

Organitza:



amb la col·laboració de:



amb el suport de:



## Cicle de conferències de **Bioenergia i Biomaterials**

*Abril-juny 2026*

### **Sessió 2. Residus Biodegradables El procés de digestió anaeròbia**

**Ivet Ferrer i Martí**

Universitat Politècnica de Catalunya

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

GEMMA – Grup d'Enginyeria i Microbiologia del Medi Ambient

[ivet.ferrer@upc.edu](mailto:ivet.ferrer@upc.edu)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Grup d'Enginyeria i Microbiologia  
del Medi Ambient

# Continguts

## 1. Introducció

Bioeconomia circular

Fonts de biomassa

Tipus de biocombustibles

## 2. Digestió anaeròbia

Etales

Paràmetres operacionals

Configuracions

Plantes de biogàs

Digestors anaerobis

## 3. Situació a Catalunya

## 4. Biorefineries

# 1. Introducció

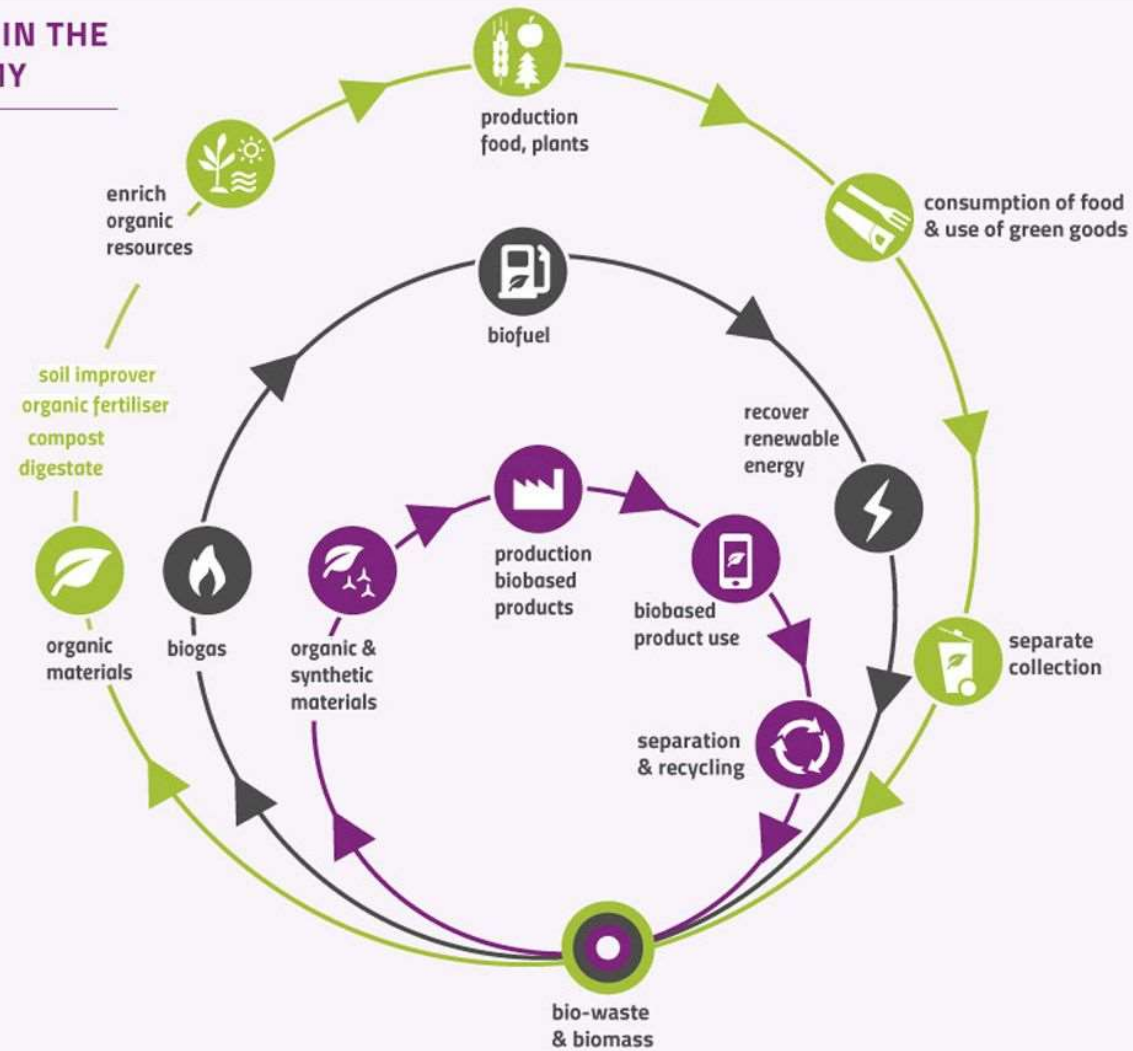
# Bioeconomia circular

La **bioeconomia circular** inclou les activitats econòmiques amb base biològica que apliquen els principis de l'economia circular als seus processos.

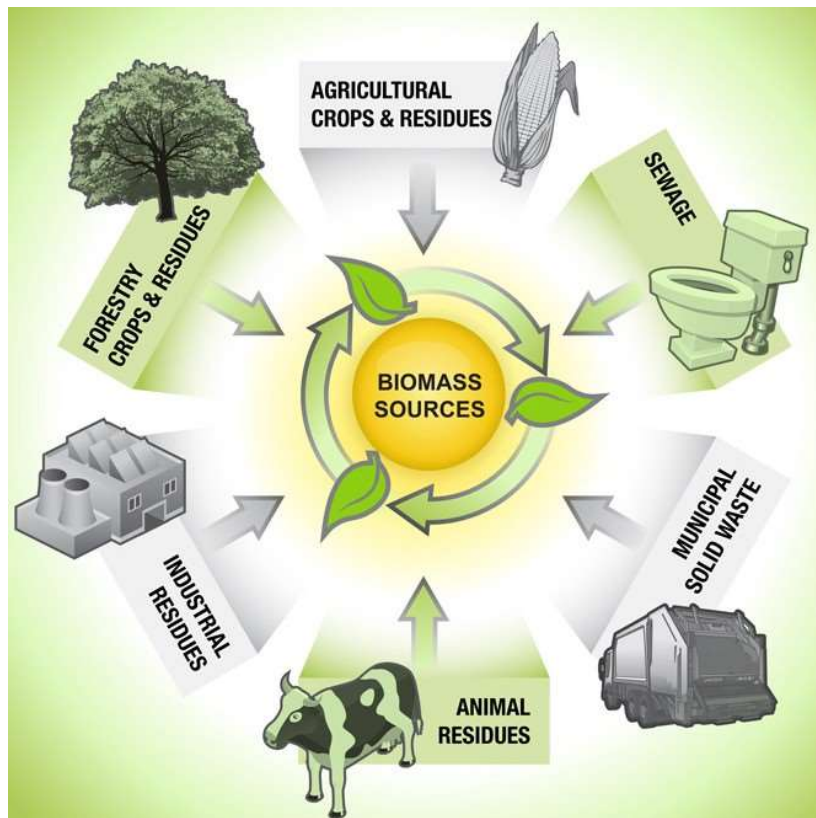
En una bioeconomia circular, els **residus orgànics** no es depositen en abocadors ni s'incineren. En lloc d'això, constitueixen un **recurs** per obtenir **biofertilitzants, bioproductes i biocombustibles**. Aquests poden substituir als productes d'origen fòssil, com fertilitzants minerals i combustibles fòssils. Un cop han estat utilitzats, els residus d'aquests bioproductes poden tornar de manera segura a la biosfera, tancant així els cicles del carboni i els nutrients.

<https://www.compostnetwork.info/policy/circular-economy/>

## BIOLOGICAL CYCLE IN THE CIRCULAR ECONOMY



# Fonts de biomassa



## Residus biodegradables



Fangs de depuradora



Purins i fems



Fracció orgànica de residus municipals (FORM)



Residus agroindustrials

# Tipus de biocombustibles

Segons:

la matèria orgànica:

- **Primera generació** (cultius energètics)
- **Segona generació** (residus lignocel·lulósics)
- **Tercera generació** (microalgues)

l'estat:

- **Sòlids** (biomassa)
- **Líquids** (bioetanol, biodièsel)
- **Gasosos** (**biogàs, biometà**, biohidrogen, syngas)

el procés de conversió:

- **Termoquímic** (combustió, piròlisi, gasificació)
- **Químic** (transesterificació)
- **Bioquímic** (**digestió anaeròbia**, fermentació)

# Tipus de biocombustibles

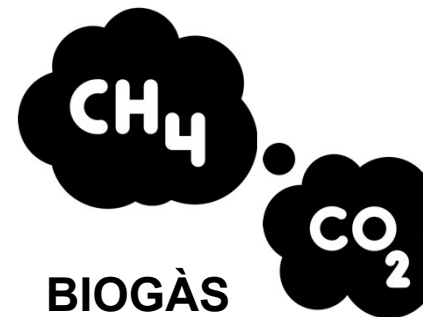
Procés	Productes	Ús	Matèria primera
<b>Digestió anaeròbia (DA)</b>	<b>Biogàs:</b> <b>CH<sub>4</sub> (55-70%)</b> <b>CO<sub>2</sub> (30-45%)</b> <b>H<sub>2</sub>S (traces)</b>	<b>Calor</b> <b>Electricitat</b> <b>Cuina</b>	<b>Subproductes i residus biodegradables (fems, purins, fracció orgànica de residus municipals, fangs de depuradora, residus agroindustrials, cultius energètics, microalgues, aigua residual industrial d'alta càrrega)</b>
<b>DA + purificació del biogàs</b>	<b>Biometà: CH<sub>4</sub> (&gt;90%)</b>	<b>Injecció a la xarxa de gas natural</b> <b>Biocombustible</b>	
Fermentació fosca	Biohidrogen (H <sub>2</sub> )	Biocombustible	Carbohidrats/sucres
Fermentació alcohòlica	Bioetanol	Biocombustible	Carbohidrats (midó, sucres), biomassa lignocel·lulòsica,...
Transesterificació	Biodièsel	Biocombustible	Olis, greixos, cultius oleaginosos (girasol, colza,...)

## 2. La digestió anaeròbia

# Digestió anaeròbia

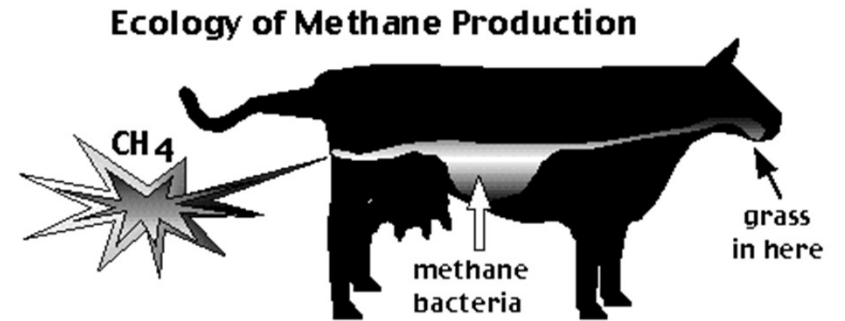
La **digestió anaeròbia (DA)** és el procés de descomposició microbiològica de la matèria orgànica en condicions anaeròbiques (en absència d'oxigen). Els seus productes finals són el **biogàs** i el **digestat**.

Matèria orgànica + microorganismes → **digestat** (matèria orgànica + microorganismes) + **biogàs** ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3 + \dots$ )

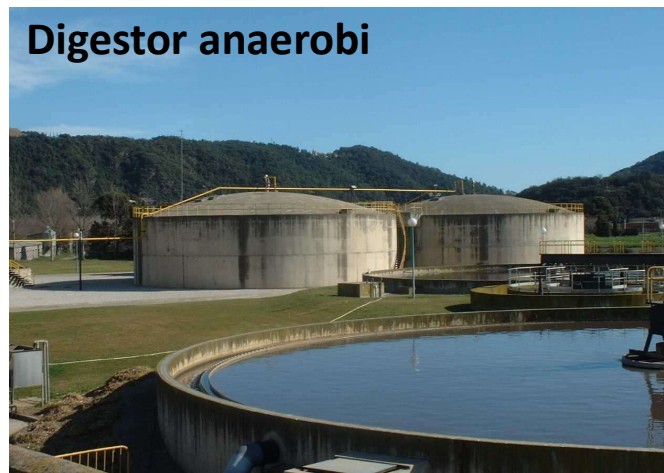


$$P_{\max} = 350 \text{ L}_{\text{CH}_4}/\text{kg DQO}_{\text{eliminada}}$$

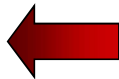
# Digestió anaeròbia



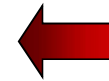
Biogàs (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S + NH<sub>3</sub> + ...)



Digestat

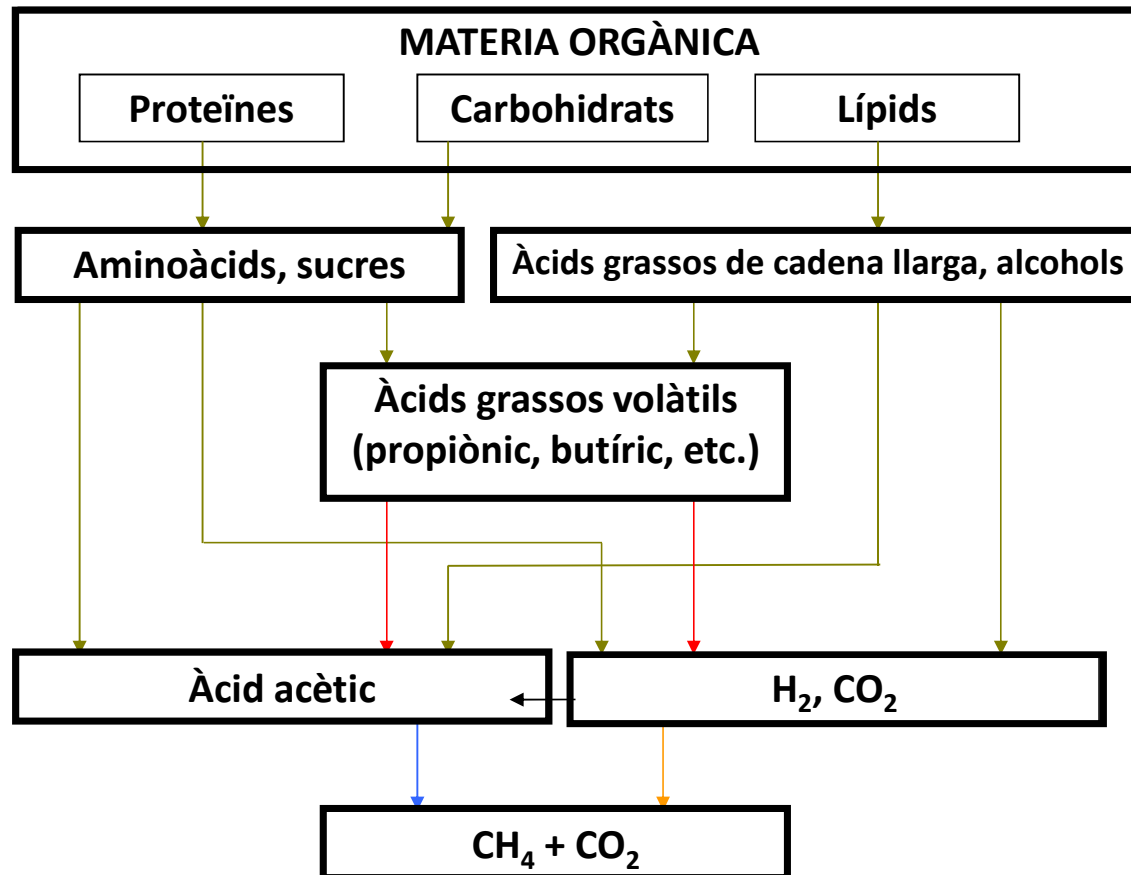


Substrat



# Digestió anaeròbia

ETAPES DEL PROCÉS:

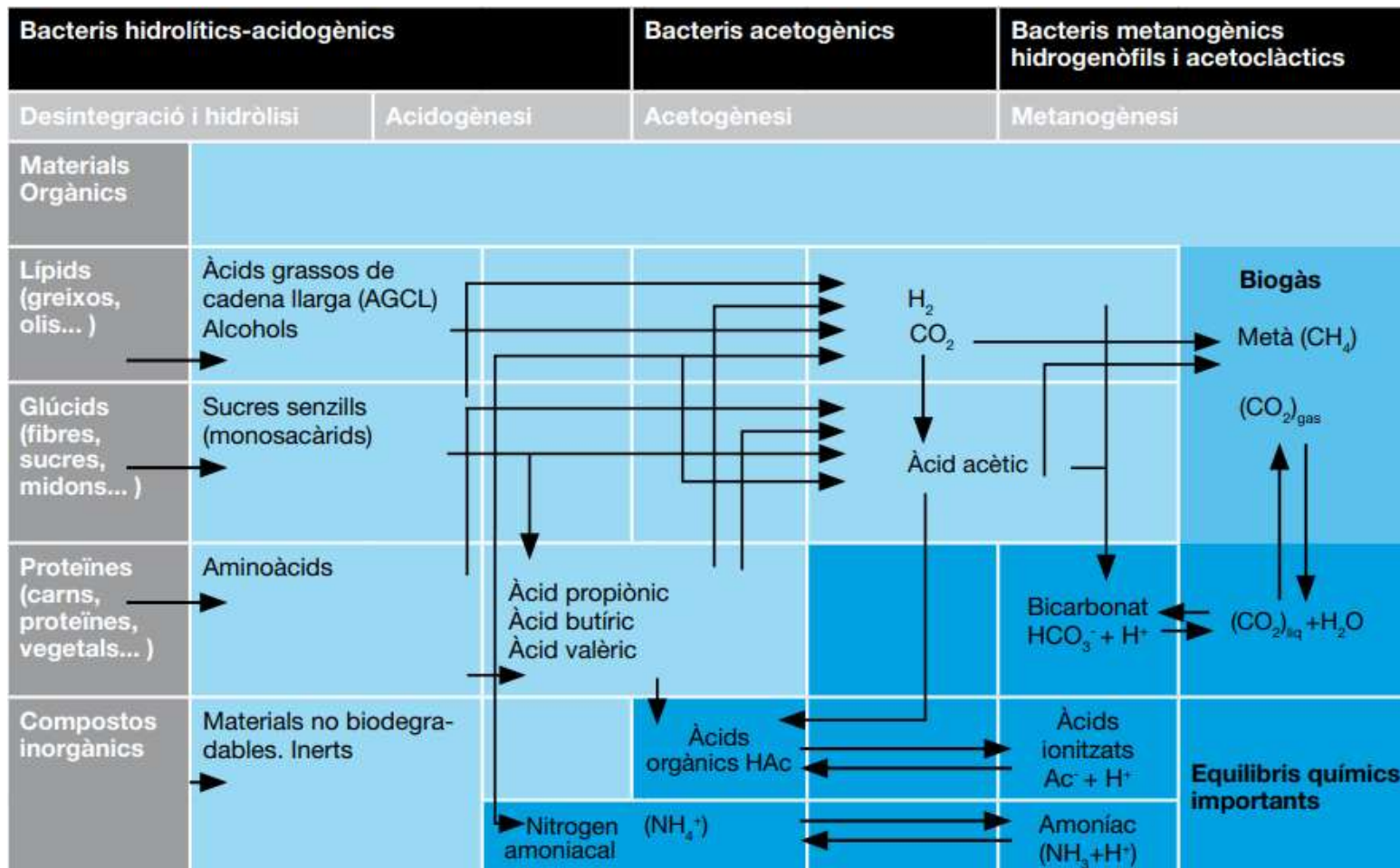


HIDRÒLISI

ACIDOGÈNESI

ACETOGÈNESI

METANOGÈNESI



Flotats, X. i Sarquella, L. (2008) ICAEN

### ETAPES LIMITANTS:

- **Desintegració i hidròlisi:** per a residus sòlids
- **Metanogènesi:** possible inhibició per amoníac lliure i àcids grassos de cadena curta (AGV) – formes no ionitzades

## PARÀMETRES OPERACIONALS:

Paràmetre	Valor òptim	Efecte/risc
pH	6.5-8	< acidificació del digestor
Alcalinitat	1.5-3 g CaCO <sub>3</sub> /L	< manca de capacitat tampó per regular el pH
Nutrients: C/N	~ 30 (15-45)	> (manca de N) redueix la velocitat de la reacció (creixement de la biomassa (C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> )) < (excés de N) pot causar inhibició (amoníac lliure)
Tòxics i inhibidors		Inhibició de la metanogènesi per amoníac lliure (NH <sub>3</sub> ), AGV no ionitzats, metalls pesats, entre d'altres
Temperatura	Ambient (psicròfila) 35-38 °C (mesòfila) 50-55°C (termòfila)	- Habitual en aigües residuals i digestors de baix cost, procés més lent (> TRH, > Volum) - El més habitual per a biomassa (residual), més estable - Afavoreix la higienització del digestat, procés més ràpid (< TRH, < Volum), més risc d'inhibició (NH <sub>3</sub> )
Temps de retenció hidràulic (TRH)	> 1 mes (psicròfila) 20-40 dies (mesòfila) 10-15 dies (termòfila)	<b>TRH = V<sub>útil</sub> / Q</b> On: <b>TRH</b> és el temps promig que roman el substrat al reactor (dies) <b>V<sub>útil</sub></b> és el volum útil del reactor (m <sup>3</sup> ) <b>Q</b> és el cabal tractat (m <sup>3</sup> /dia)
Velocitat de càrrega orgànica	Depèn de la composició del substrat	<b>VCO = Q × [MO]</b> On: <b>VCO</b> és la matèria orgànica alimentada (ex. kg DQO/dia) <b>[MO]</b> és la concentració del substrat (ex. kg DQO/m <sup>3</sup> ) <b>Q</b> és el cabal tractat (m <sup>3</sup> /dia)

## CONFIGURACIONS:

- Temperatura:
  - **Psicròfila:** temperatura ambient
  - **Mesòfila:** 35-38 °C
  - **Termòfila:** 50-55 °C
- Concentració de sòlids:
  - **DA via humida**
  - **DA via seca**
- Codigestió:
  - **Co-substrats:** fangs, fems, purins, FORM, etc.
- Pretractament:
  - **Biològic:** enzimàtic
  - **Físic:** tèrmic, mecànic (sonicació, microones, etc.)
  - **Químic:** NaOH, ozó
  - **Combinació:** termoquímic

## CONFIGURACIONS:

### Temperatura

### Exemple: Depuradores de Sant Feliu de Llobregat i Moscú



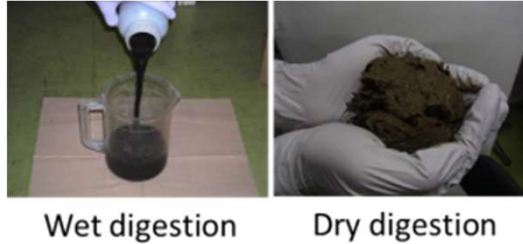
EDAR de Sant Feliu (300.000 PE)  
2 digestors mesofílics  
(5.000 m<sup>3</sup>; 37°C; TRH ~ 30-40 dies)  
Cogeneració amb biogàs  
(40% de l'electricitat consumida)



EDAR de Moscú (12 M PE)  
18 digestors termofílics  
(5.000 m<sup>3</sup>; 55°C; TRH ~ 7-10 dies)  
Cogeneració amb biogàs

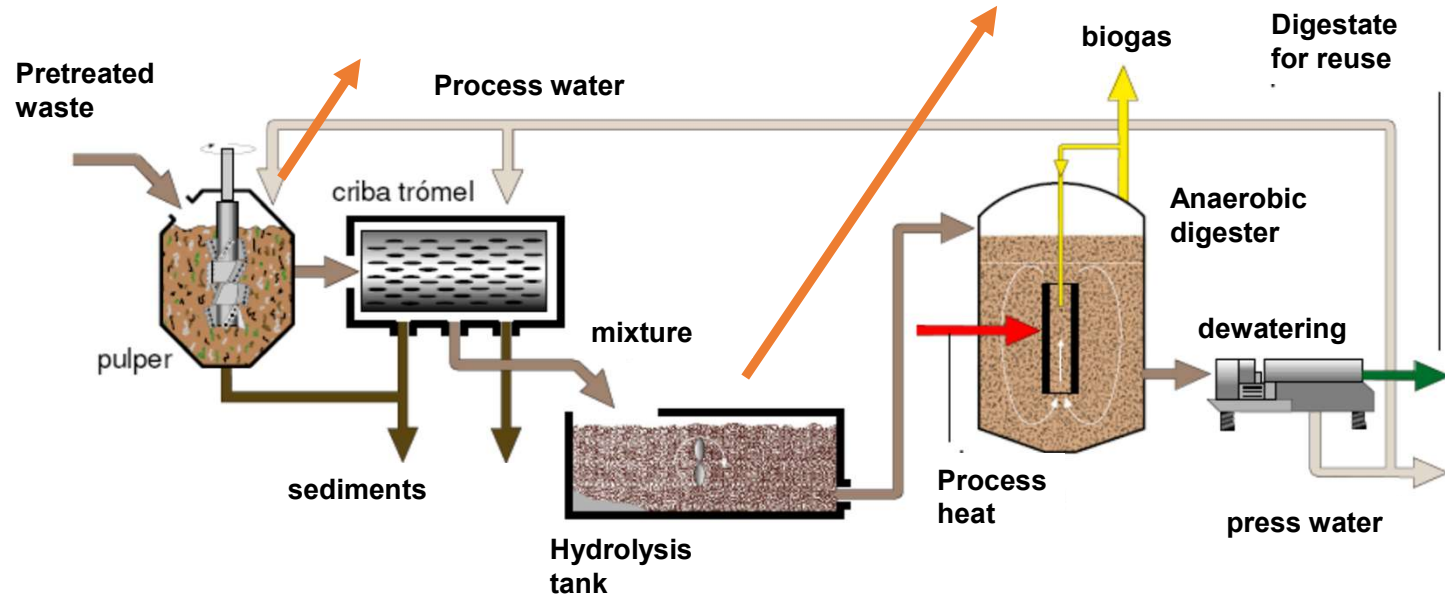
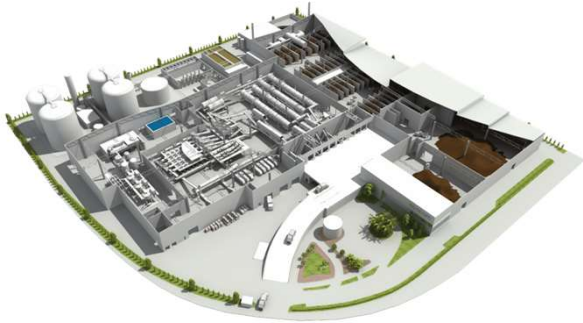
## CONFIGURACIONS:

### Concentració de sòlids

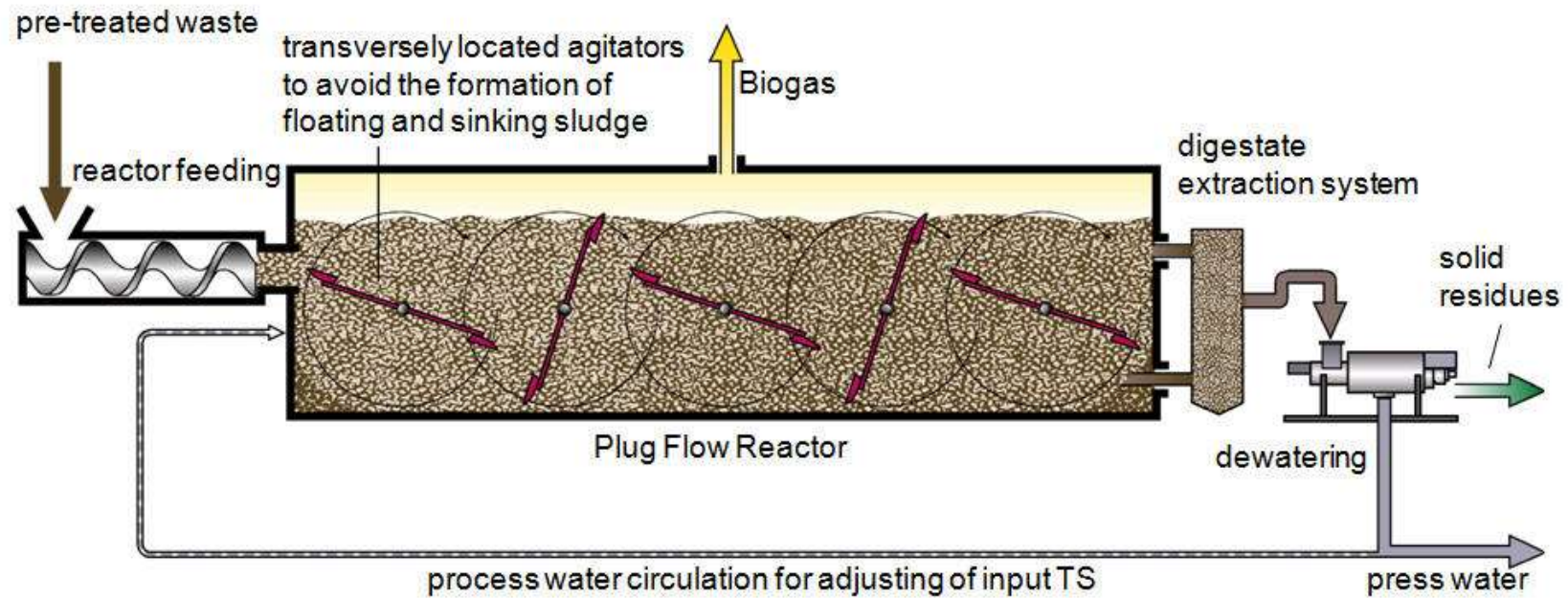


- DA via humida
  - concentració de sòlids < 10%
  - habitual per residus líquids, alternativament cal diluir el substrat
  - cal deshidratació del digestat
  - reactors de mescla completa
  - el més utilitzat
  
- DA via seca
  - concentració de sòlids > 15-20% (25-35%)
  - no cal aigua per diluir el substrat
  - reactors de menys volum
  - producció volumètrica de biogàs més elevada
  - més complex...

## Exemple: Ecoparc de Barcelona - DA via humida



## Exemple: Planta de metanització de Can Barba (Terrassa) – DA via seca



## CONFIGURACIONS:

### Codigestió

DA simultània de diferents residus complementaris.

#### **Beneficis:**

- Millora la composició del substrat (C/N = 30)
- Millora l'activitat microbiana, i la velocitat del procés (eliminació de matèria orgànica i producció de biogàs)
- Increment de la velocitat de càrrega orgànica (VCO)
- Dilució de tòxics i inhibidors
- Millora les propietats reològiques del substrat (viscositat, etc.)
- Permet una gestió centralitzada dels residus (economia d'escala) – REQUEREIX TRANSPORT

## CONFIGURACIONS:

### Codigestió



Fangs de depuradora

Baixa concentració de sòlids, C/N baix



FORM

Materials impropis, partícules grans



Fems i purins

Baixa concentració de sòlids, alt contingut en N (C/N baix)



Biomassa lignocel·lulósica

Baixa biodegradabilitat, poc N (C/N alt), poca aigua, estacionalitat



Efluent agroindustrial

Gran variabilitat, estacionalitat?



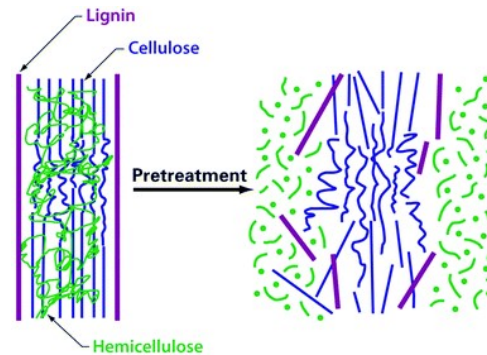
Residus d'escorxadors

Alt contingut en nitrogen ammoniacal i greixos

## CONFIGURACIONS:

### Pretractaments

- Objectiu:
- **Disminució del tamany de partícula** per incrementar la superfície específica
  - **Solubilització** de matèria orgànica particulada (% DQO o SV)
  - **Millora de la biodegradabilitat anaeròbia** a nivell de cinètica de la biodegradació i bioaccessibilitat



## CONFIGURACIONS:

### Pretractaments

FÍSICS Tèrmics	Mecànics	QUÍMICS	BIOLÒGICS	COMBINACIÓ
Baixa temperatura (pasteurització)	Ultrasons	Oxidació	Enzimàtic	Termoquímic
Alta temperatura	Microones	Alcalí		
Hidròlisi tèrmica ( <i>steam explosion</i> )	Alta pressió	Àcid		

## Exemple: Pretractament de fangs a alta temperatura



# HIDRÓLISIS TÉRMICA

La hidrólisis térmica es el pre-tratamiento que supera la principal limitación de los procesos de digestión anaerobia: **la etapa de hidrólisis**. Como resultado, la materia orgánica es más biodegradable y genera una mayor cantidad de biogás.

Al mismo tiempo, reduce el volumen de lodos y el coste asociado a su gestión. El biosólido resultante es de alta calidad y puede ser utilizado como fertilizante en la agricultura.

El material hidrolizado permite doblar la carga orgánica a los digestores anaerobios, eliminando cuellos de botella en plantas ya instaladas y ahorrando inversiones innecesarias.

**VER MÁS**



**35%**  
más biogás



**50%**  
menos biosólidos

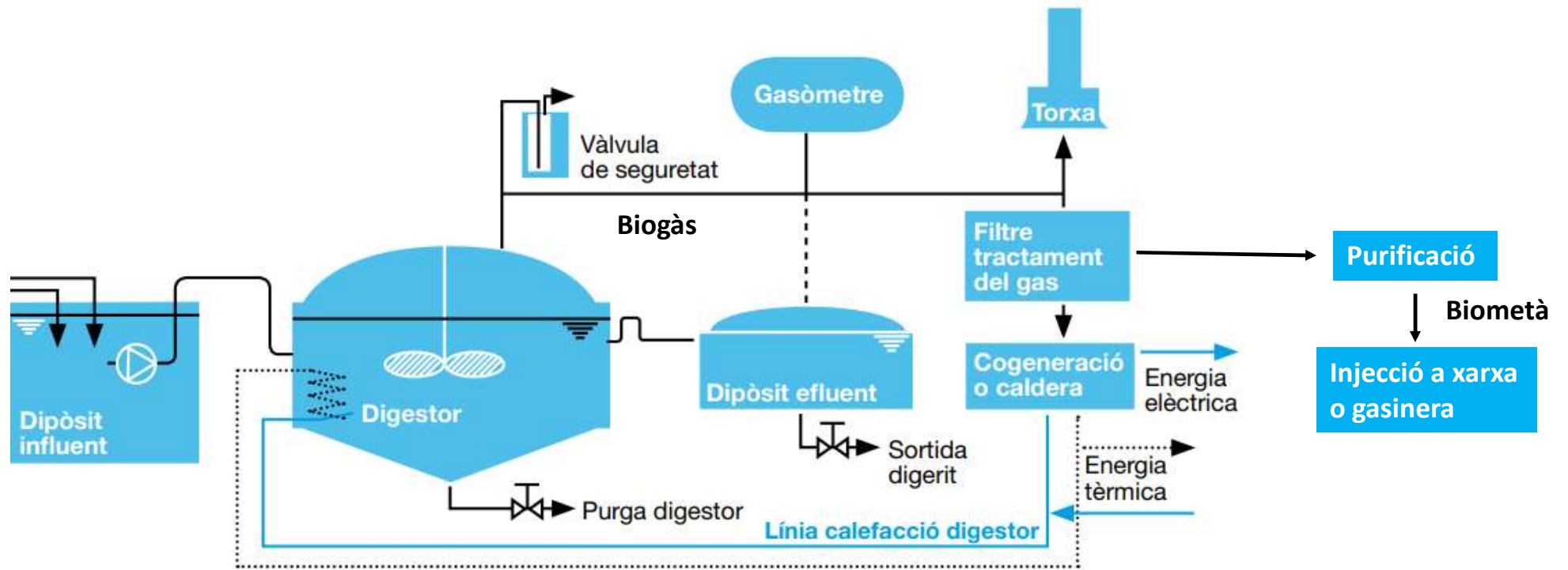


**Biosólido  
higienizado**



**x2**  
Duplica la carga a los  
digestores

# Plantes de biogàs



*Adaptat de Flotats, X. i Sarquella, L. (2008) ICAEN*

Exemple: Depuradora de Lleida



# Digestors anaerobis

**Bioreactor:** Tanc on tenen lloc reaccions bioquímiques sota condicions controlades.

## Característiques:

- Condicions anòxiques (sense oxigen)
- Sistema d'agitació → segons el tipus de reactor
- Control de la temperatura → depenent de la població bacteriana (ambient, ~ 37°C, ~ 55°C)
- Inlet (punt d'alimentació) / Outlet (punt de descàrrega)
- Temps de retenció hidràulic (TRH) / Temps de retenció cel·lular (TRC)
- Velocitat de càrrega orgànica (VCO)

# Digestors anaerobis

## Paràmetres clau:

### Tipus d'alimentació:

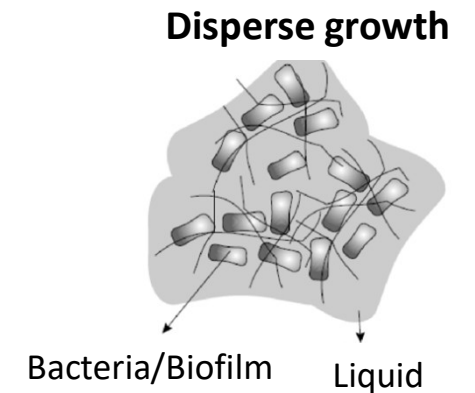
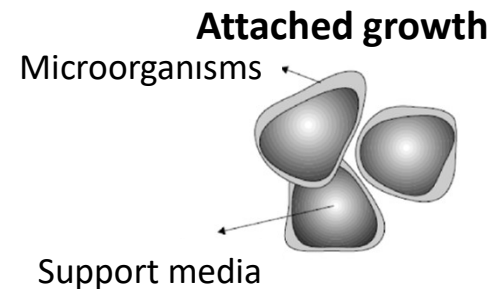
- Discontínu
- Semi-contínu
- Continu

### Flux:

- Mescla completa
- Flux pistó

### Biomassa:

- Suspesa (floculada o granulada)
- Adherida (biopel·lícula)



# Llacuna anaeròbia

- S'utilitza per a residus d'alta càrrega, fems/purins i aigües residuals
- Basses d'emmagatzematge de residus cobertes
- Requereix de superfície (zones rurals)
- Tecnologia de baix cost

## Característiques:

- Flux discontinu
- Sense agitació
- Sense control de temperatura



*Meat processing anaerobic pond, Australia*

# Digestor de mescla completa (CSTR)

- CSTR: Continuous Stirred Tank Reactor
- El més utilitzat pel tractament de residus (fangs de depuradora, FORM, fems/purins i residus agroindustrials)
- El biogàs es recull per la part superior. El digestat es deshidrata per separar la fracció líquida (amb alta càrrega de nutrients) i sòlida (biofertilitzant)



*Chicken manure, France*



*Food waste, UK*



*Sewage Sludge, Brazil*

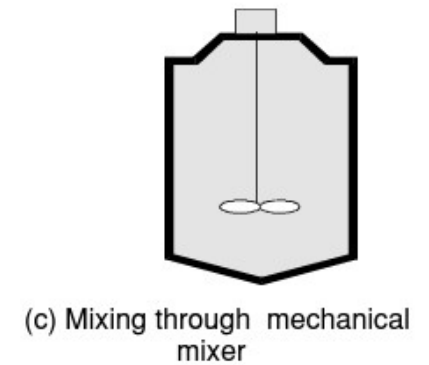
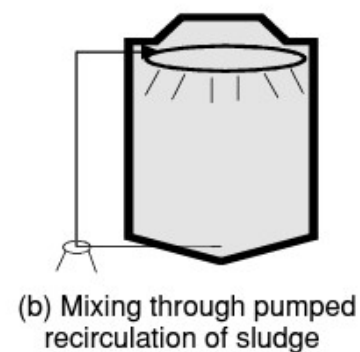
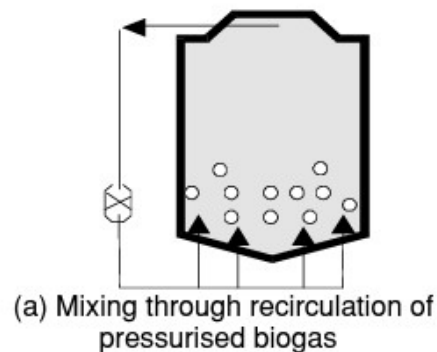
# Digestor de mescla completa (CSTR)

## Característiques:

- Flux semi-continu
- Mescla completa → Agitació
- Biomassa suspesa (floculada)
- Control de temperatura (generalment)
- DA via humida → Substrats “líquids”

## Sistemes d'agitació:

- Recirculació de biogàs (a pressió)
- Recirculació del digestat
- Mecànica

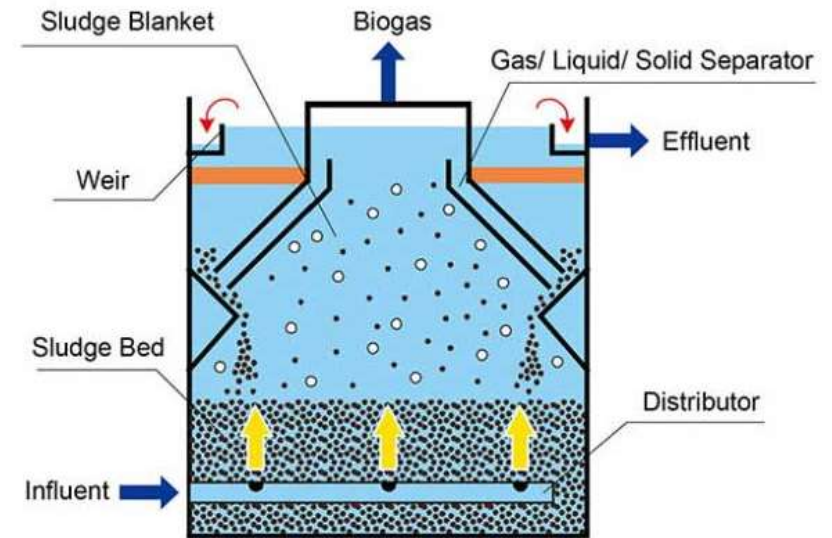


# Reactors UASB

- UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket
- “gas-líquid-solid separator” que reté la biomassa, deixa escapar el biogàs per la part superior, i l’efluent per la perifèria
- S’utilitza per a aigües residuals domèstiques i industrials (alta càrrega)

## Característiques:

- Flux continu
- Biomassa suspesa (granulada)
- Temperatura ambient (generalment)



### 3. Situació a Catalunya

# Situació a Catalunya

L'any 2023 hi havia 72 plantes de biogàs.

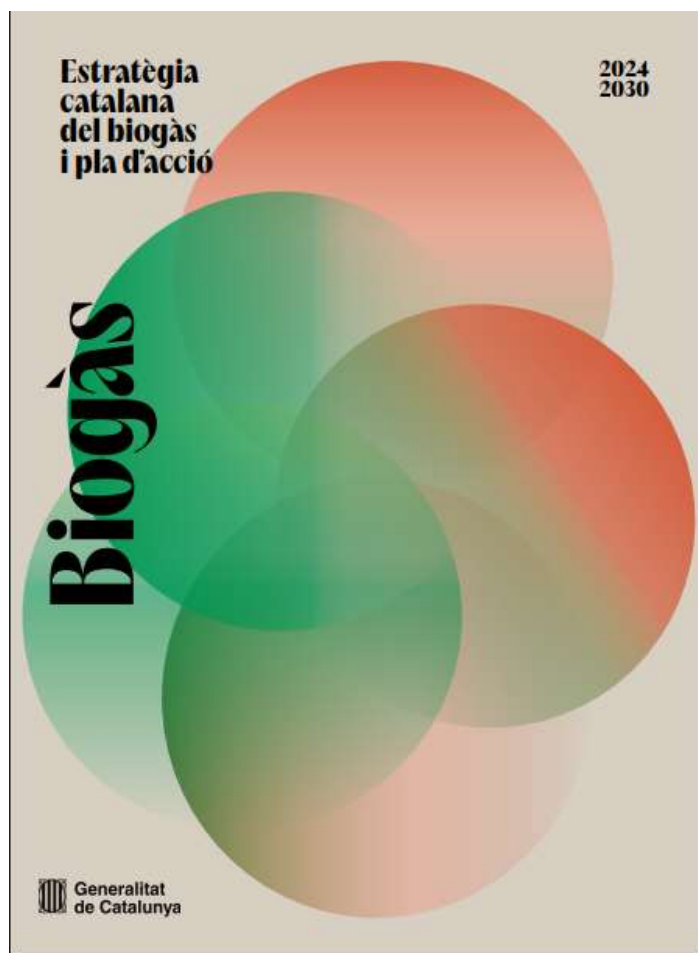
L'any 2019 la producció de biogàs va ser de 577 GWh, dels quals 438 GWh es van destinar a la producció d'energia elèctrica.

L'any 2021 es va iniciar la injecció de biometà a la xarxa de gas natural (1,7 GWh) i va incrementar l'any 2022 (17,7 GWh).

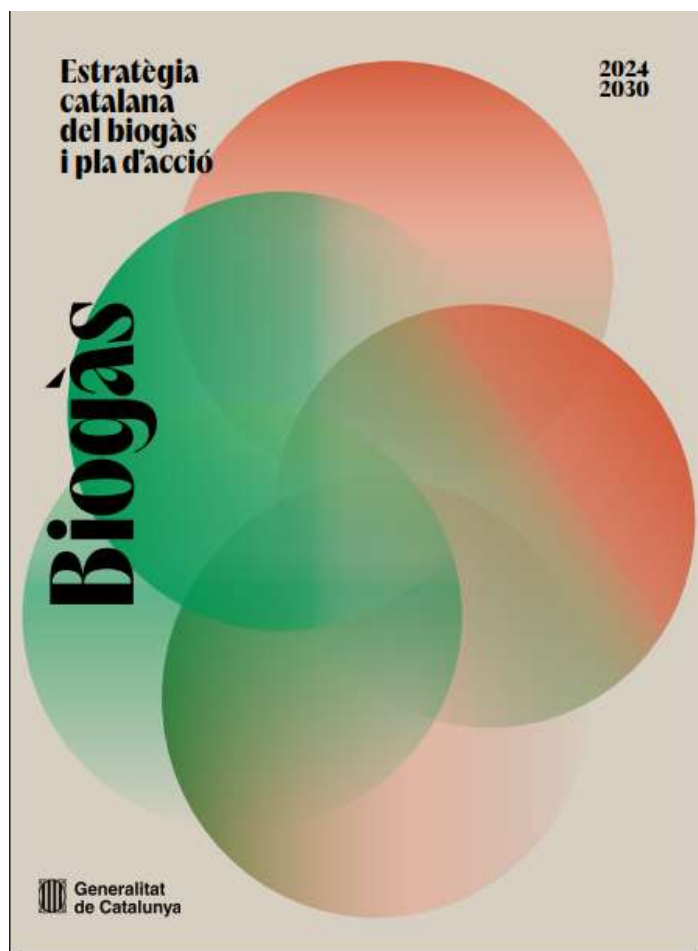
Fonts d'obtenció del biogàs	Nombre de plantes en funcionament (juny 2023)
Dejeccions ramaderes	4
Codigestió amb dejeccions ramaderes	16
Residus orgànics municipals	7
Residus orgànics industrials	5
Dipòsits controlats de residus	10
Fangs d'EDARs urbanes	30
<b>TOTAL</b>	<b>72</b>

*Sarquella et al. (2024) ICAEN*

# Situació a Catalunya



# Situació a Catalunya



## Objectius:

En l'horitzó 2030 pretén assolir els objectius quantitatius de gestionar per a la producció de biogàs **8,5 milions de tones de materials orgànics**, tres vegades més que en l'actualitat, multiplicar per 3,3 la producció d'energia primària del biogàs, fins a **2 TWh l'any**, i reduir en més de 350.000 tones de CO<sub>2</sub> equivalent les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

# Situació a Catalunya

## Objectiu general:

La **gestió sostenible del digestat** que s'obté de la digestió anaeròbia dels materials i residus orgànics produïts a Catalunya i la seva valorització mitjançant **l'obtenció de productes de valor afegit**, en el marc de l'Estratègia catalana del biogàs 2024-2030 i de l'Estratègia de la bioeconomia de Catalunya 2030.



# Estratègia Catalana del Digestat

## Característiques dels materials orgànics abans i després de ser digerits

<b>Característiques dels materials abans de la digestió</b>	<b>Característiques del material digestat</b>
Poc estables	Més estables
Heterogeneïtat en la seva composició	Composició física i química més homogènia
Presència de patògens i llavors de males herbes	Reducció de patògens i llavors de males herbes
Alt contingut en nitrogen orgànic	Alt contingut en nitrogen amoniacal (més volàtil)

# Estratègia Catalana del Digestat

## Principals usos del digestat:

### **1. Aplicació del digestat directament a camp**

Les propietats físiques i químiques del digestat promouen fortament el seu **ús en l'agricultura**. El contingut de **matèria orgànica** relativament alt, un pH lleugerament àcid i una **abundància de NPK** són només alguns dels paràmetres que donen suport a l'aplicació del digestat com a fertilitzant. El digestat conté a més diversos **compostos bioactius com ara aminoàcids lliures, vitamines, àcid húmic i àcid fúlvic**, que poden promoure el creixement de les plantes.

### **2. Ús del digestat per obtenir productes de valor agronòmic**

El digestat es pot tractar per **obtenir materials o productes amb diferents finalitats agronòmiques**. D'entre aquestes se'n pot destacar el **compost** de les fraccions sòlides. També es poden obtenir biofertilitzants a partir de l'extracció i recuperació de nutrients, com per exemple el **sulfat amònic o les estruvites**, de la fracció líquida. A més, també es pot recuperar una **aigua** que pot tenir diferents usos, entre ells la irrigació o la fertirrigació en funció de les característiques de l'aigua obtinguda.

## 4. Biorefineries

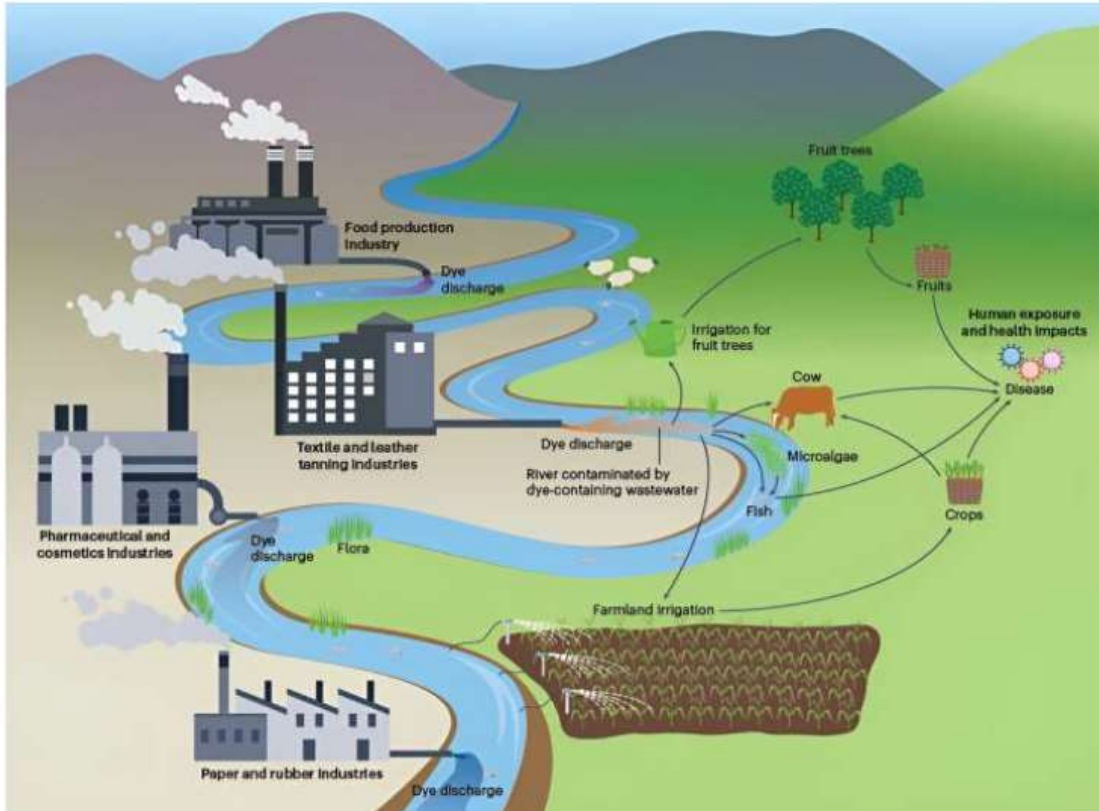
# Biorefineria

El concepte de **biorefineria** fa referència al processat sostenible de la biomassa i la seva conversió en productes de valor, com **bioenergia** (biocombustibles, calor) i **bioproductes** (productes químics sostenibles, aliments).

L'objectiu és optimitzar l'aprofitament de la biomassa i el valor d'aquesta matèria prima.

Per exemple, permet obtenir un o varis bioproductes d'alt valor i poc volum, juntament amb biocombustibles de menys valor i alt volum.

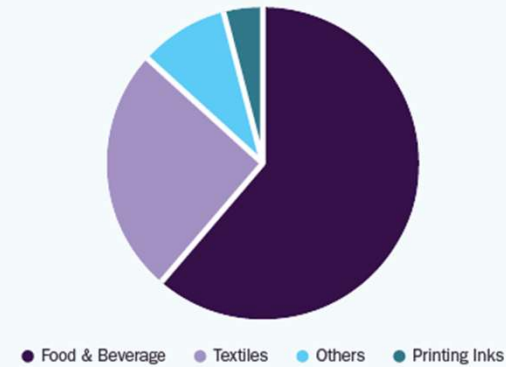
## Exemple: Producció de tints naturals i biogàs a partir de diferents tipus de biomassa



Source of dye containing wastewater. Credit: University of Bath

### Europe Natural Dyes & Pigments Market

share, by dyes application, 2020 (%)



GRAND VIEW RESEARCH

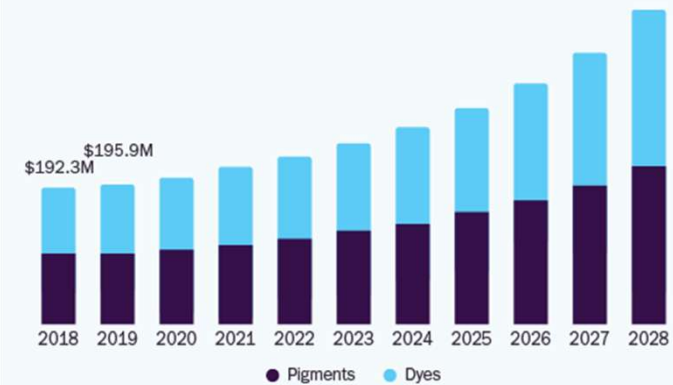
**\$1.0B**

Europe Market Size, 2020

Source: [www.grandviewresearch.com](http://www.grandviewresearch.com)

### Germany Natural Dyes And Pigments Market

size, by product, 2018 - 2028 (USD Million)

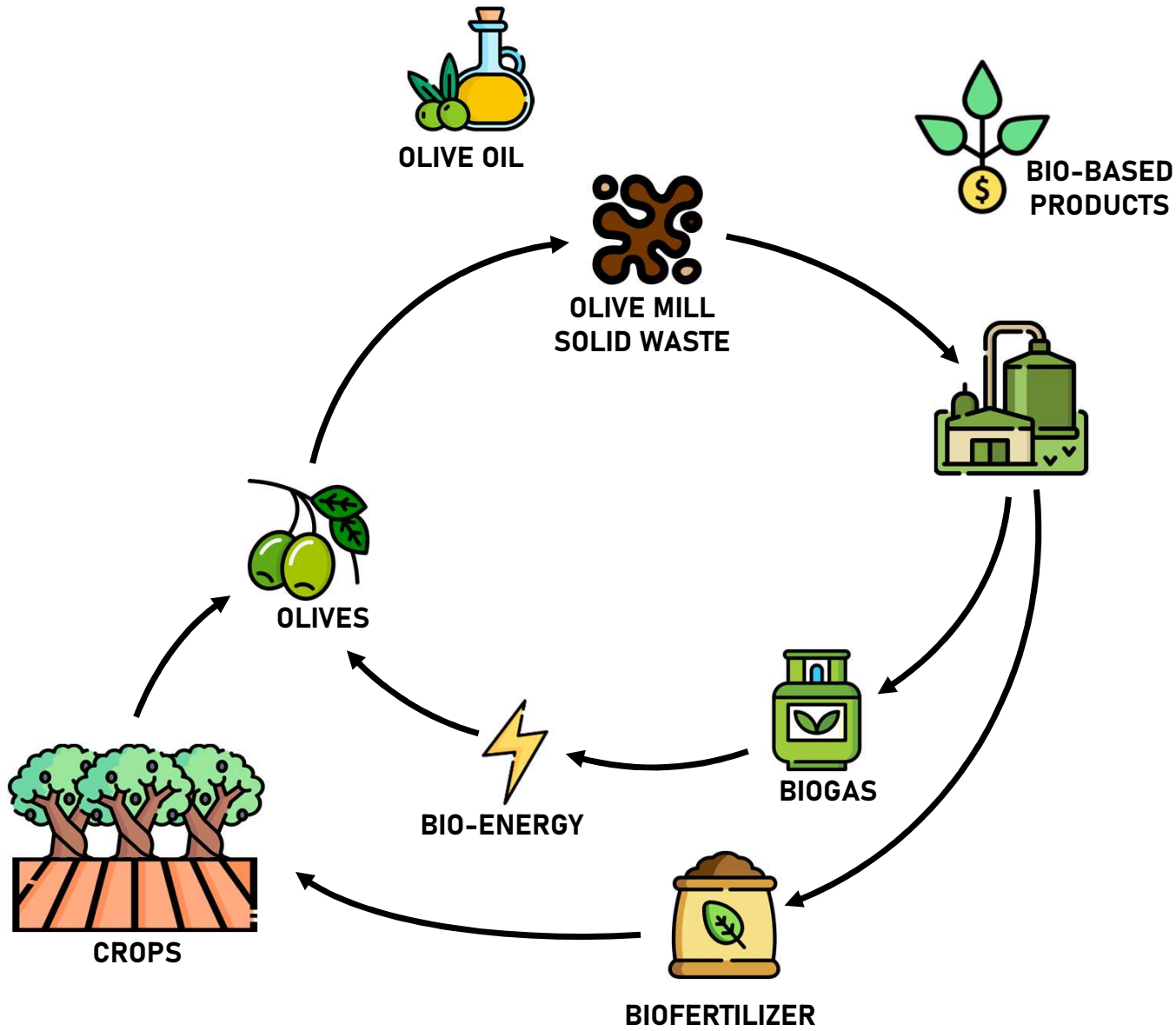


GRAND VIEW RESEARCH

**10.5%**

Germany Market CAGR, 2021 - 2028

Source: [www.grandviewresearch.com](http://www.grandviewresearch.com)



## Cas 1: Biorefineria de l'oli d'oliva

Projecte:

4BIOLIVE

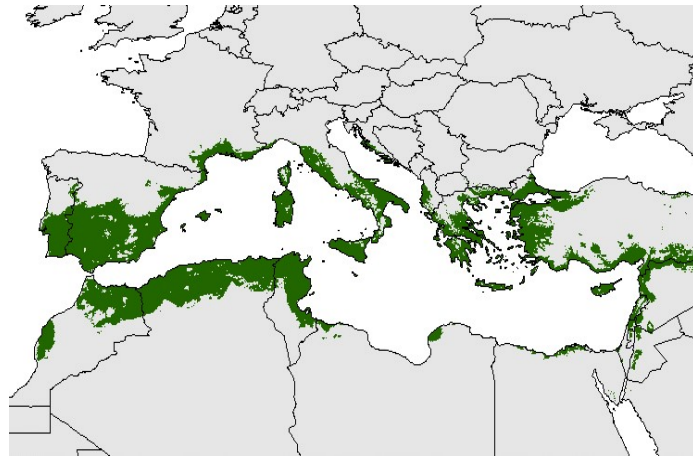


[www.4biolive.eu](http://www.4biolive.eu)



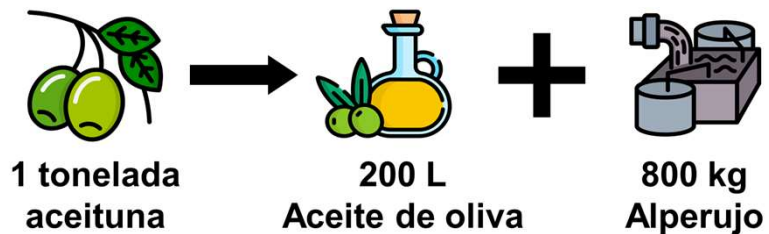
## Cas 1: Biorefineria de l'oli d'oliva

**Cada any es generen més de 10 M de tones de sansa**



**Líder mundial de producció d'oli d'oliva**

**Material altament contaminant**



**OBJECTIUS**

- 1) Avaluar la digestió anaeròbia com una alternativa sostenible pel tractament de la sansa.
- 2) Avaluar la recuperació de tints tèxtils com una etapa prèvia a la digestió anaeròbia (Biorefineria).

## Cas 1: Biorefineria de l'oli d'oliva

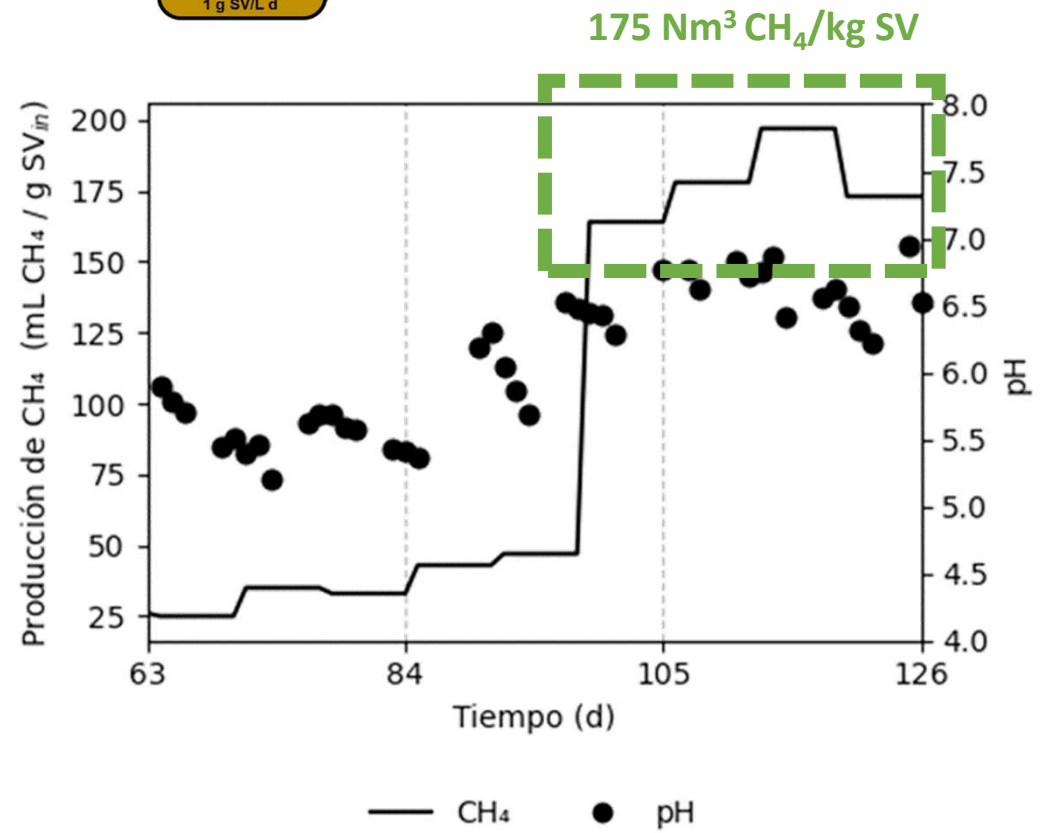
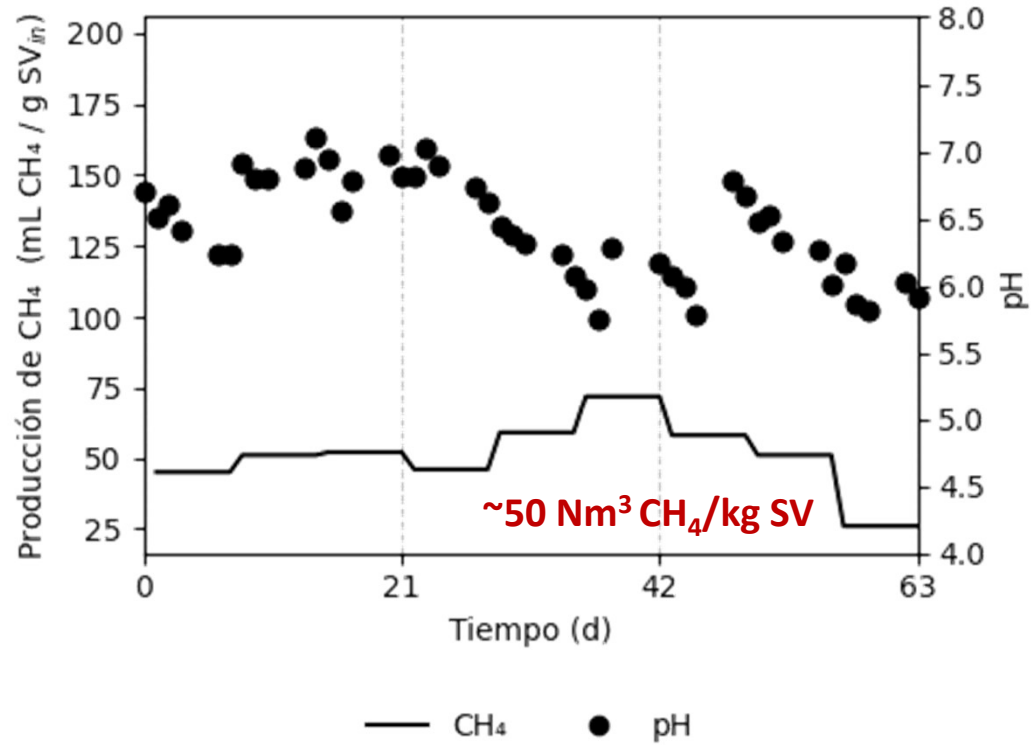
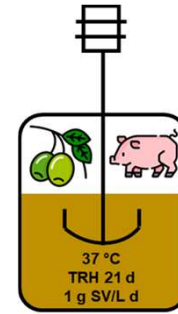
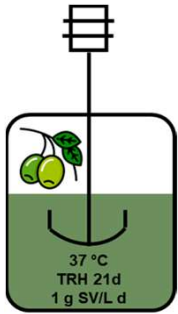


Paràmetre	Sansa		
pH	4.6	→	× Residu àcid
Alcalinitat [g CaCO <sub>3</sub> /kg]	n/d	→	× Manca d'alcalinitat
Sòlids totals [g/kg]	253		
Sòlids volàtils [g/kg]	237		
DQO <sub>t</sub> [g O <sub>2</sub> /kg]	351		
DQO <sub>s</sub> [g O <sub>2</sub> /kg]	135		
C/N	34.6	→	× Rati carboni/nitrogen elevat
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [g/kg]	148		
Fenols totals [g /kg]	10.2	→	× Alta concentració de potencials inhibidors de la digestió anaeròbia
Fenols solubles [g /kg]	4.8		

## Cas 1: Biorefineria de l'oli d'oliva



Paràmetre	Sansa	Purins	
pH	4.6	6.3	
Alcalinitat [g CaCO <sub>3</sub> /kg]	n/d	25.79	→ ✓ Alcalinitat
Sòlids totals [g/kg]	253	374	
Sòlidos volàtils [g/kg]	237	218	
DQO <sub>t</sub> [g O <sub>2</sub> /kg]	351	264	
DQO <sub>s</sub> [g O <sub>2</sub> /kg]	135	52	
C/N	34.6	16.9	→ ✓ Nitrogen
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [g/kg]	148	833	
Fenols totals [g /kg]	10.2	n/d	
Fenols solubles [g /kg]	4.8	n/d	→ ✓ Dilució de compostos tòxics



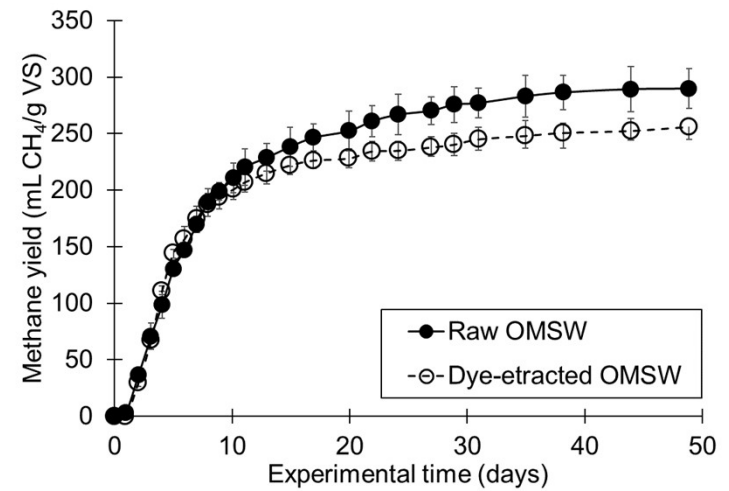
## Cas 1: Biorefineria de l'oli d'oliva



### Tinció de llana amb diferents concentracions de sansa



### Digestió anaeròbia de la sansa amb i sense extracció de tints

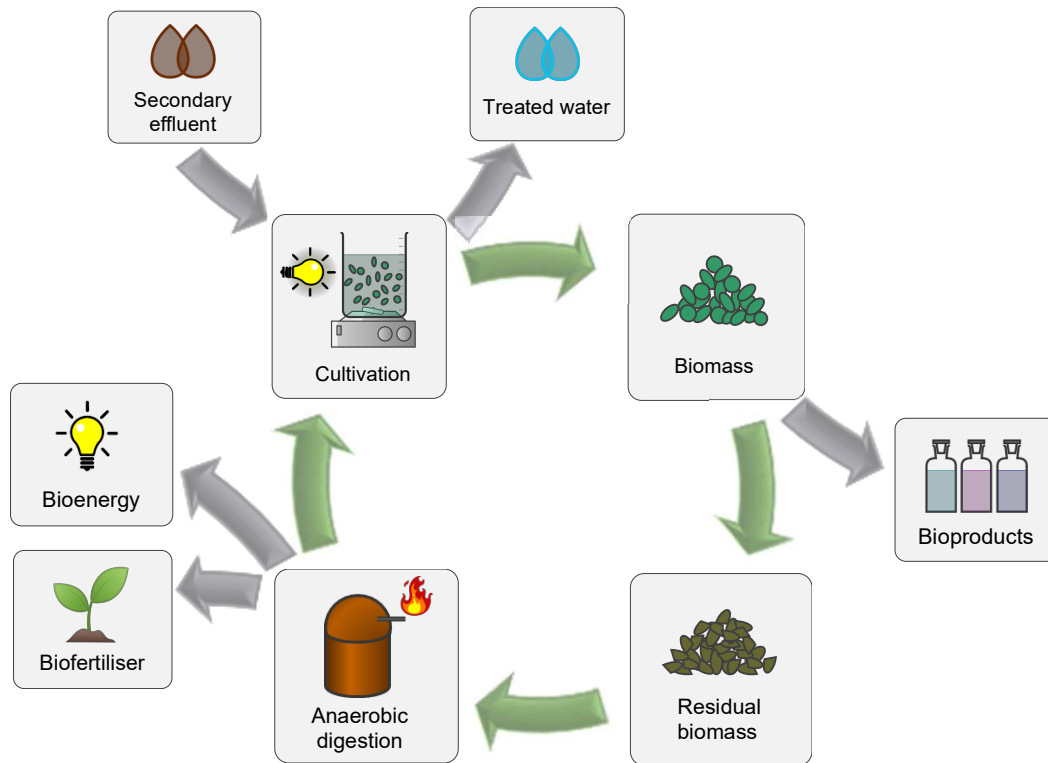


## Cas 2: Biorefineria de l'oli d'oliva

- ✓ Tinció de llana amb el tint natural
- ✓ Producció de biogàs (90% amb l'extracció del tint)
- ✓ Interès econòmic - ambiental

**Transformem un “residu orgànic” que té un cost de tractament (ECONOMIA LINEAL),  
en una matèria prima per obtenir productes de valor (BIOECONOMIA CIRCULAR).**

## Cas 2: Biorefineria de microalgues



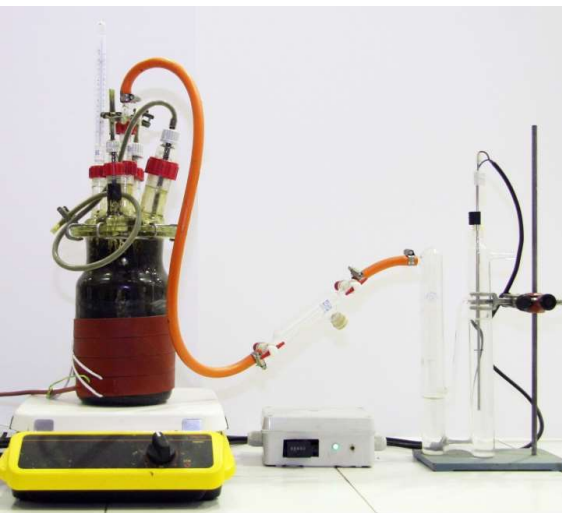
Proyecto: **PhotoBio+**



El **Grup d'Enginyeria i Microbiologia del Medi Ambient (GEMMA-UPC)** es dedica a la investigació interdisciplinària, la innovació, la transferència de coneixement i la cooperació al desenvolupament en el camp de l'**enginyeria ambiental**.

L'activitat del grup se centra en la biotecnologia ambiental, el tractament i la reutilització de l'aigua i la biomassa, i la recuperació de recursos en forma de **bioproductes i bioenergia**, en el marc de la **bioeconomia circular**.

L'objectiu és contribuir al desenvolupament sostenible mitjançant la recerca fonamental i aplicada, i la innovació en el camp de l'**aigua i l'energia**. Per això, també avalua la **sostenibilitat** dels productes i processos mitjançant l'**anàlisi de cicle de vida ambiental i social**.



Follow us on



[gemma.upc.edu](http://gemma.upc.edu)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Grup d'Enginyeria i Microbiologia  
del Medi Ambient

POSTGRAU EN

# DISSENY, IMPLEMENTACIÓ I OPERACIÓ DE PLANTES DE BIOGÀS I BIOMETÀ

*Forma't per liderar la transició cap a un model energètic renovable, circular i sostenible.*

<https://upcschool.upc.edu/cat/estudis/formacio/curs/318600/disseny-implementacio-operacio-plantas-biogas-biometeta/>

Organitza:



amb la col·laboració de:



amb el suport de:



## Cicle de conferències de **Bioenergia i Biomaterials**

*Abril-juny 2026*

# Moltes gràcies!

**Ivet Ferrer i Martí**

Universitat Politècnica de Catalunya

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

GEMMA – Grup d'Enginyeria i Microbiologia del Medi Ambient

[ivet.ferrer@upc.edu](mailto:ivet.ferrer@upc.edu)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Grup d'Enginyeria i Microbiologia  
del Medi Ambient