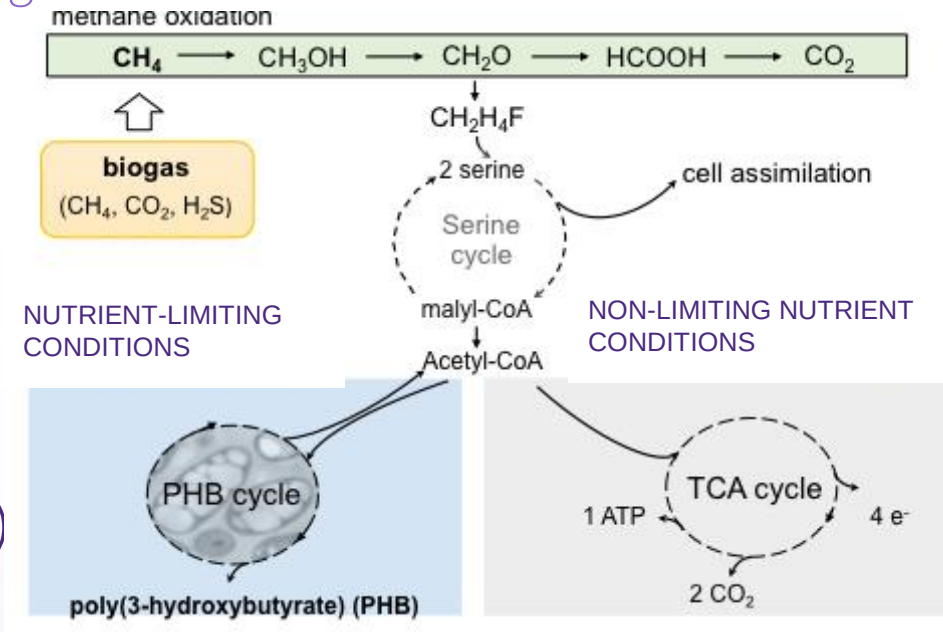
Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a bioplásticos

Bioconversión de Biogás: Producción de PHAs a partir del CH_4 del biogás



Bioplásticos (PHAs)
4-20 €/kg

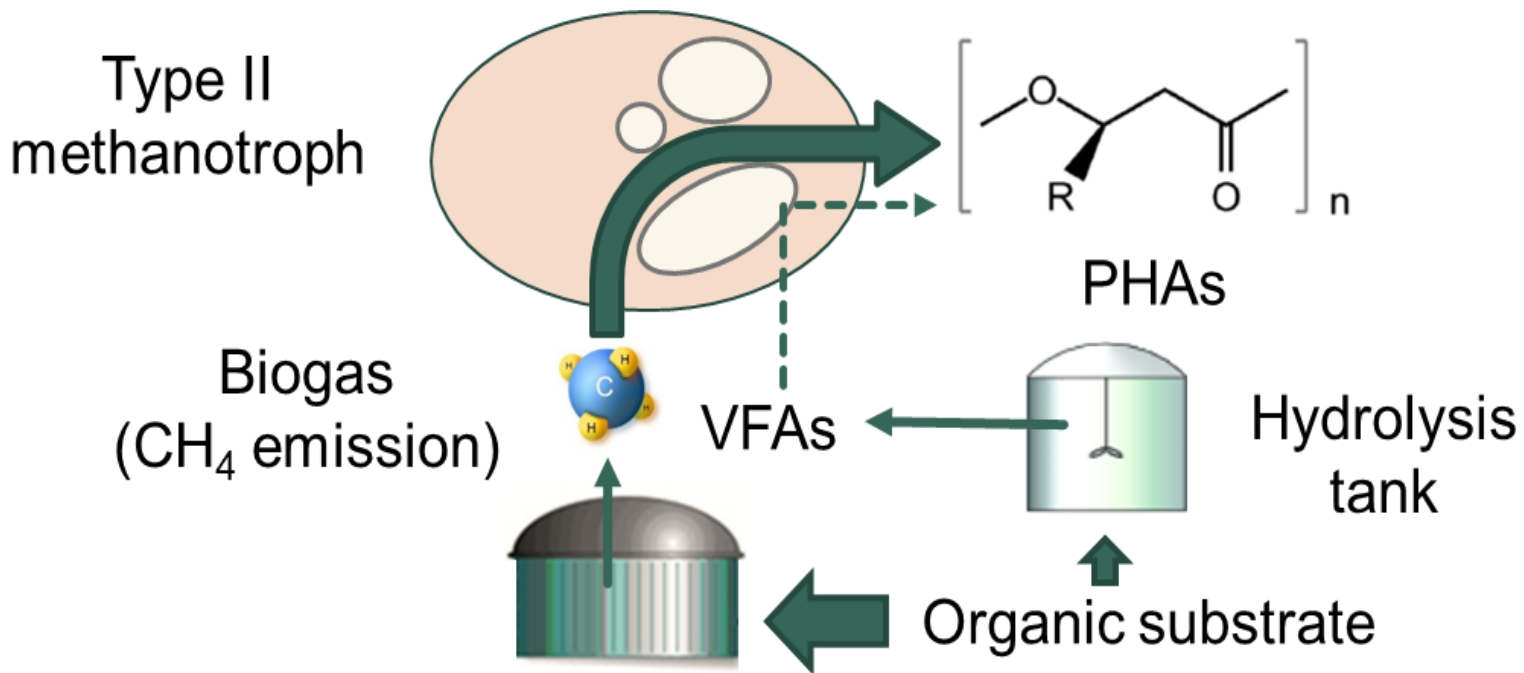
Methanotrophs type II



- **PHAs:** Biopolímeros con excelentes propiedades (~ PE, PP), biodegradables, biocompatibles, etc.
- Sintetizados por microorganismos heterótrofos (substratos: glucosa/fructosa) bajo limitación de nutrientes
- Coste del Sustrato: 30-40 %

Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a bioplásticos

Bioconversión de Biogás: Producción de PHAs a partir del CH₄ del biogás



Biogas-based polyhydroxyalkanoates production by *Methylocystis hirsuta*: A step further in anaerobic digestion biorefineries

Juan C. López, Esther Amáiz, Laura Merchán, Raquel Lebrero, Raúl Muñoz*

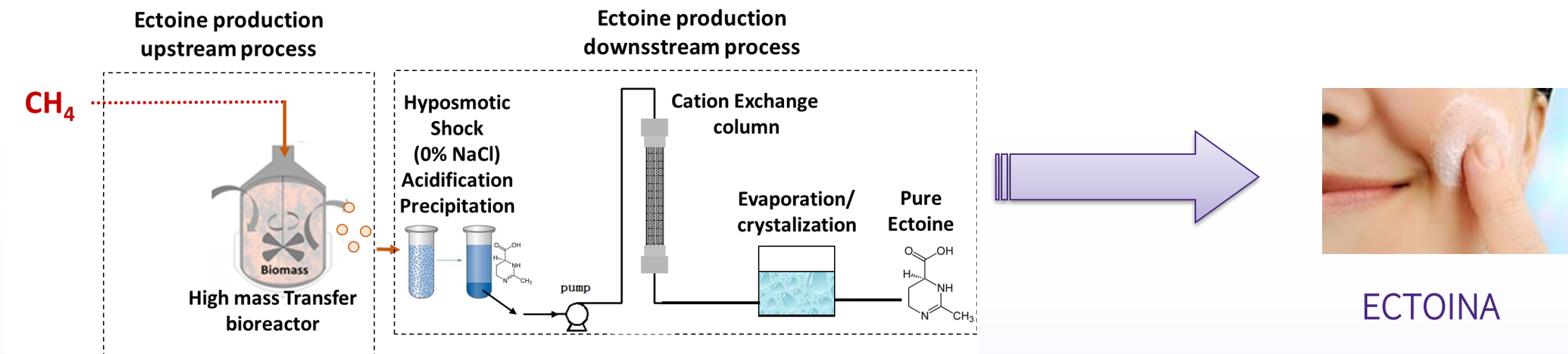
Department of Chemical Engineering and Environmental Technology, School of Industrial Engineering, University of Valladolid, C/Dr. Merello s/n, 47011 Valladolid, Spain



Culture condition	PHA		
	PHA content (wt %)	HB fraction (mol %)	HV fraction (mol %)
Biogas	43.1 ± 1.8	100	0
Biogas + Acetic acid	52.3 ± 0.7	100	0
Biogas + Propionic acid	47.9 ± 0.7	98	2
Biogas + Butyric acid	52.2 ± 2.1	100	0
Biogas + Valeric acid	53.8 ± 0.8	75	25

Biorrefinerías de Biogás: Bioconversión a ectoína

Bioconversión de Biogás: Producción de ectoína a partir del CH_4 del biogás



ECTOINA

- Osmoprotector producido por bacterias a alta salinidad.
- Usado como materia prima en industria cosmética y farmacéutica
- Precio de mercado $\sim 1000 \text{ € kg}^{-1}$

Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a ectoína

Bioconversión de Biogás: Producción de ectoína a partir del CH_4 del biogás

Conversion of diluted mixed urban bio-wastes into sustainable materials and products in flexible purple photobiorefineries
H2020-BBI-JU (2019-2024).
Duration: 2019-2024

DEEP
PURPLE



V reactor: 3.6 m^3
Flujo de biogás: $14.4 \text{ m}^3/\text{d}$

RESULTADOS

- Bioconversiones de CH_4 : 80-100 %
- Contenidos de ectoína: 7-10 %

Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a ectoína

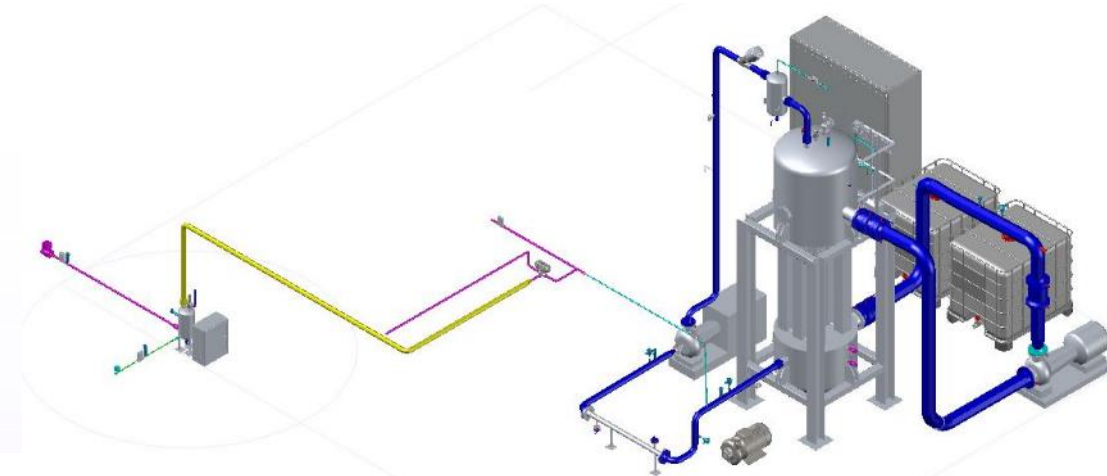
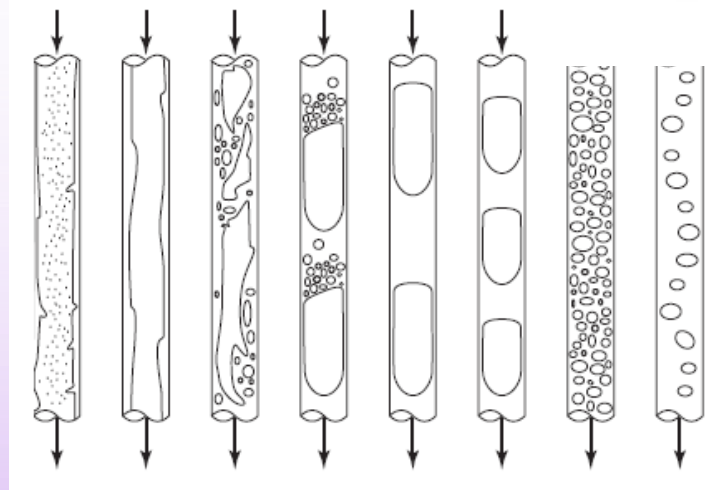
Bioconversión de Biogás: Producción de ectoína a partir del CH_4 del biogás

Producing novel non-plant biomass feedstocks and bio-based products through upcycling and the cascading use of brewery side-streams.
HORIZON 2021 (2022-2026).
Duration: 2022-2026



Unidades Multicapilar con flujo gas-líquido segmentado

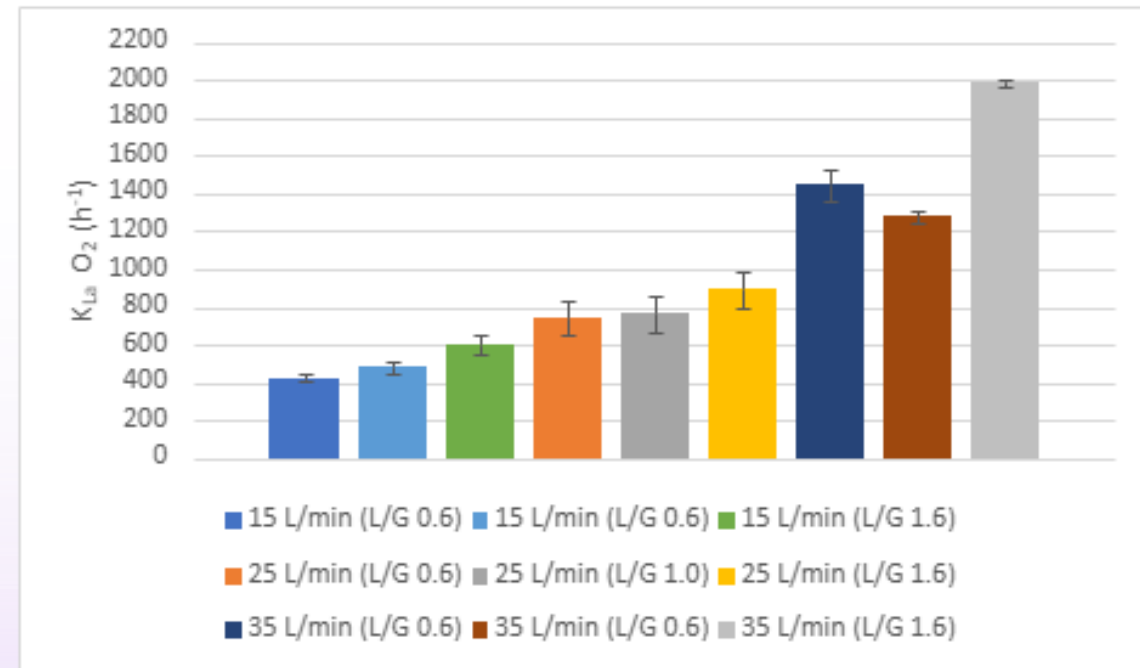
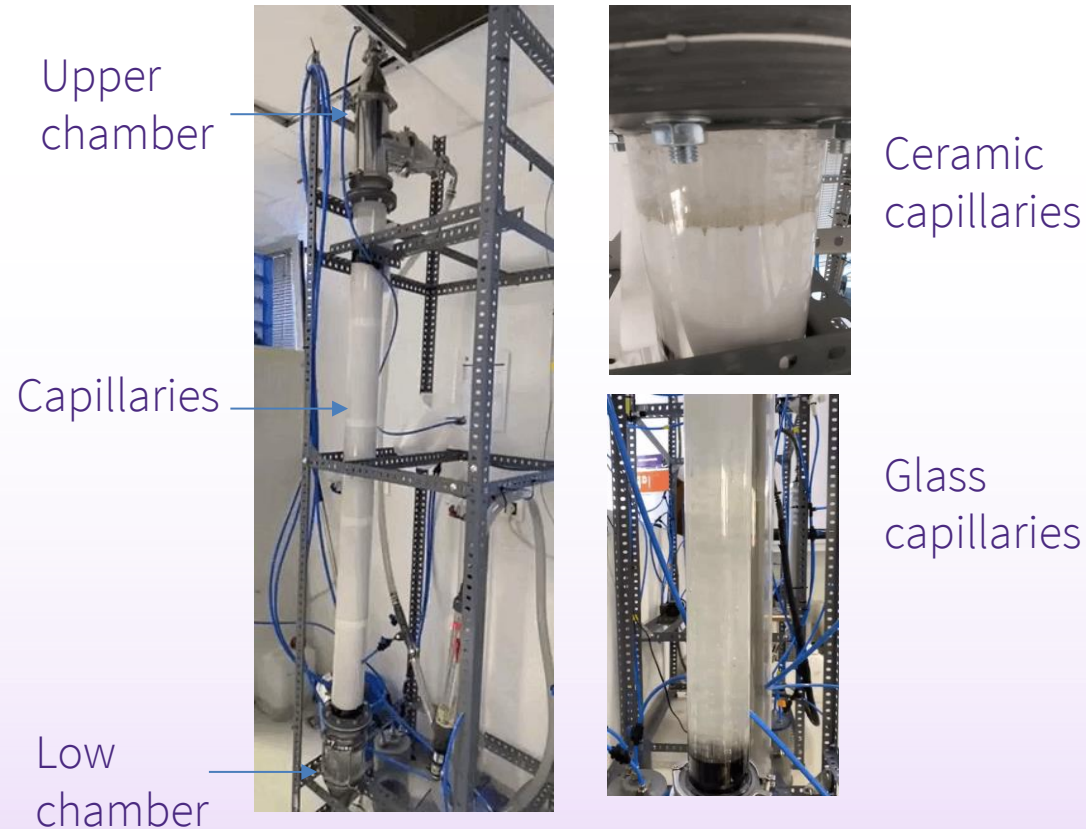
- Alta área Interfacial Gas-Líquido
- Bajo espesor de película
- Alta turbulencia en el lado del líquido



Biorreactor Piloto de 1 m³

Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a ectoína

Bioconversión de Biogás: Producción de ectoína a partir del CH_4 del biogás



Biorrefinerías de **Biogás**: Bioconversión a Proteína Microbiana

Bioconversión de Biogás: Producción de proteína microbiana a partir del CH_4 del biogás

Turning urban waste streams into added-value products

H2020-BBI-JU

Duration: 2021-2026



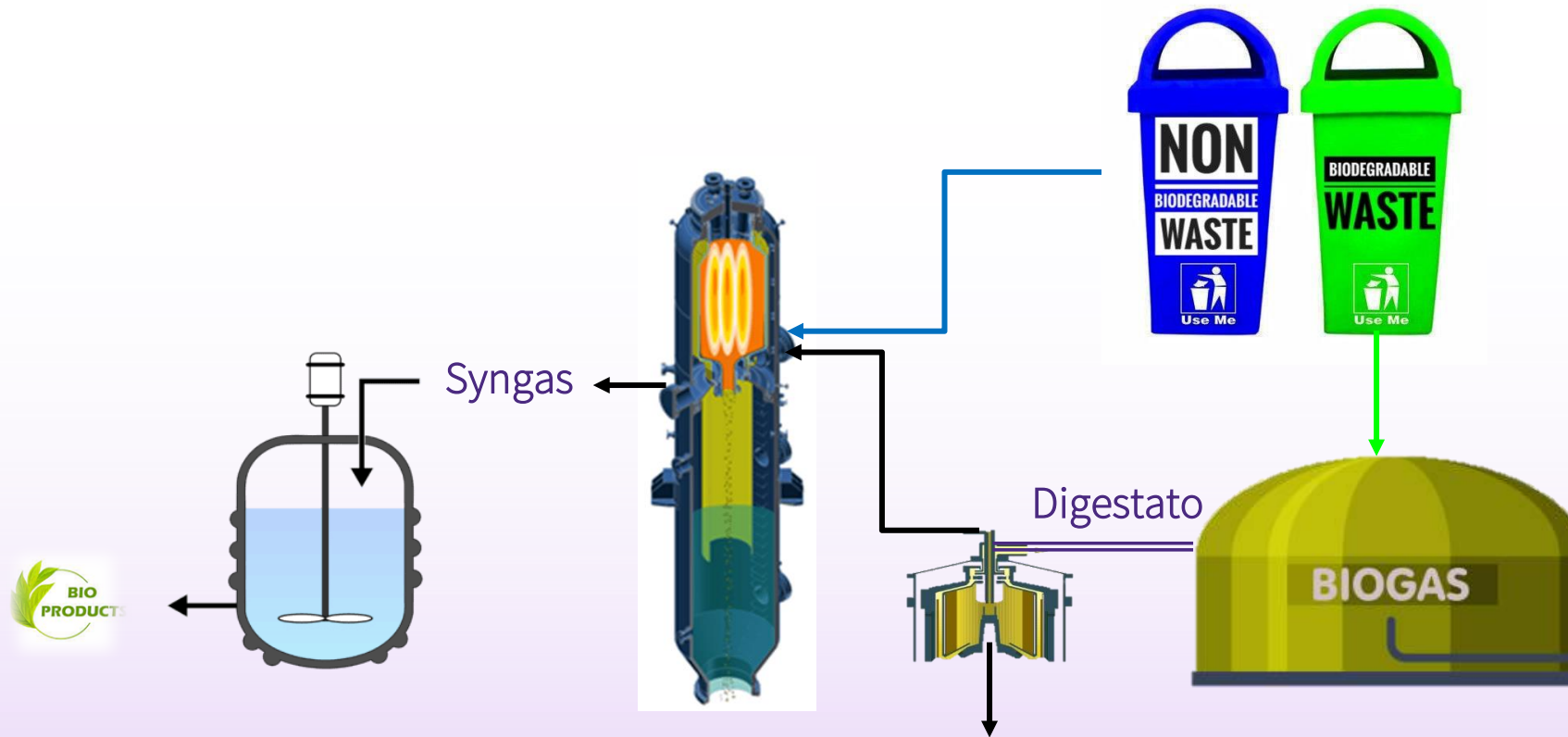
V reactor: 40 m³

RESULTADOS

- Puesta en marcha Enero 2025

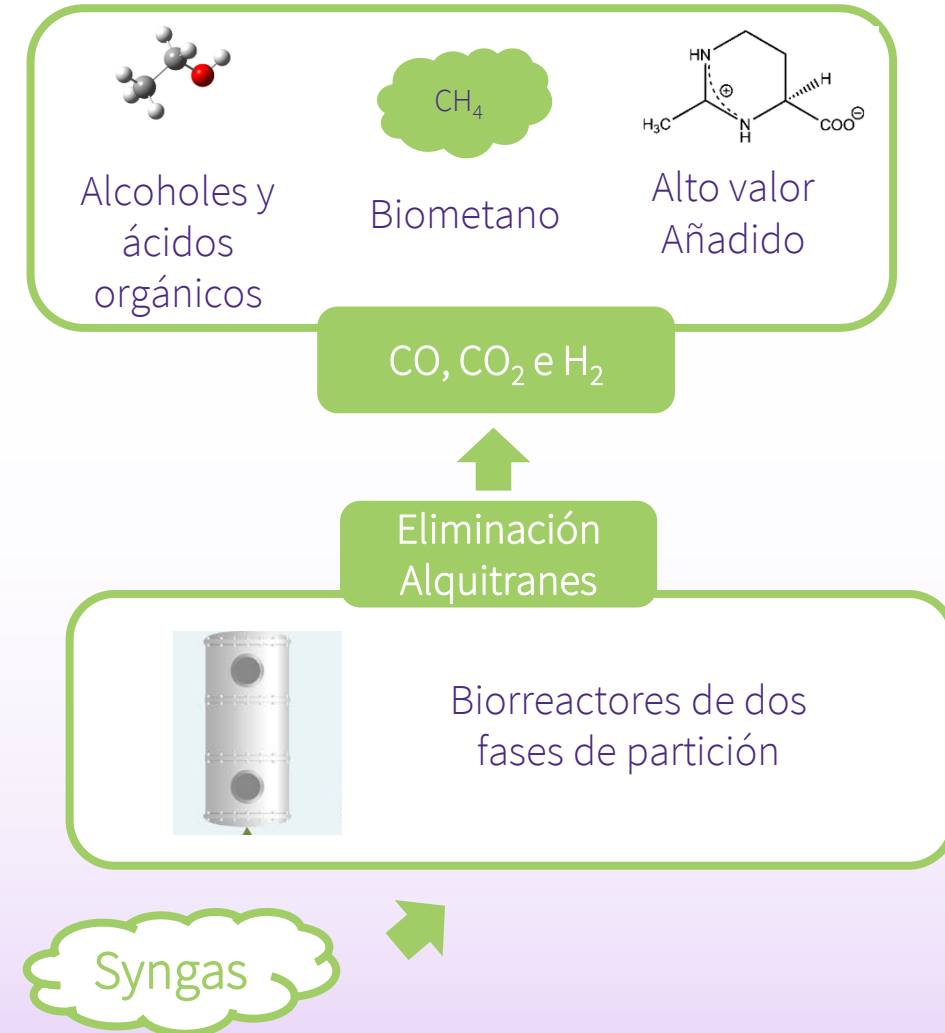
Biorrefinerías de gas de síntesis

Gasificación permite valorizar residuos orgánicos no biodegradables (digestatos, lignocelulósicos, plásticos, etc.) en carbono biodegradable ($\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$) e H_2 .



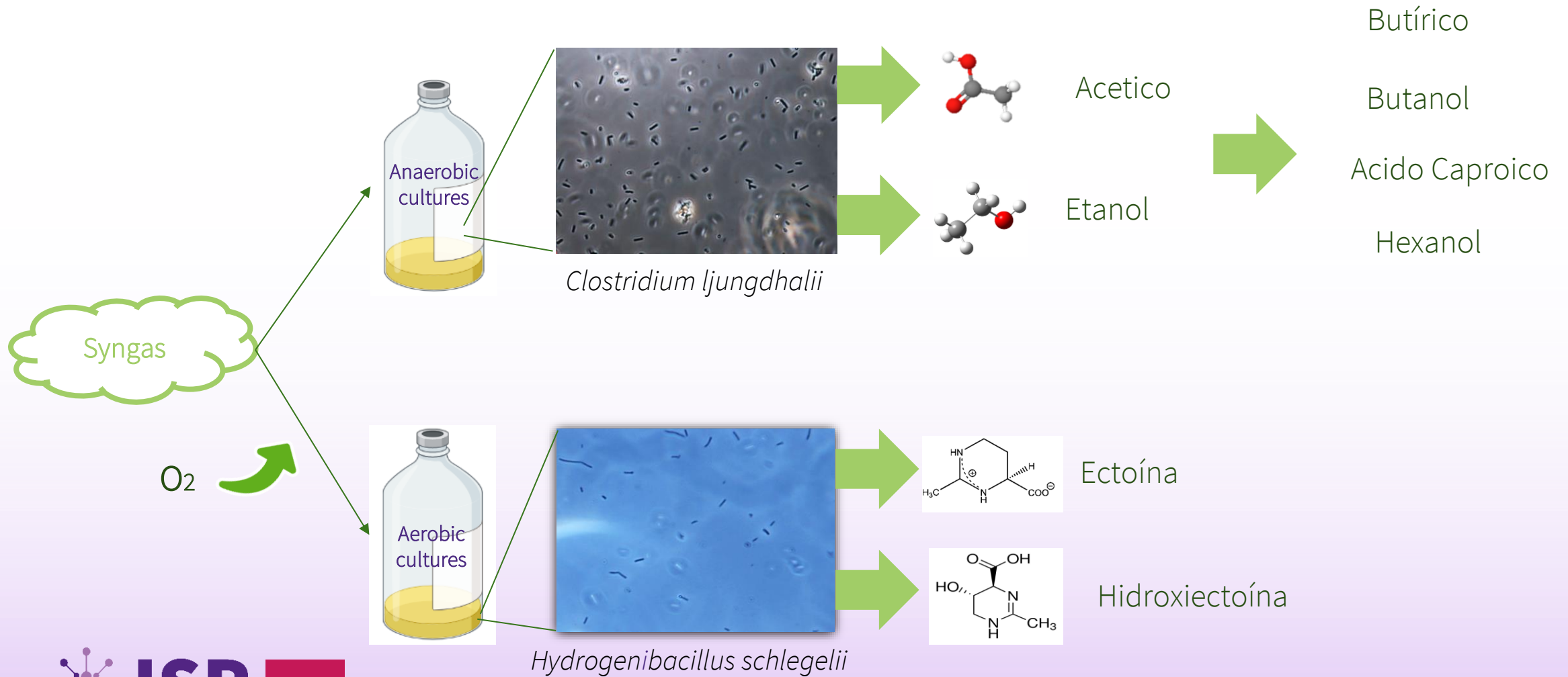
Biorrefinerías de gas de síntesis

Bioconversion of syngas from waste gasification into biomethane, organic acids and alcohols (*SYNBIOCONV*)



Biorrefinerías de gas de síntesis

Condiciones a optimizar: Temperatura, pH, composición de gas, salinidad



Conclusiones

- ❑ Las biotecnologías para la conversión de biogás a biometano permiten cumplir con el Estándar Europeo de Biometano EN16723-1 y EN16723-2 .
- ❑ Se ha escalado con éxito el upgrading fotosintético del biogás desde 1.2 hasta 1500 m², tecnología que permite la eliminación simultánea de CO₂ y H₂S del biogás acoplado a la recuperación de nutrientes del digestato.
- ❑ Power-to-gas basado en metanogénesis hidrogenotrófica puede ayudar a estabilizar la red energética y transformar el CO₂ en CH₄.
- ❑ La bioconversión de biogás en PHA, ectoínas y proteína ha sido validada como una ruta alternativa de valorización del biogás con mayores márgenes de beneficio que la producción de electricidad
- ❑ Gasificación puede convertir cualquier residuo recalcitrante en CO, CO₂ and H₂, que a su vez pueden ser bioconvertidos en bioproductos.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Contacto: Raúl Muñoz Torre (raul.munoz.torre@uva.es)

Websites: www.isp.uva.es

<http://envtech.uva.es/>

<http://gastreatment-microalgaeresearchgroup.blogspot.com.es/>

¡Gracias!