



Els gasos renovables. Una eina massa sovint oblidada del sistema energètic

Xavier Flotats

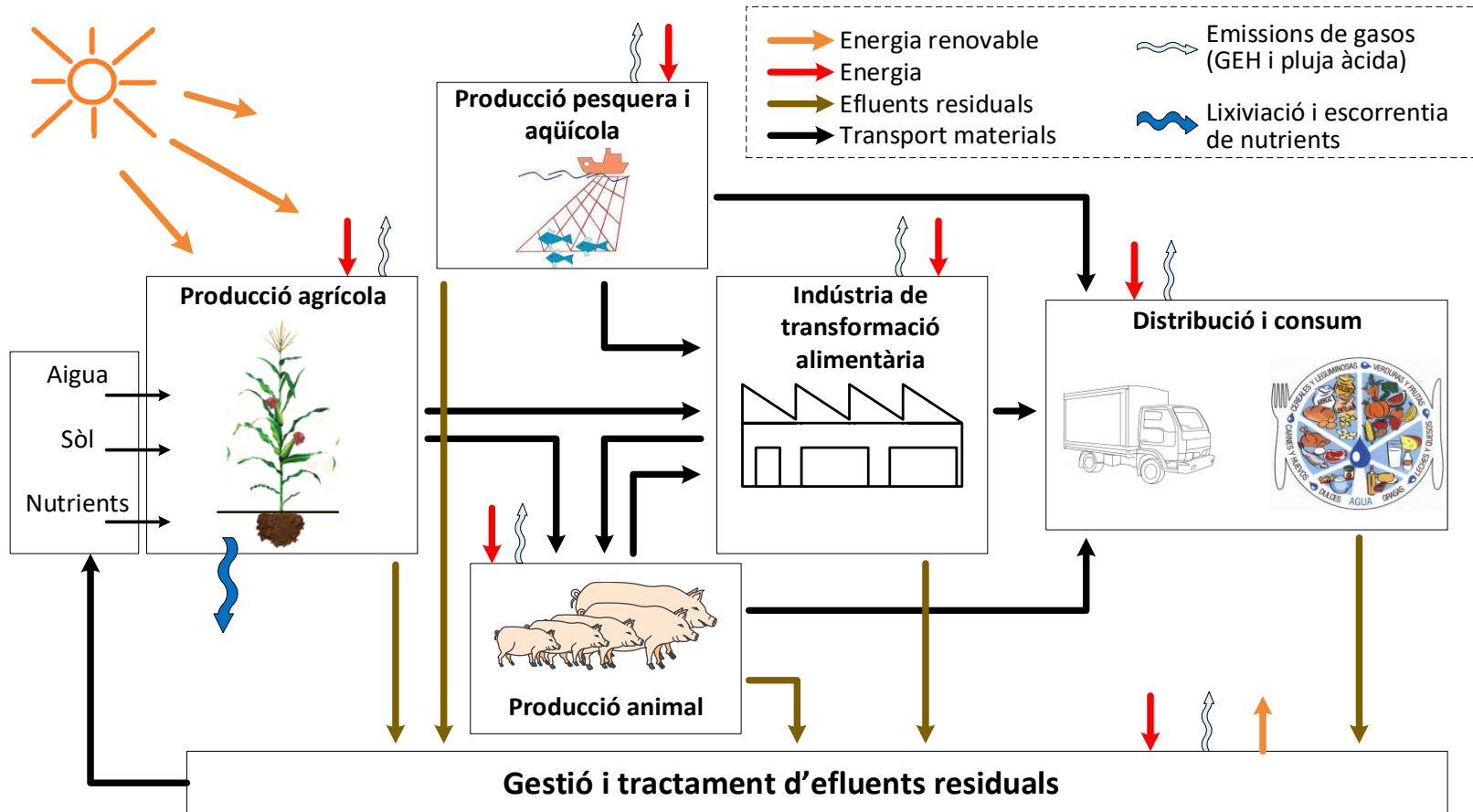
<https://futur.upc.edu/XavierFlotatsRipoll>

L'energia de la biomassa procedeix de l'energia solar. Tot el complex agroalimentari en depèn

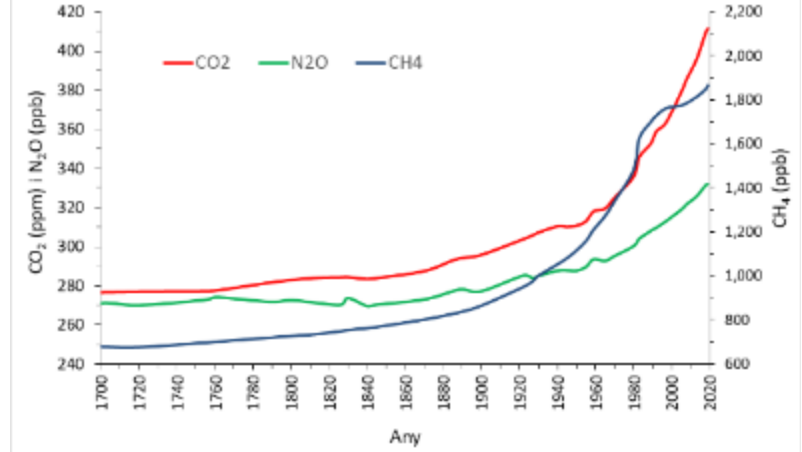
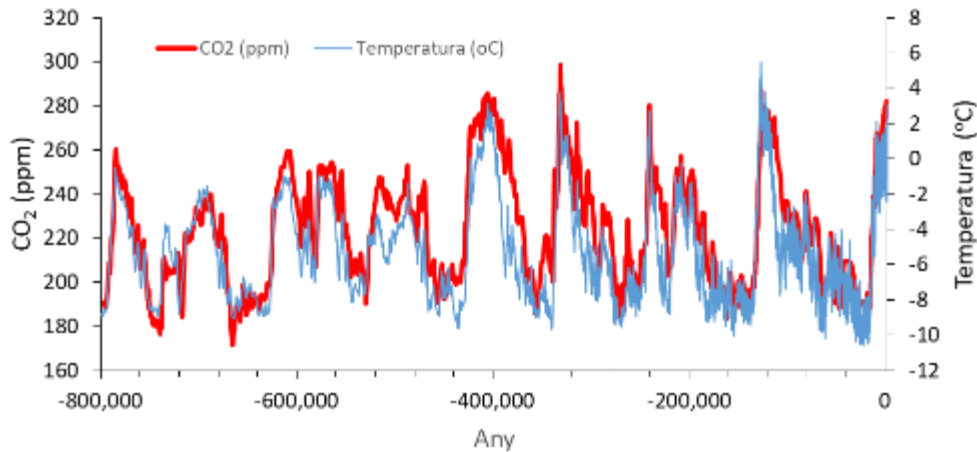
Fotosíntesi: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{llum} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (glucosa)} + 6\text{O}_2$

Descomposició aeròbia: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{calor baixa temp.}$

Descomposició anaeròbia: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$

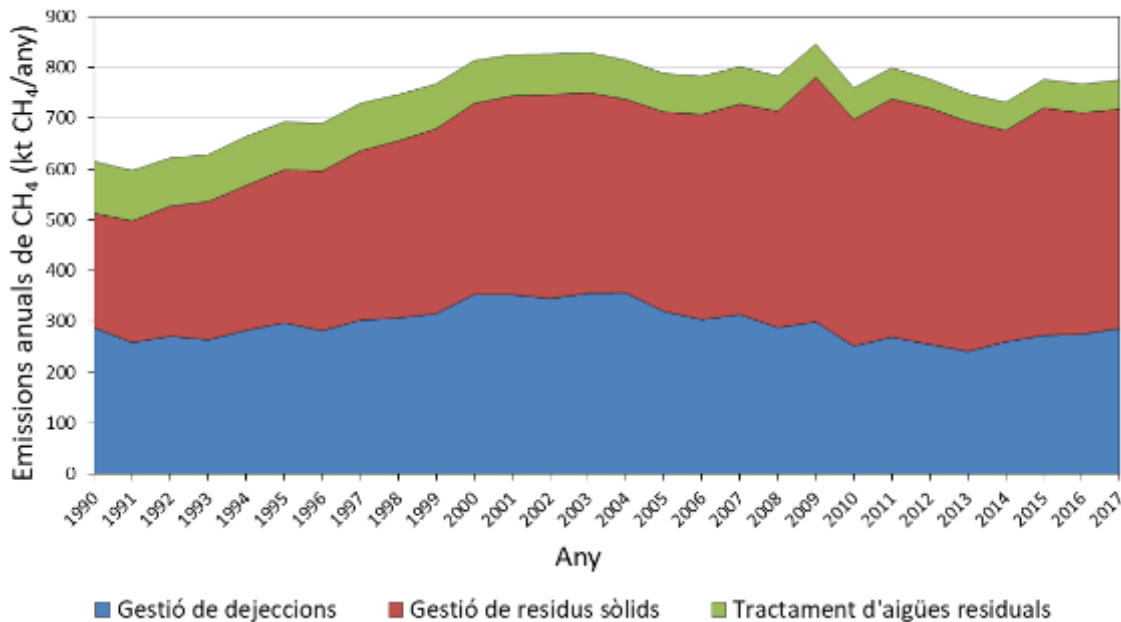


La gestió dels efluent residuals orgànics afecta a l'escalfament global



Fons: <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/temperature-change>; <https://www.2degreesinstitute.org/>

Emissions estimades de CH₄ (kt CH₄/any)



Emissió: 775 kt CH₄ al 2017

- Equivalent a 19,38 Mt CO_{2eq}
- Igual a 1,085 bcm CH₄

$$\begin{aligned}
 (1 \text{ bcm} &= 10^9 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \\
 &= 10,8 \text{ TWh}_{\text{PCI}} \\
 &= 11,7 \text{ TWh}_{\text{PCS}})
 \end{aligned}$$

A partir de dades del Ministerio para la Transición Ecológica (MTE), abril 2019.

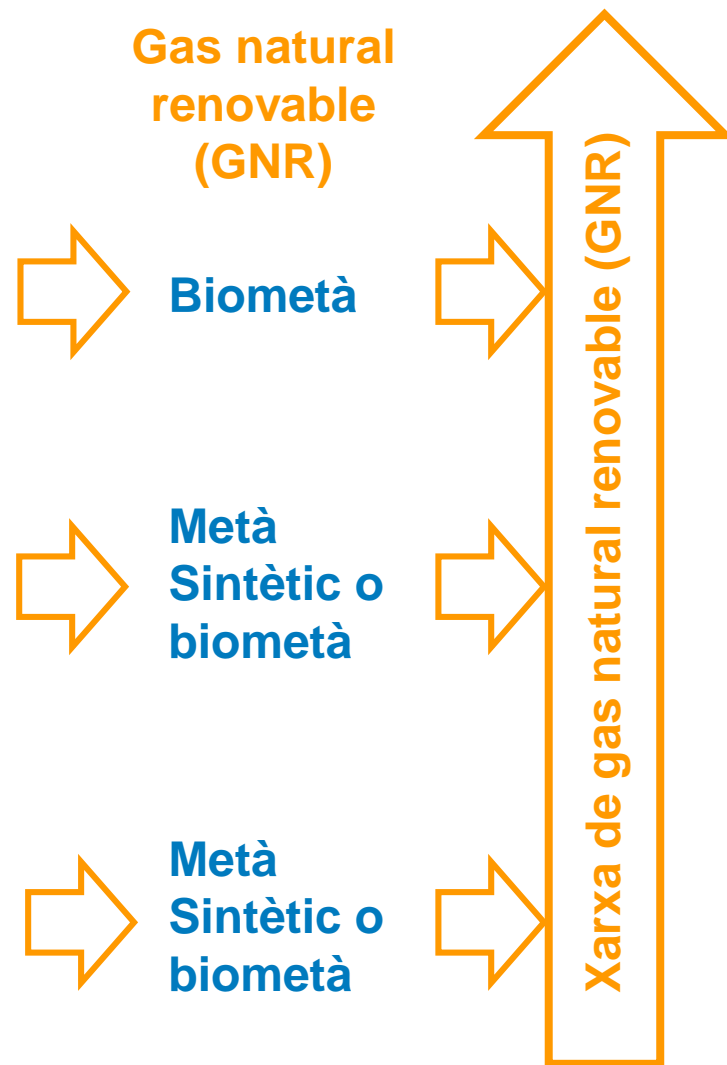
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/Inventario-GEI.aspx>

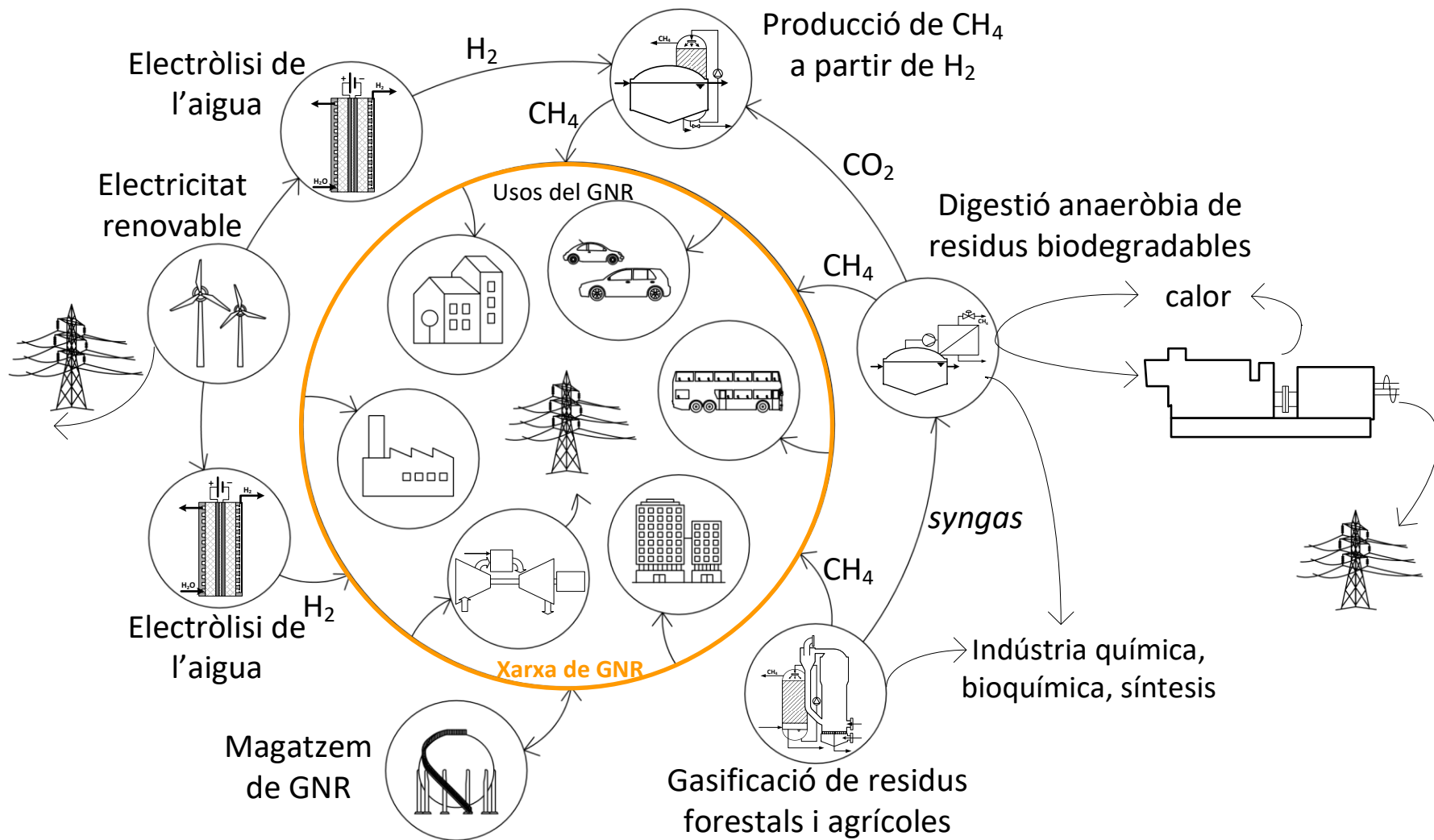
¿Què són els gasos renovables?

Son els gasos combustibles obtinguts de matèries primes o fonts renovables.

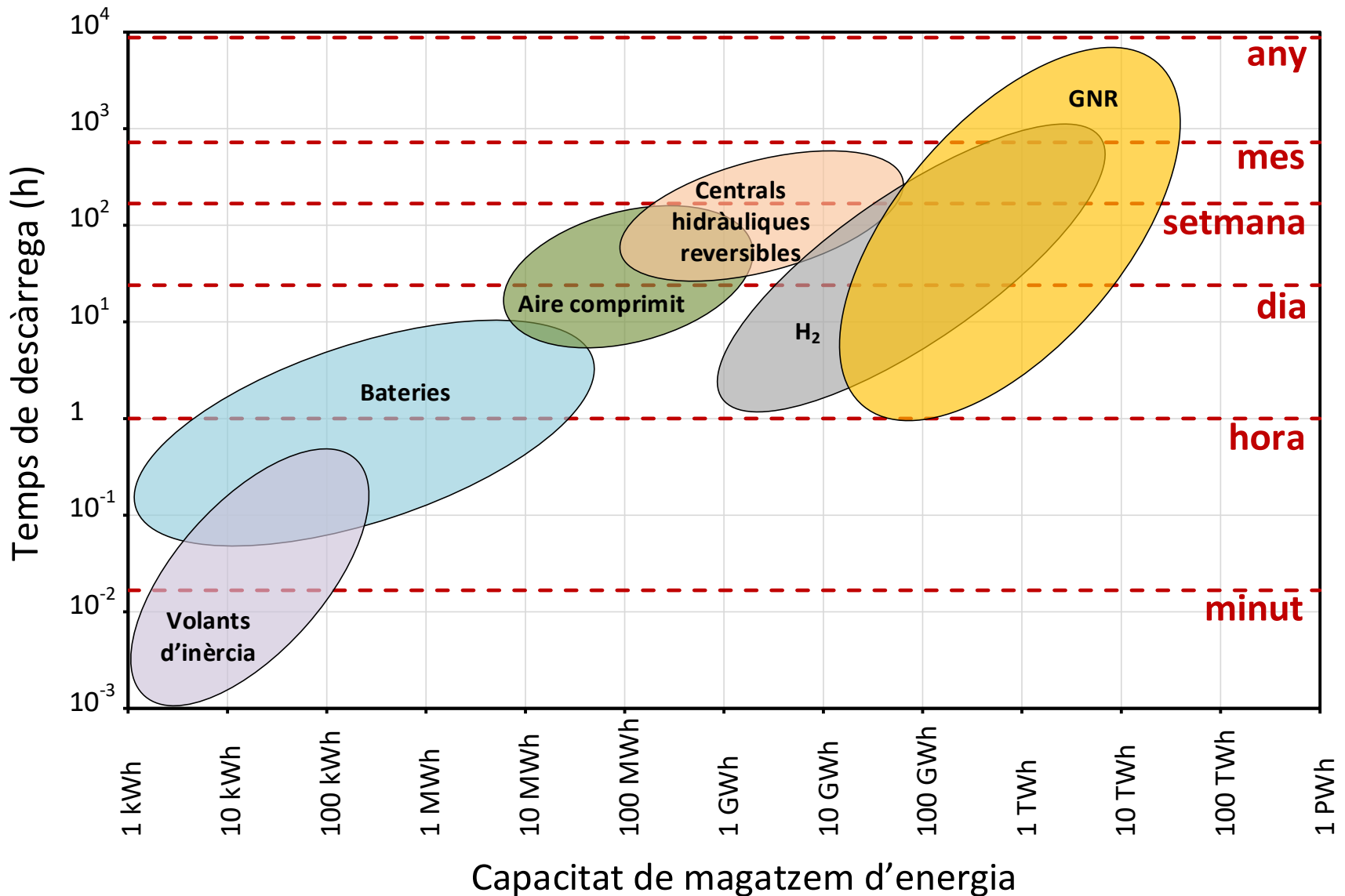
Agrupa tres tipus de gasos:

- **Biogàs**, obtingut mitjançant el procés de digestió anaeròbia de materials orgànics biodegradables, principalment residus orgànics domèstics, industrials, fangs de depuradora i dejeccions ramaderes, així como cultius energètics.
- **Gas de síntesi (*syngas*)**, obtingut mitjançant el procés de gasificació tèrmica de materials orgànics, principalment ligno-cel·lulòsics (residus forestals i agrícoles). Eventualment també de CDR, combustible derivat de residus, tot i que degut al seu alt contingut en plàstics no s'hauria de considerar renovable.
- **Hidrogen**, obtingut de processos biològics, catalítics o a partir d'electricitat renovable mitjançant electròlisi de l'aigua (*power to gas* – P2G)

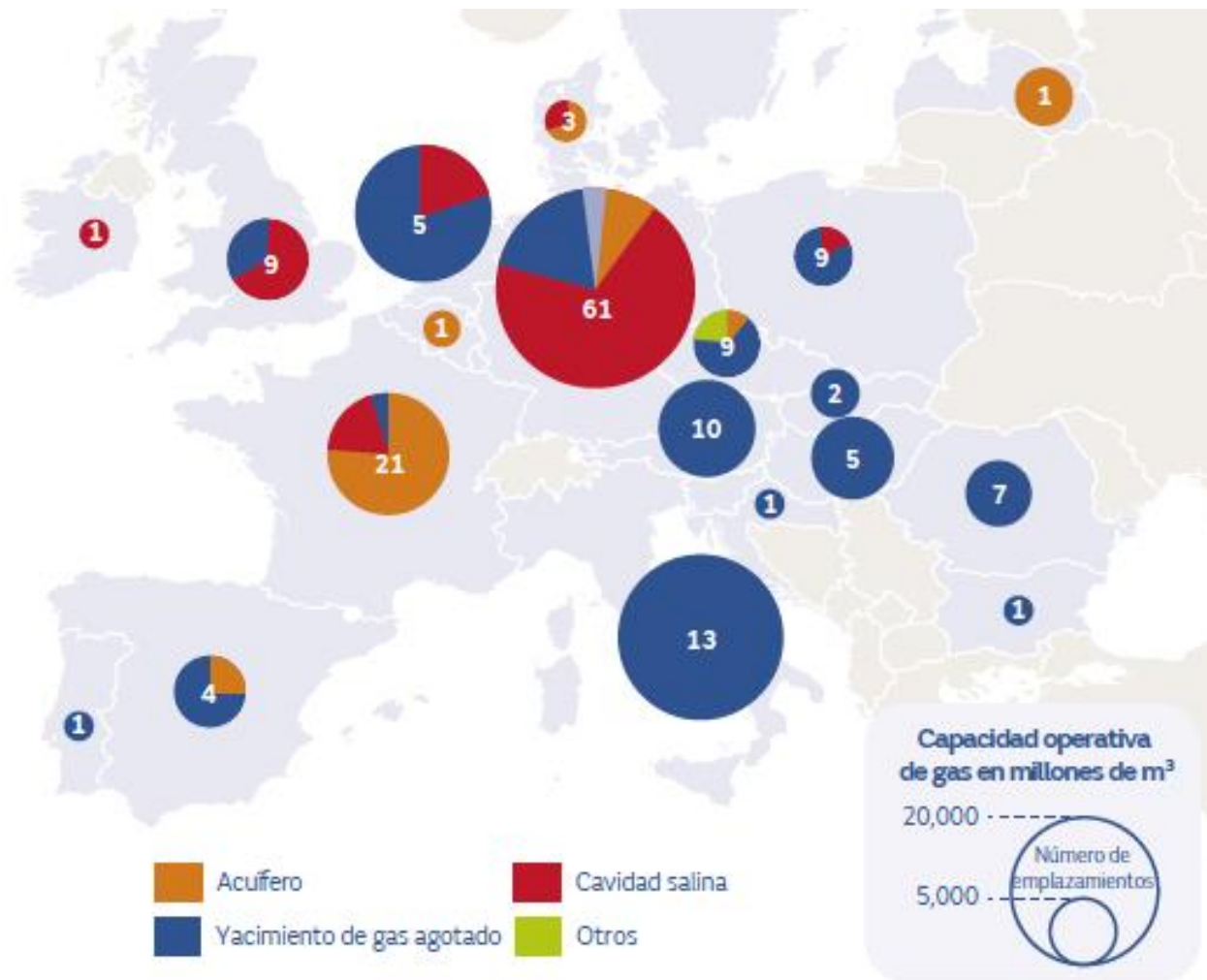




Capacitats de magatzem d'energia i temps de descàrrega per diverses tecnologies



Capacitat de magatzem de gas a Europa: una “superbateria”



- Capacitat total = 1.100 TWh,
- ~ 1 any de l’energia elèctrica renovable a Europa
- ~ 1/3 del total d’energia elèctrica anual generada

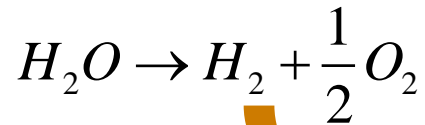


Capacitat de magatzem a Espanya: 32 TWh

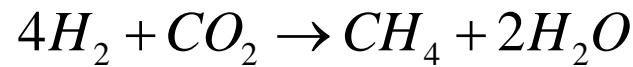
Electricitat renovable excedent → H₂ → CH₄

- Problema a resoldre: Què fer quan la producció de electricitat eòlica o solar excedeix la demanda?
- El hidrogen es pot emmagatzemar, utilitzar per diferents usos o transformar

Electròlisis de l'aigua



Captura de CO₂ y producció biològica o catalítica de metà

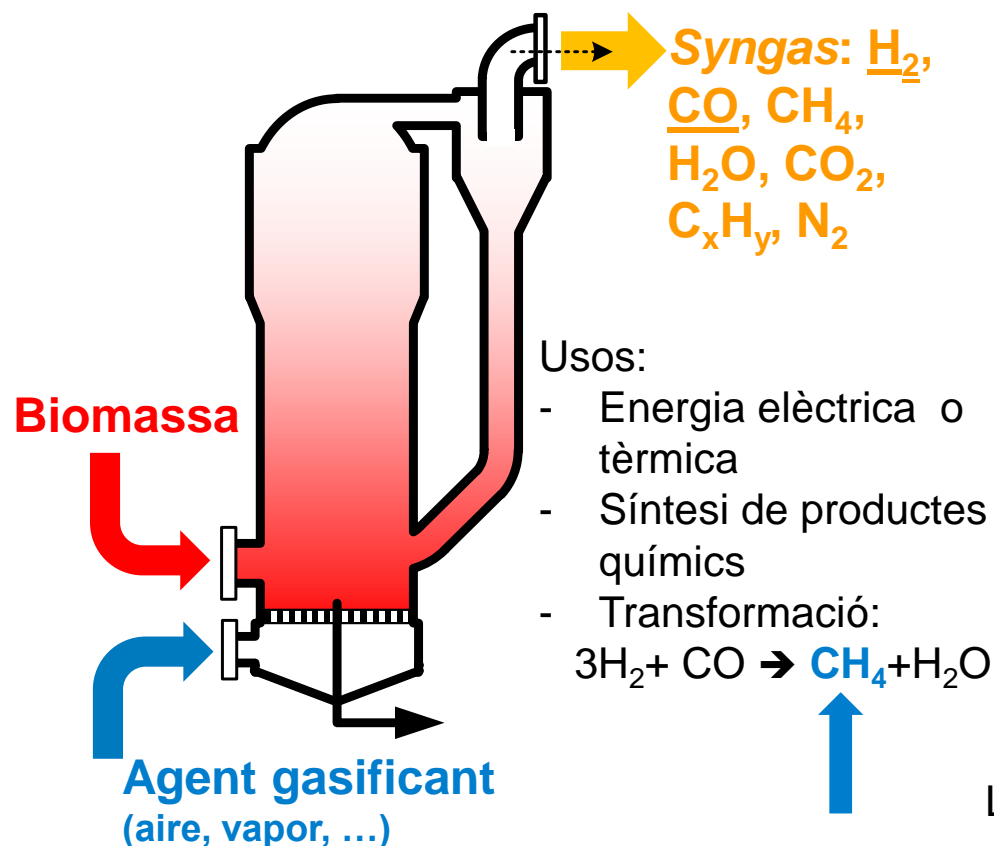


Rendiment energètic de la transformació d'electricitat en H₂:
47 % - 80 %

<http://biocat-project.com/>

Gasificació tèrmica de material ligno-cel·lulòsic

- Procés antic. Recordar el gasogen
- Aplicable a biomassa (res. forestals, agrícoles, ...).



- LIPSA (Santa Perpètua de Mogoda – Barcelona)
- Biomassa (estelles forestals, fusta vella, CDR,...)
 - Producció: 20 t vapor/hora, 20 MW_t

Rendiment energètic de la transformació a syngas: 70 % - 80 %

- **Descomposició biològica anaeròbia (sense oxigen) de la matèria orgànica, per obtenir biogàs (~ 65% metà + ~ 35% diòxid de carboni + traces d'altres gasos)**
- **Aplicable a residus i subproductes orgànics biodegradables:**
 - **FORM,**
 - **Dejeccions ramaderes,**
 - **Aigües residuals i residus indústria alimentària,**
 - **Fangs biològics,...**
- **Recupera energia solar captada a través de la fotosíntesi i emmagatzemada en forma d'enllaços químics dels compostos orgànics**

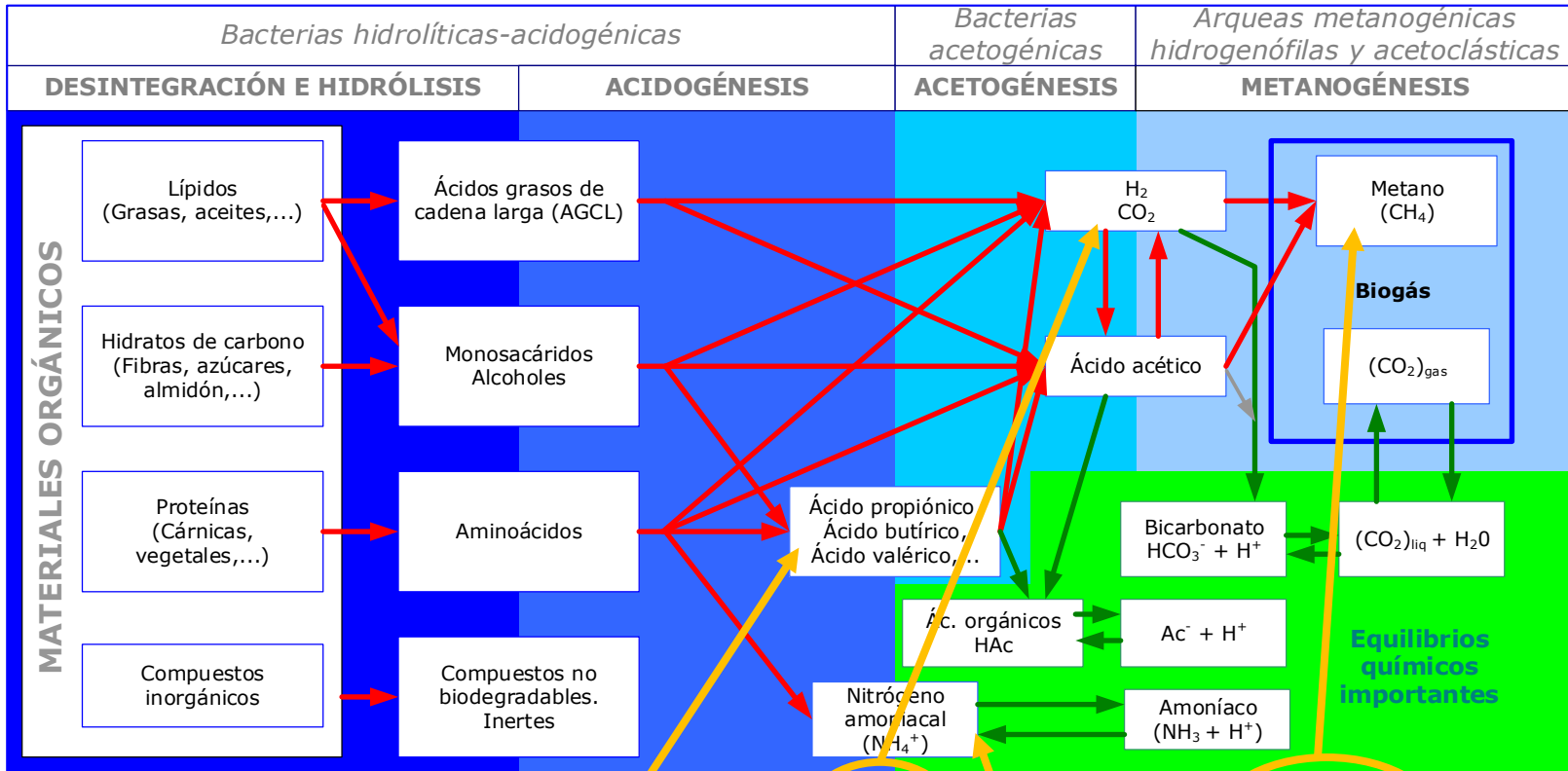
Planta de co-digestió en granja de porcs (Vila-sana, Lleida)



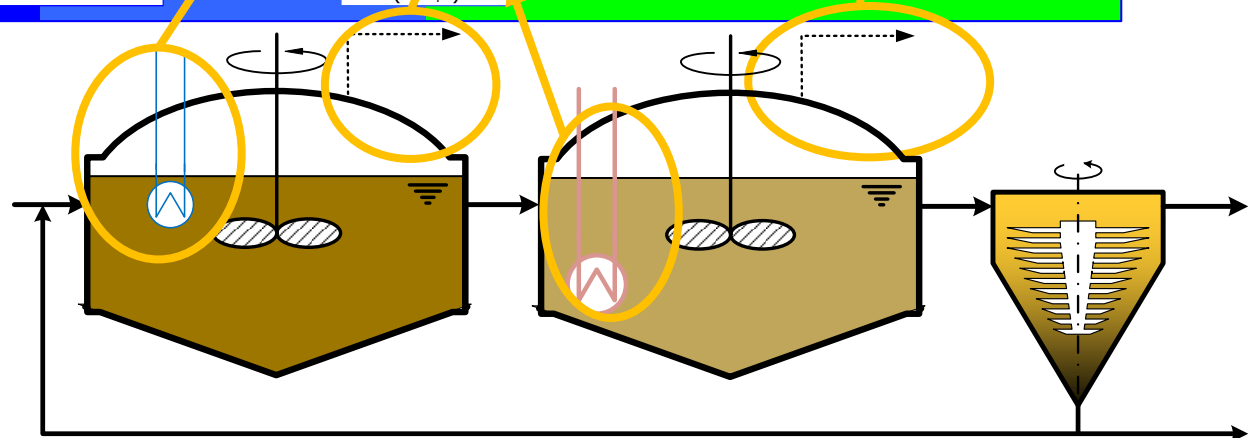
Planta de co-digestió de Som Energia en una granja de porcs a Torregrossa (Lleida)



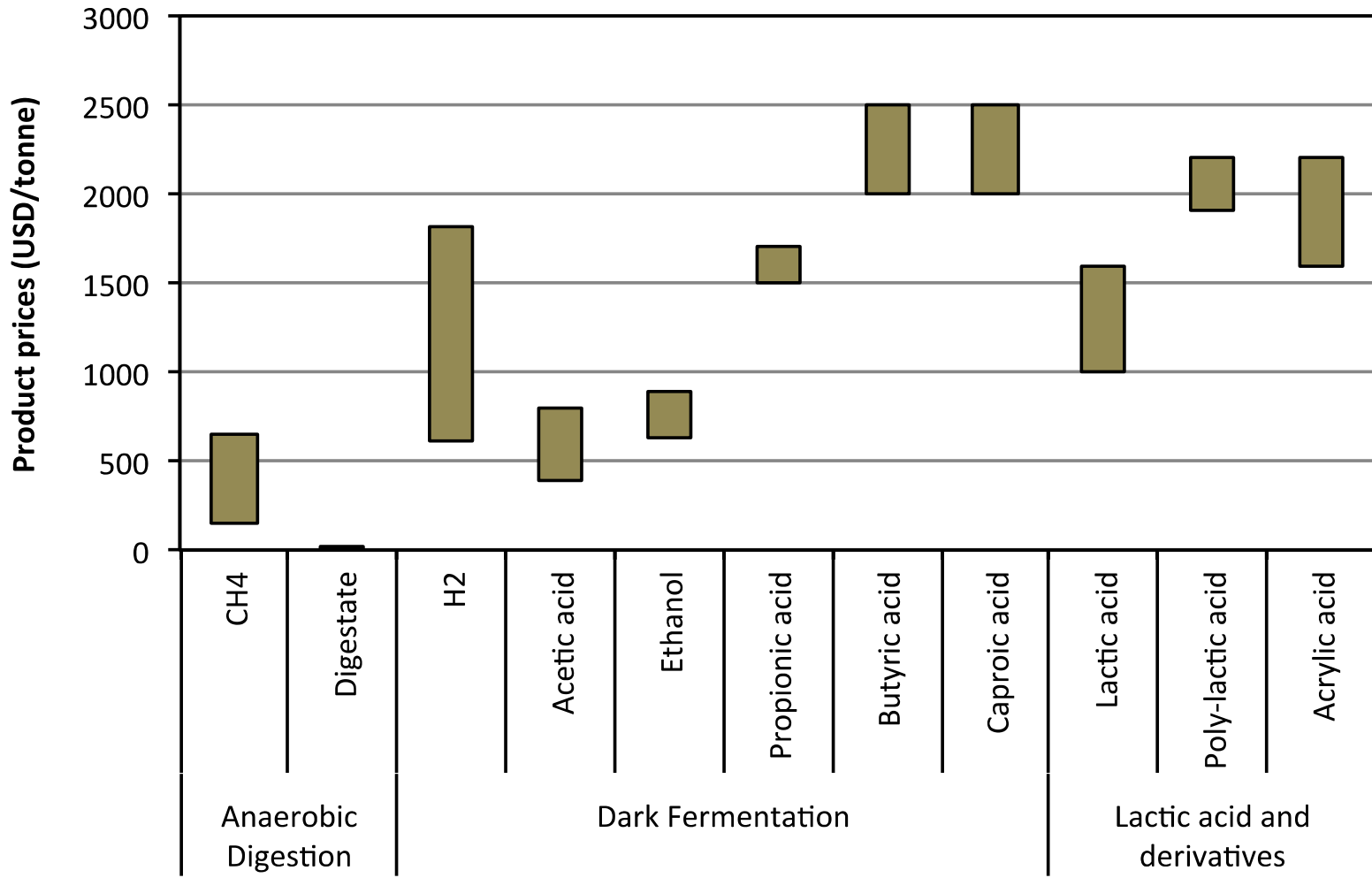
La digestió anaeròbia com procés clau en una biorefineria



~~Tractar residus~~
Processar recursos



Valor econòmic d'alguns productes del processat de residus orgànics



Avantatges de la digestió anaeròbia (DA)

- Eliminació/reducció de males olors
- Eliminació de llavors de males herbes i larves i ous d'insectes
- Reducció de la mida de partícula i viscositat. Major infiltració en aplicació al sòl i reducció emissions de NH_3
- Millora de la qualitat del digerit com fertilitzant
- Reducció significativa de la MO fàcilment biodegradable
- Reducció significativa d'emissions de gasos d'efecte hivernacle
- Producció d'energia renovable
- La DA facilita l'operació de processos de recuperació de nutrients



Producció de sulfat amònic per stripping/absorció
De purins frescos ***De purins digerits***





	Potencial de producció esp. (Nm ³ CH ₄ /kg SV)	Sòlids totals (%ST)	Sòlids volàtils (%SV/ST)	Potencial de producció (Nm ³ CH ₄ /tona)
--	---	------------------------	-----------------------------	---

Fracció orgànica de residus municipals

Separada mecànicament	0,160 – 0,370	76	44	54 – 124
De recollida selectiva	0,450 – 0,490	27	88	107 – 116
Residus de fruita i verdura	0,288 – 0,516	10	92	25 – 45

Dejeccions ramaderes

Purins de porc	0,067 – 0,557	4	67	2 – 15
Purins o fems de boví	0,280 – 0,540	7	86	17 – 33
Gallinassa d'aviram	0,228 – 0,390	25	80	46 – 78
Fracció sòlida de purins de porc	0,178 – 0,496	32	79	45 – 125

Residus orgànics industrials

Residus d'escorxador (porcs)	0,580 – 0,960	52	97	292 – 483
Residus d'escorxador (aus)	0,460 – 0,480	33	87	130 – 136
Residus de cafè	0,240 – 0,280	16	98	37 – 43
Residus de cítrics	0,314 – 0,548	18	96	54 – 95
Residus de peix	0,398 – 0,573	35	90	125 – 181

Tractament d'aigües residuals

Fangs primari (dep. urbana)	0,307 – 0,489	3	55	5 – 8
Fangs secundari (dep. urbana)	0,191 – 0,244	3	78	5 – 6
Greixos (depuradore urbana)	0,405 – 0,540	13	85	44 – 58
Fangs escorxador amb greixos	0,845 – 0,928	25	99	212 – 233

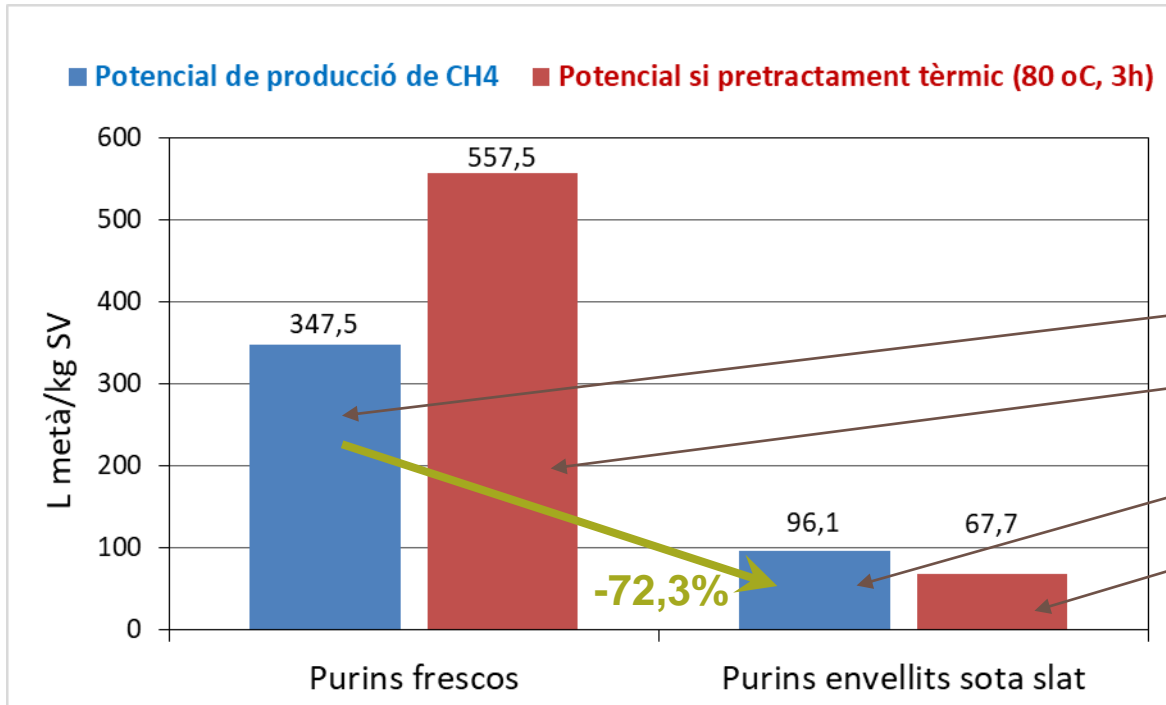
Cultius energètics

Blat de moro (tota la planta)	0,204 – 0,450	50	90	92 – 203
Ordi	0,353 – 0,658	50	90	159 – 296
Remolatxa farratgera	0,420 – 0,500	50	90	189 – 225

Potencials de producció de CH₄



L'efecte sobre els gasos d'efecte hivernacle. Exemple: Potencial de producció de CH₄ de purins



Amb 3,4% SV,
si 65% CH₄:

18,1 m³ biogàs/m³

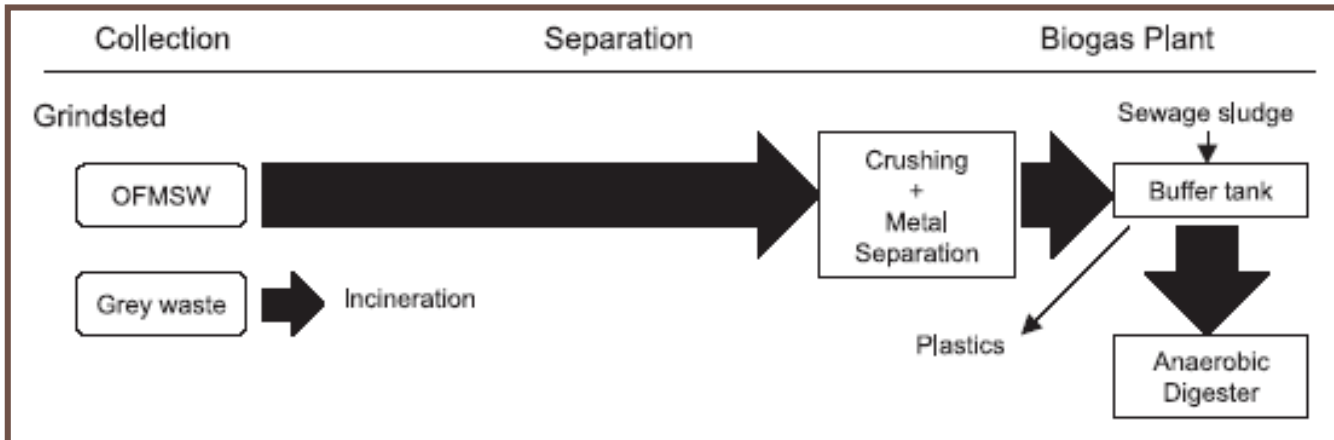
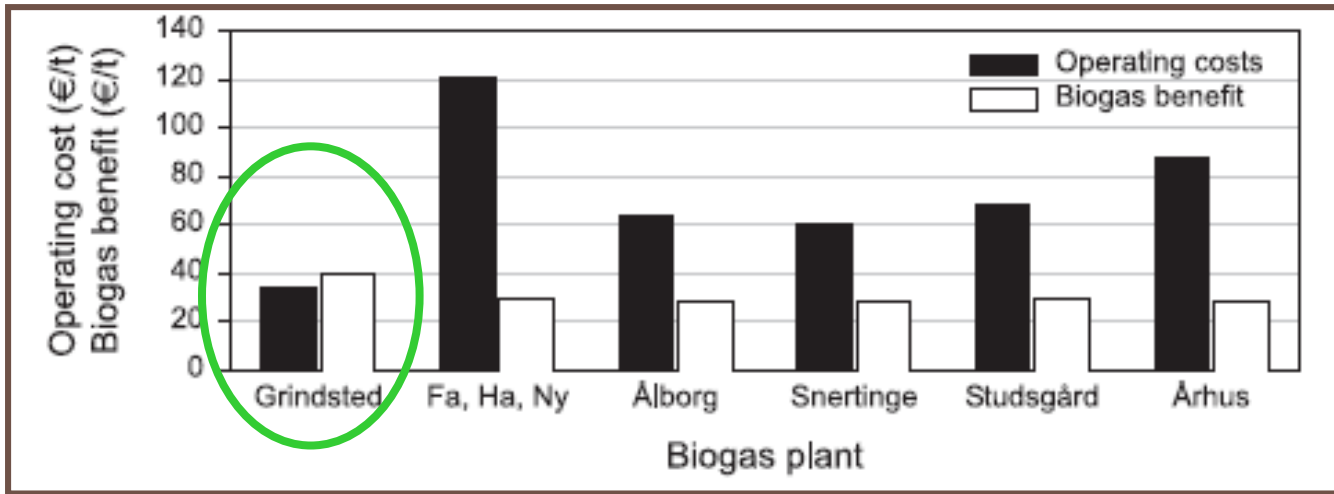
29,1 m³ biogàs/m³

5,0 m³ biogàs/m³

3,5 m³ biogàs/m³

- La reducció del potencial de producció de biogàs després d'uns mesos de magatzem és degut a emissió natural de CH₄ a l'atmosfera (efecte hivernacle 25 vegades superior al CO₂). També és així durant el magatzem de molts altres subproductes orgànics.
- També hi ha emissions d'amoníac a l'atmosfera i d'altres compostos volàtils.
- La gran innovació és no perdre aquest potencial, d'energia i de nitrogen, amb avantatges sanitaris i de producció animal. **Cal un canvi dràstic en el disseny de les granges.**

Fracció orgànica de residus municipals. La importància de la separació en origen



Peces clau a Grindsted (Dinamarca):
gran inversió en participació ciutadana i codigestió

[H. Hartmann (2003). *Tesi doctoral, Universitat Tècnica de Dinamarca*]

[Flotats, X., Burgos, E., Tey, L., Fresno, J. (2011). *Infoenviro 62 (Marzo), pp 39-43*]

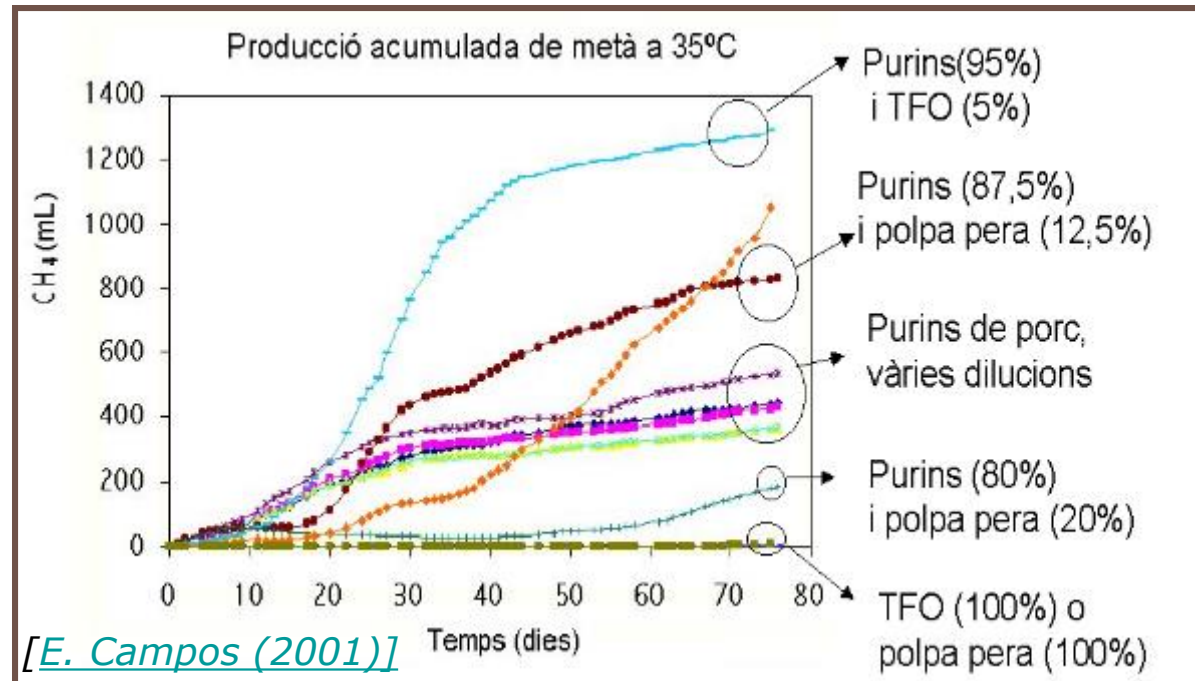
La co-digestió anaeròbia consisteix en la digestió conjunta de residus orgànics de diferents orígens, amb l'objectiu de:

- Aprofitar la complementarietat de les composicions
- Compartir instal·lacions de tractament
- Unificar metodologies de gestió
- Esmorteir variacions temporals en composició i producció
- Reduir costos d'inversió i explotació

Implantació en granja: el ramader es converteix en gestor de residus

Implantació col·lectiva en planta centralitzada: les variables socials, de gestió i de coordinació són les limitants del projecte

[Flotats i Sarquella (2008). Producció de biogàs per codigestió anaeròbia. <http://hdl.handle.net/2117/2265>]





Tecnologies de digestió anaeròbia

Dissenys adaptables a quasi qualsevol situació

Llacuna de purins de porc coberta i recuperació del biogàs (AASA – Chile)



Digestors anaerobis en planta d'assecatge de purins VAG (Juneda, Lleida)



Planta de biogàs a granja de porcs (1983 – 2003, Santa Pau, Girona)



Planta de biogàs a Terrassa (Barcelona) tractant FORM



Depuradora anaeròbia en fàbrica de suc de fruita (Mollerussa, Lleida)

Planta de co-digestió i compostatge en granja de vaques de llet (Girona)



Bioenergia d'Almenar (Lleida): producció d'energia elèctrica i de concentrats de nutrients

Tecnologies de condicionament i enriquiment del biogàs

Adsorció de H_2S en carbó actiu



Absorció de CO_2 en aigua o amines



Oxidació biològica de H_2S



Adsorció de CO_2 a alta pressió (PSA)



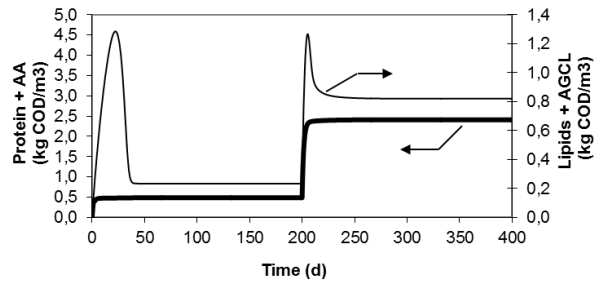
Separació de CO_2 del CH_4 amb membranes



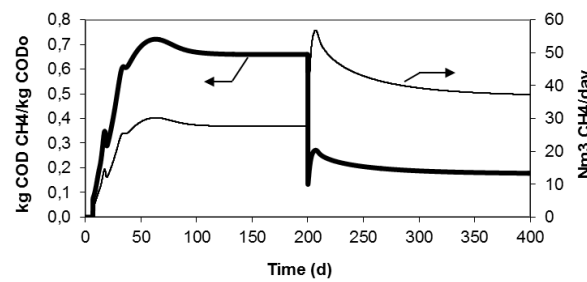
El procés de digestió anaeròbia es pot simular numèricament

- Útil pel dimensionat, per a la diagnosi, per a l'entrenament d'operadors, per a la guia en l'operació, i per l'optimització
- Fer gas combustible dels residus orgànics no és una feina de bruixots, hi ha prou coneixement al darrera per a qui vulgui estudiar-ho

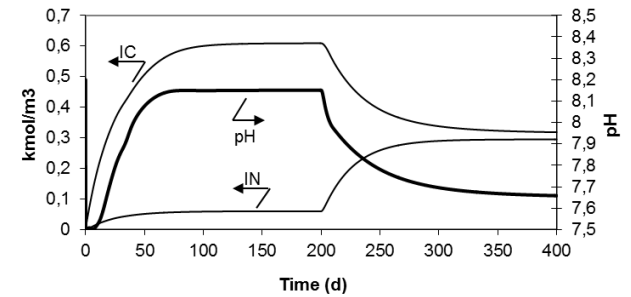
PR + AA and LI+LCFA



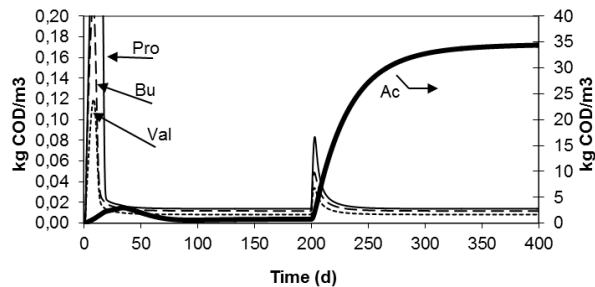
kg COD CH₄/kg COD₀ and Nm³ CH₄/day



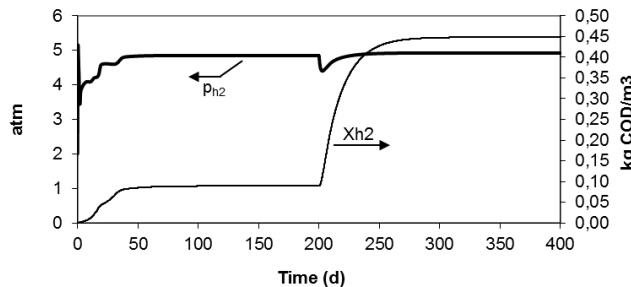
pH, IN, IC



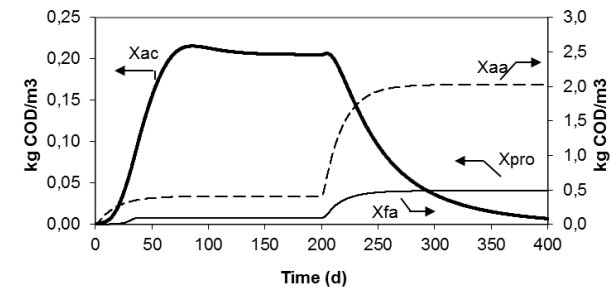
VFA



p_{h2}, X_{h2}



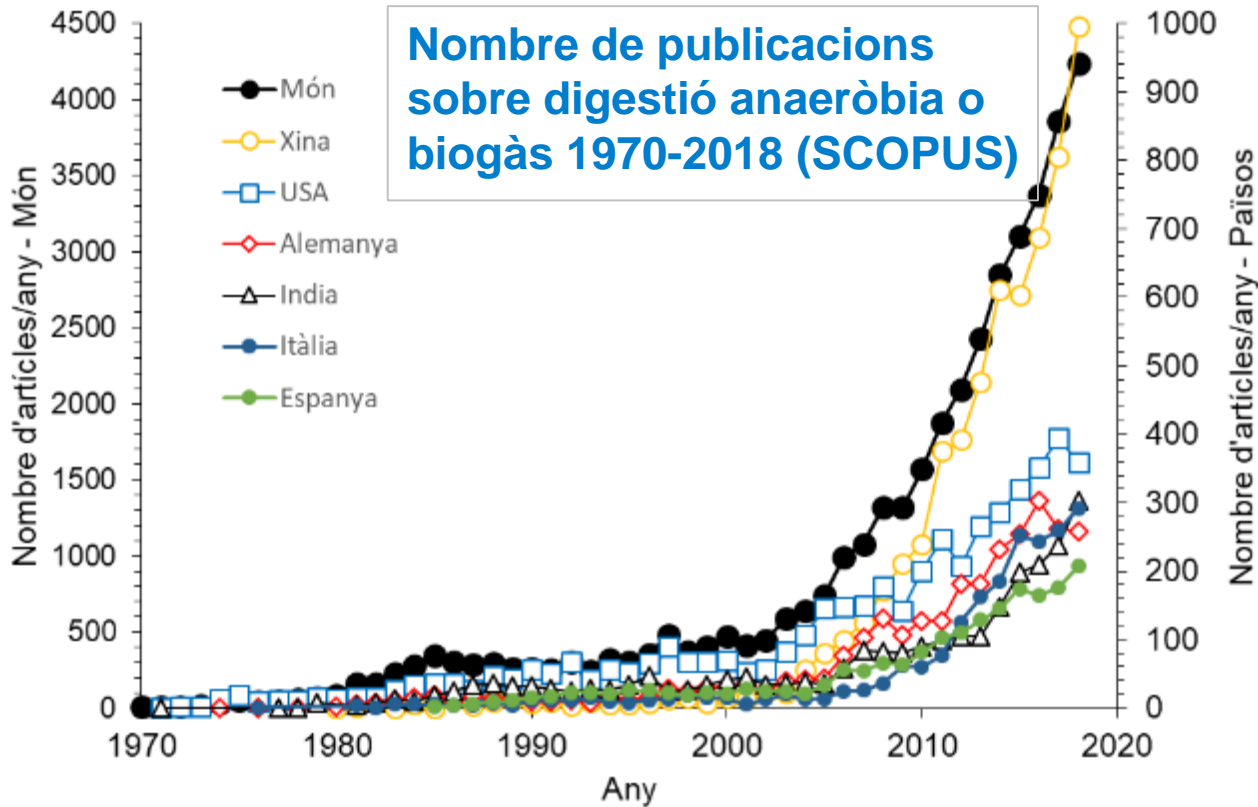
X_{ac}, X_{pro}, X_{aa}, X_{fa}



Exemple: Creació d'alteració en l'alimentació al dia 200 d'un digester estable ([Solera et al., 2015](#))

A Espanya hi ha força equips punters en digestió anaeròbia i biogàs

Nombre de publicacions sobre digestió anaeròbia o biogàs 1970-2018 (SCOPUS)



Hi ha trajectòria i capacitat per donar suport científics al desenvolupament. Aquest no és el limitant



Congrés Mundial de Digestió Anaeròbia 2013. Santiago de Compostela



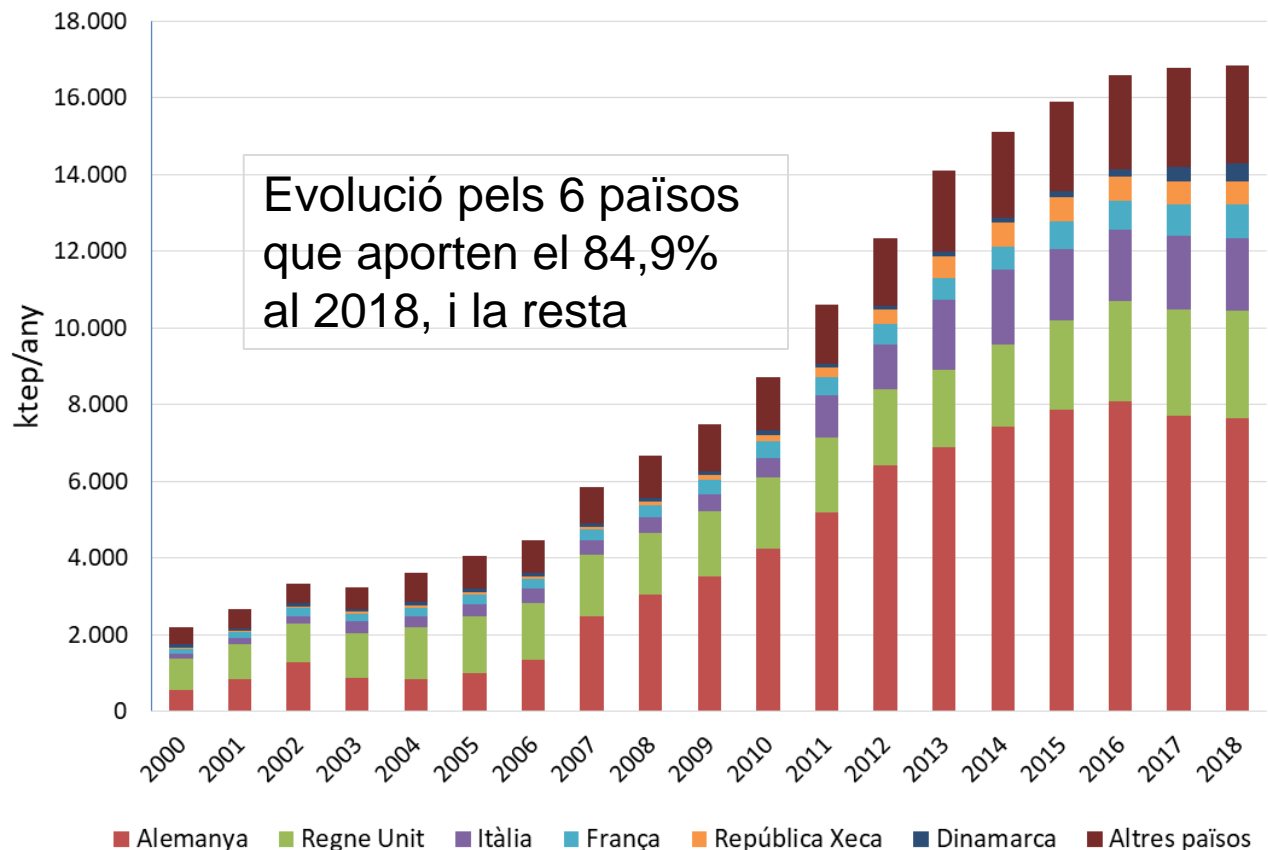
18.134 plantes de biogàs a Europa al 2017



- 10,532 GWe, potència instal·lada (281 MW a Espanya)
- 65,2 TWh_e (225 GWh_e a Espanya)
- 540 plantes de biogàs injectant biometà en la xarxa de gas natural (19,35 TWh/any).
- Una planta d'injecció a xarxa de gas a Espanya al 2018, a Madrid (100 GWh/any), i dues més petites al 2020
- ~700 'gasineres' van facilitar uns $160 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ biometà a vehicles al 2015

16,8 Mtep d'energia primària com biogàs al 2018

Producció de biogàs a la Unió Europea (energia primària)



Objectius fixats per alguns països:

Dinamarca:

- 100% gas renovable a la xarxa de GN al 2035

França:

- 90 TWh biogàs al 2030
- 60 TWh biometà al 2028
- 100% gas renovable a la xarxa de gas al 2050

Itàlia:

- 80 TWh biogàs al 2030

Irlanda:

- 12 TWh de gas renovable a la xarxa (20% consum gas) al 2030

Suècia:

- 15 TWh biogàs al 2030
- Transport lliure de comb. fòssils al 2050

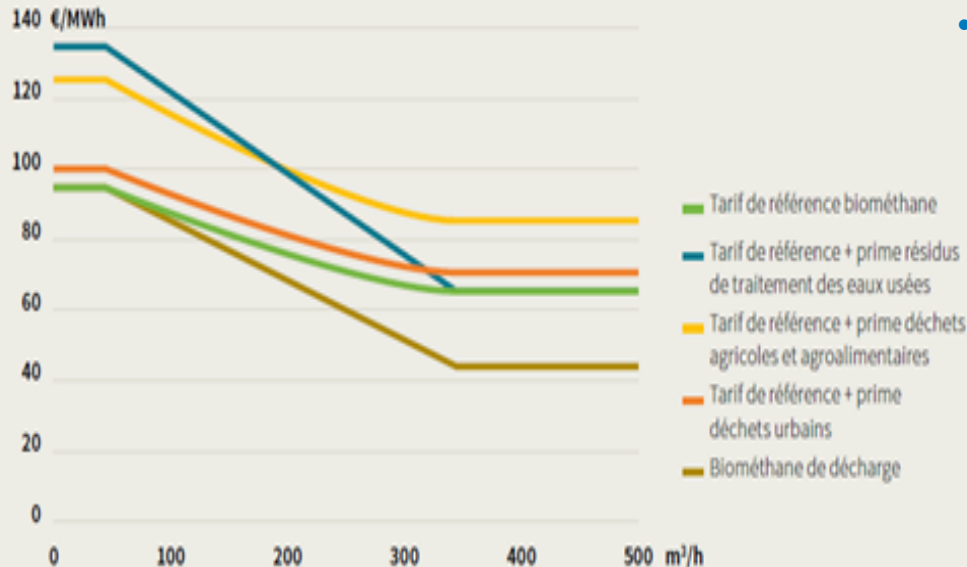
■ Objectiu:

- gas 100% renovable circulant per la xarxa de gas al 2050
- Estalvi de 63 Mt CO₂ eq/any al 2050 amb l'ús de GNR
- Objectiu addicional: desenvolupament rural

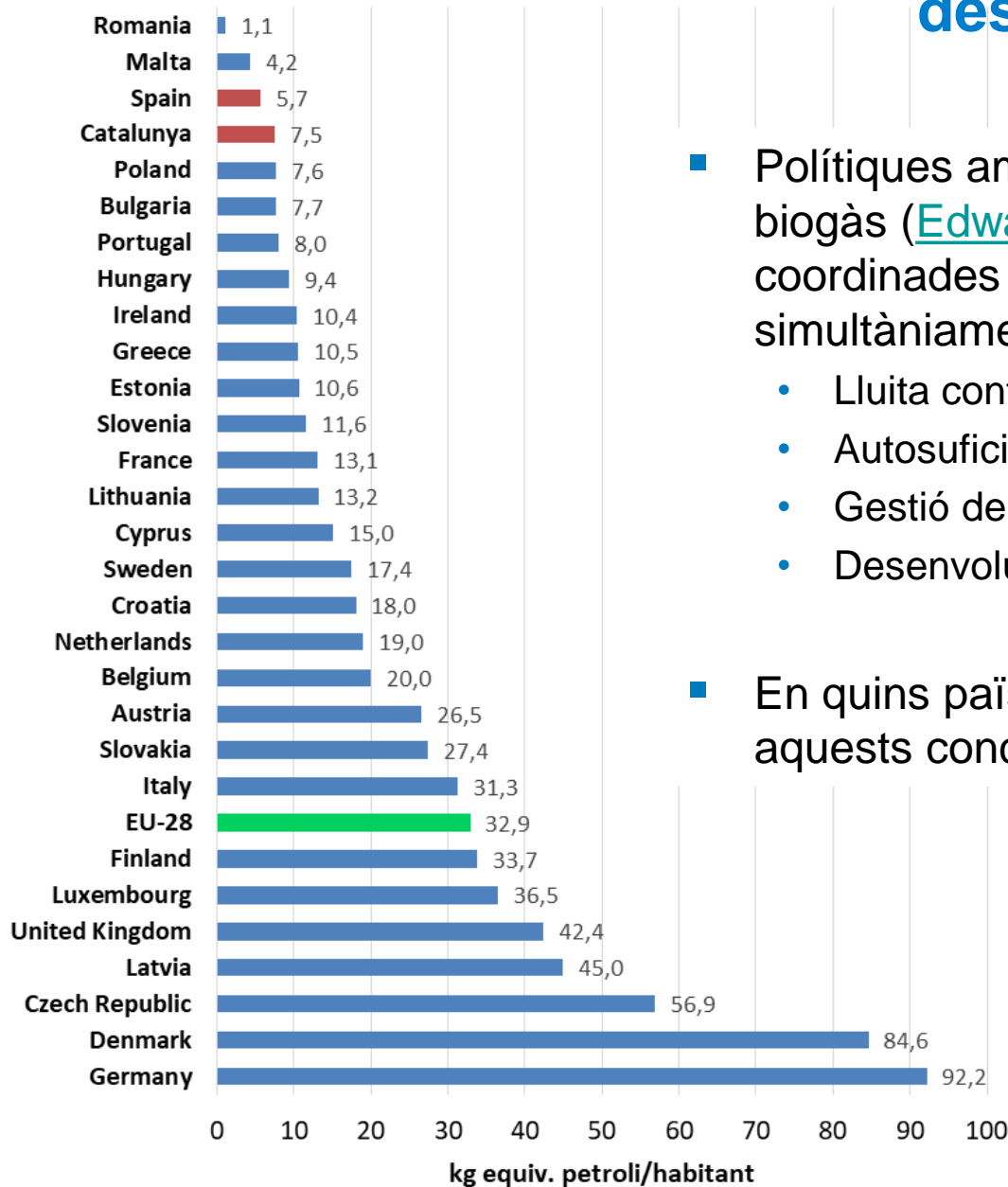
■ Mètodes:

- Reduir el 34 – 45% la demanda de gas respecte 2015
- Substituir per 276 – 361 TWh/any de gasos renovables:
 - Biometà de biogàs: 100 – 128 TWh/any
 - Biometà de gas de síntesis de materials llenyosos: 31 – 138 TWh/any
 - Biometà de gas de síntesis de CDR: 9 TWh/any
 - H₂ i CH₄ d'H₂ (P2G): 85 – 135 TWh/any
- Remunerar el biometà injectat d'acord amb els costos de producció estimats.


Tarif d'achat du biométhane en fonction du type de déchets et du débit d'injection de l'installation



Energia primària biogàs (2018)



Grau de desenvolupament

- Polítiques amb capacitat de promoure el biogàs ([Edwards et al., 2015](#)): les coordinades i integrades en 4 eixos simultàniament:
 - Lluita contra el canvi climàtic
 - Autosuficiència energètica
 - Gestió de residus
 - Desenvolupament regional/rural
- En quins països deuen haver aplicat aquests conceptes? ... 

Elaboració pròpia a partir de:
 Catalunya (2017): [IDESCAT \(2020\)](#),
[ICAEN \(2020\)](#)
 Europa (2018): [EUROSTAT \(2020\)](#),
[EurObserv'ER \(2020\)](#),
[EBA \(2019\)](#)



Els recursos i potencial a Catalunya

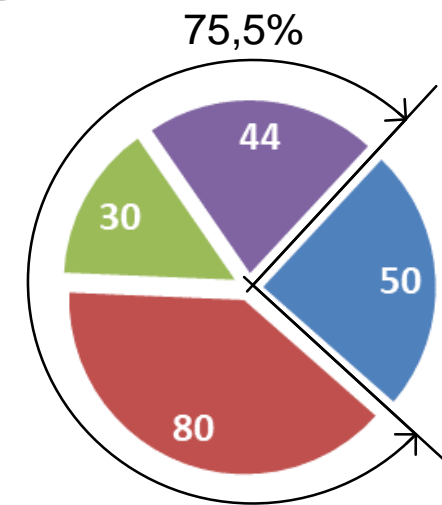
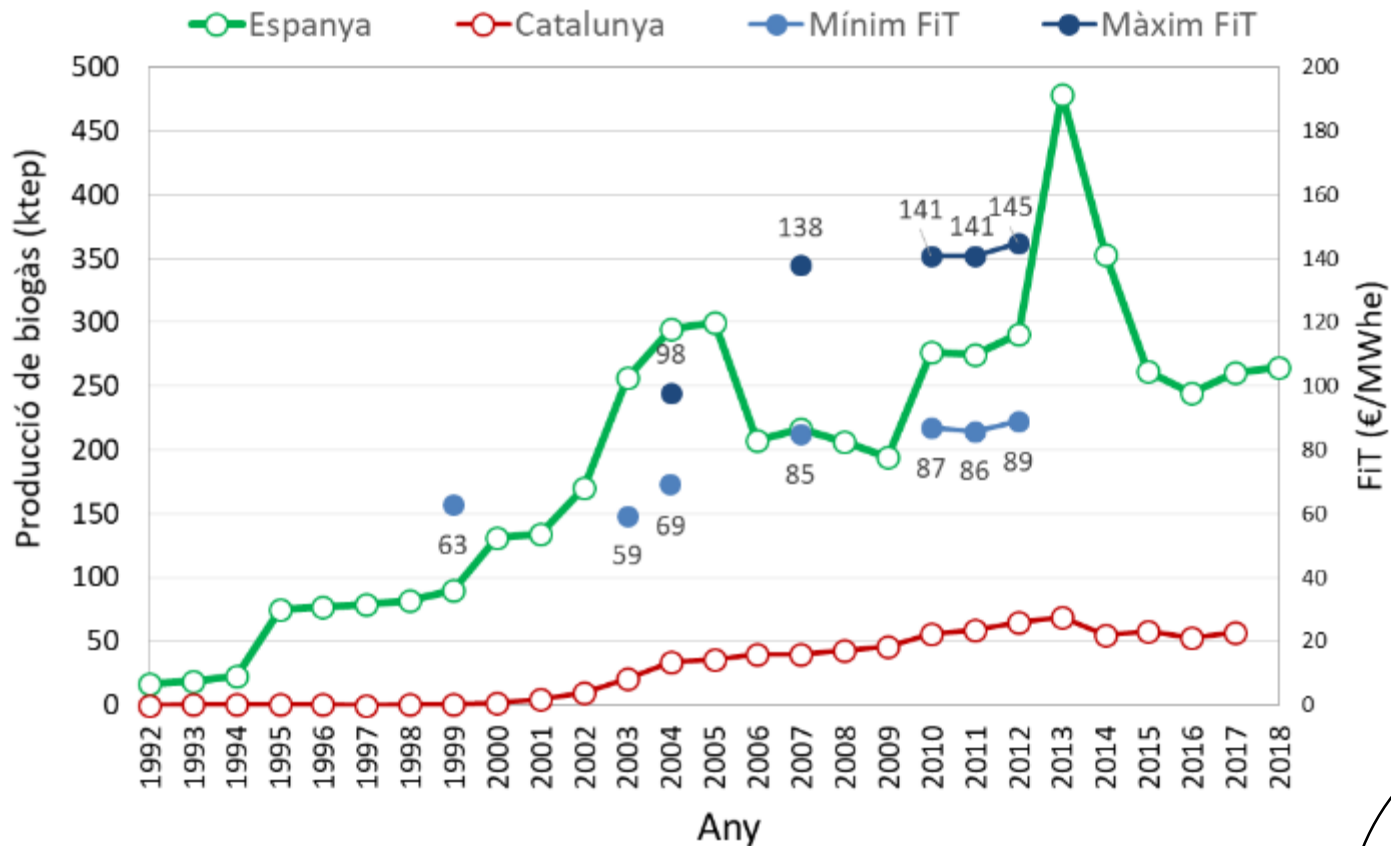
*Estudis sobre prospectiva de la producció de biogàs a Catalunya.
Estimació del potencial energètic dels recursos i de la seva realització (ktep)
en l'horitzó de l'any que s'indica.*

Referència		Flotats i Casañé (2001)	Flotats (2007)	Pascual et al. (2011)	Vilamajó i Flotats (2011)
Àmbit d'estudi		Catalunya DGE-GC	Espanya IDAE	Espanya IDAE	Catalunya PFC-UPC
Dejeccions ramaderes	Disponible	361,9	263,5	243,1	
	Accessible	141,8	197,6	201,8	
Residus municipals	Disponible	94,5	190,2	270,0	
	Accessible	68,2	154,0	42,0	
Fangs de depuració	Disponible	26,2	34,9	34,9	
	Accessible	20,7	26,2	26,2	
Residus orgànics Ind.	Disponible	17,2	43,7	50,4	118,1
	Accessible		43,7	28,3	24,6
Potencial disponible		499,7	532,3	598,4	
Potencial accessible		230,7	421,5	298,3	
Horitzó de realització (any)		2010	2030	2020	-

[Flotats i Casañé (2001). <http://hdl.handle.net/2117/28138>]
[Flotats (2007). <http://hdl.handle.net/2117/27664>]
[Pascual et al. (2011). <http://hdl.handle.net/2117/13479>]
[Vilamajó i Flotats (2011). <http://hdl.handle.net/2117/26297>]

**Els estudis de potencial no
serveixen per a res sinó hi ha
compromisos públics de realització**

Producció de biogàs a Espanya i Catalunya



Font:

Catalunya: [ICAEN \(2020\)](#)

Espanya: [EurObserv'ER \(2020\)](#),
[EBA \(2019\)](#)

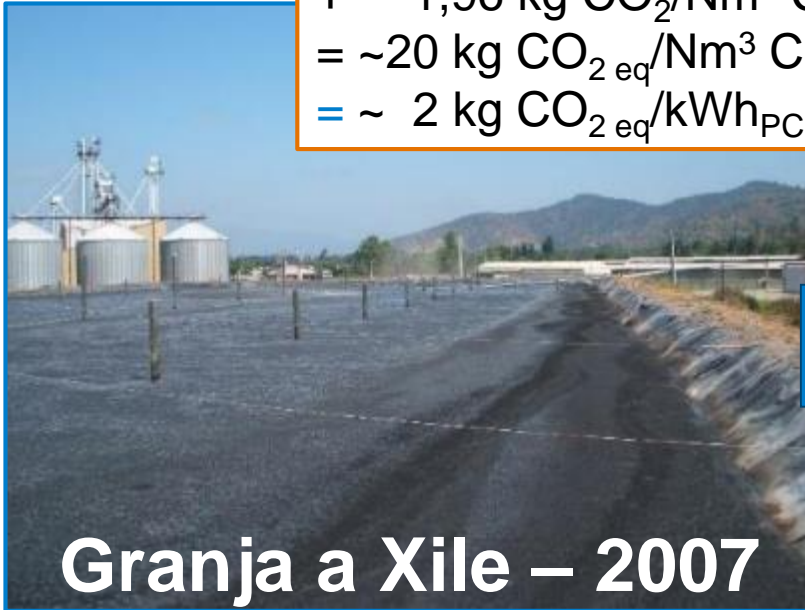
Número d'instal·lacions Espanya:

- Agro-industrial
- Llots depuradora
- Abocadors
- Altres (residus municipals)

Estalvi en les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH)

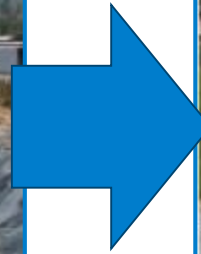
Estalvi emissions GEI:

17,93 kg CO_{2 eq}/Nm³ CH₄ **evitat**
 + 1,96 kg CO_{2 eq}/Nm³ CH₄, **estalviat** si substituït de GN
 = ~20 kg CO_{2 eq}/Nm³ CH₄ **evitat** (valor màxim teòric)
 = ~ 2 kg CO_{2 eq}/kWh_{PCI} (valor màxim teòric)



Granja a Xile – 2007

Emissions de NH₃, CH₄ i males olors. Pèrdua de recursos



Granja a Xile – 2017

Aprofitament energètic del gas recuperat i del NH₃ como fertilitzant

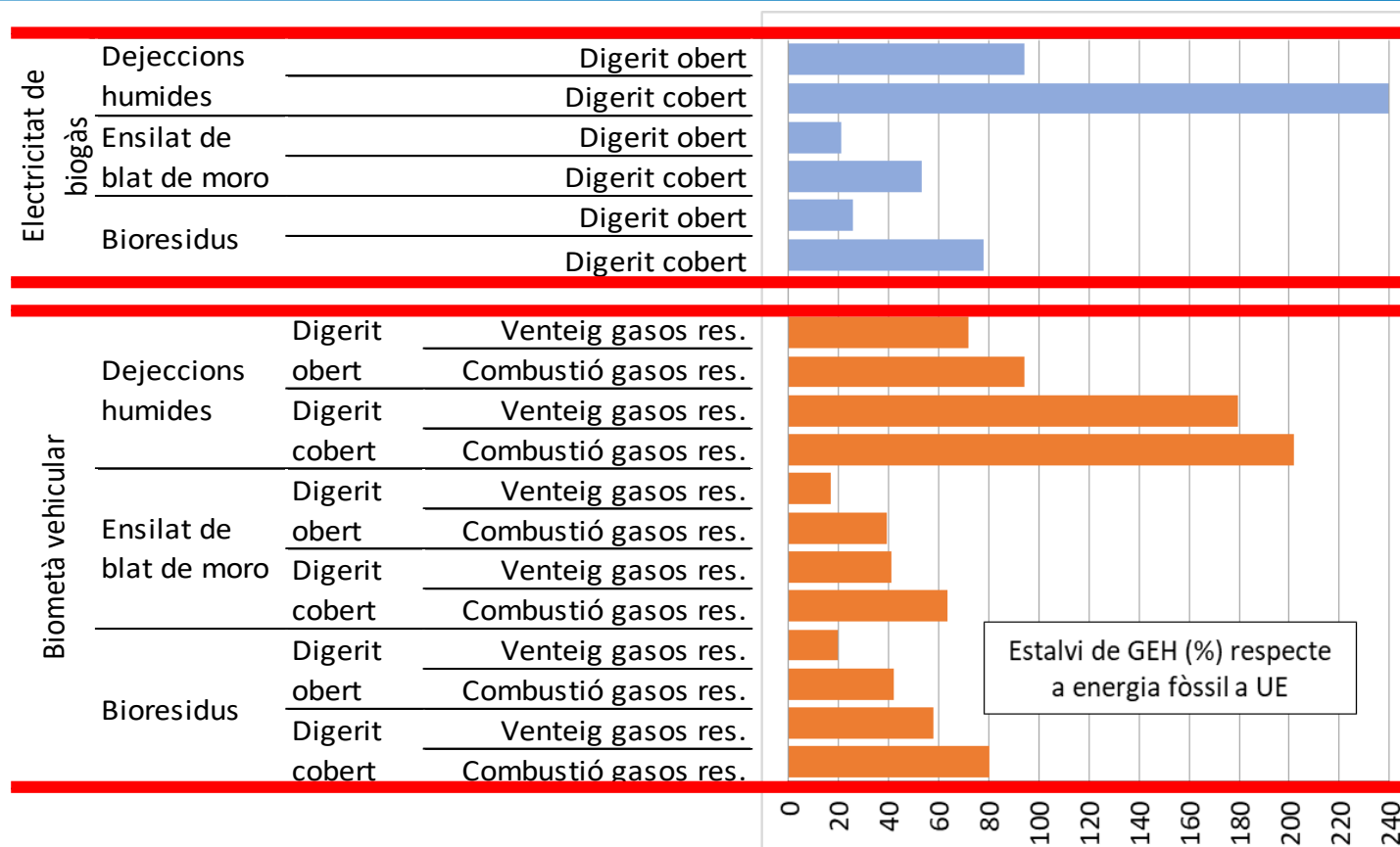
Estalvi energia: 120 t gasoil/any + 4.620 MWh_e/any

Estalvi emissions: ~4.380 t CO_{2 eq}/any

~ - 0,73 kg CO_{2 eq}/kWh (energia estalviada)

+ estalvi per substitució fertilitzants de síntesi

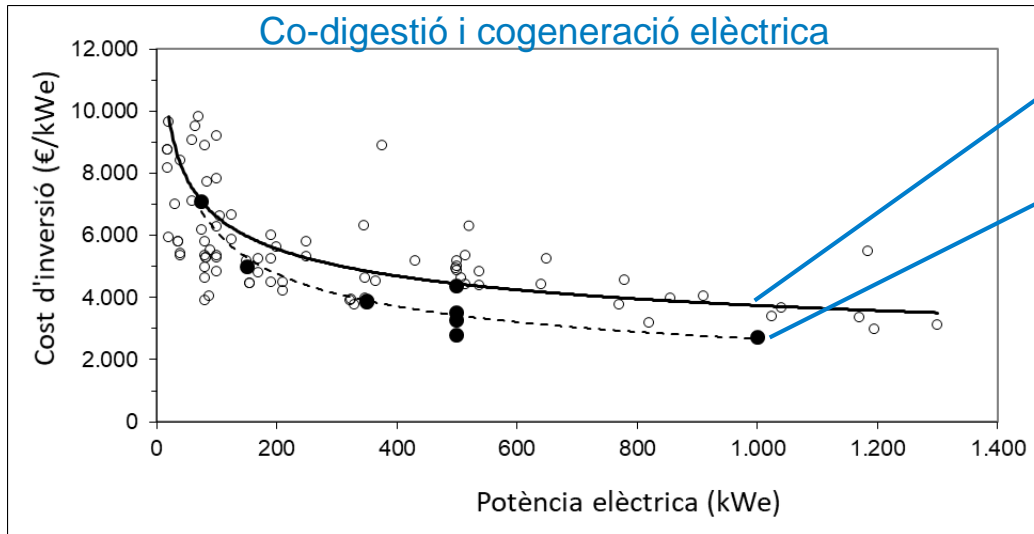
Reducció de gasos d'efecte hivernacle (GEH)



Estalvi relatiu de GEH comparat amb el **mix elèctric europeu** ($183 \text{ g CO}_2 \text{ eq/MJ}_{el}$) o **combustible per vehicles** ($94 \text{ g CO}_2 \text{ eq/MJ}$).

Si el biometà s'utilitza per fer electricitat mitjançant un cicle combinat, l'estalvi és superior a si es fa amb biogàs mitjançant cogeneració sense estalvi energia tèrmica.

Costos de producció d'electricitat (sense considerar gestió digerit)



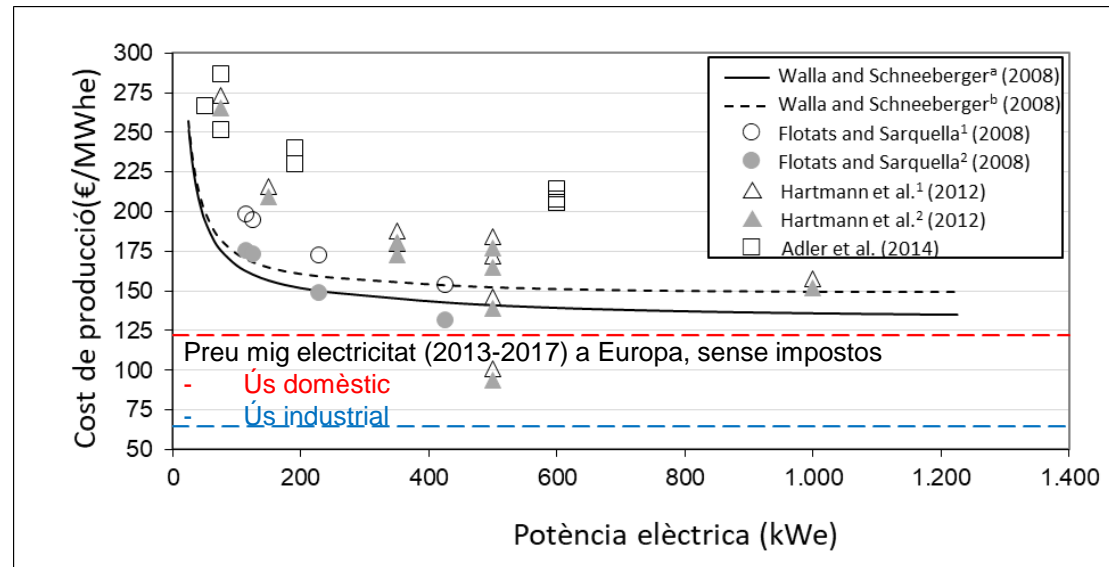
→ Flotats i Sarquella (2008). Matèria primera base: dejeccions ramaderes

→ Hartmann et al. (2012). Matèria primera base: cultius energètics

Costos unitaris molt dependents de la producció específica de gas de la matèria primera

Exemple: 50.000 Tm/any, $\eta_e=40\%$, 65% CH₄/biogàs

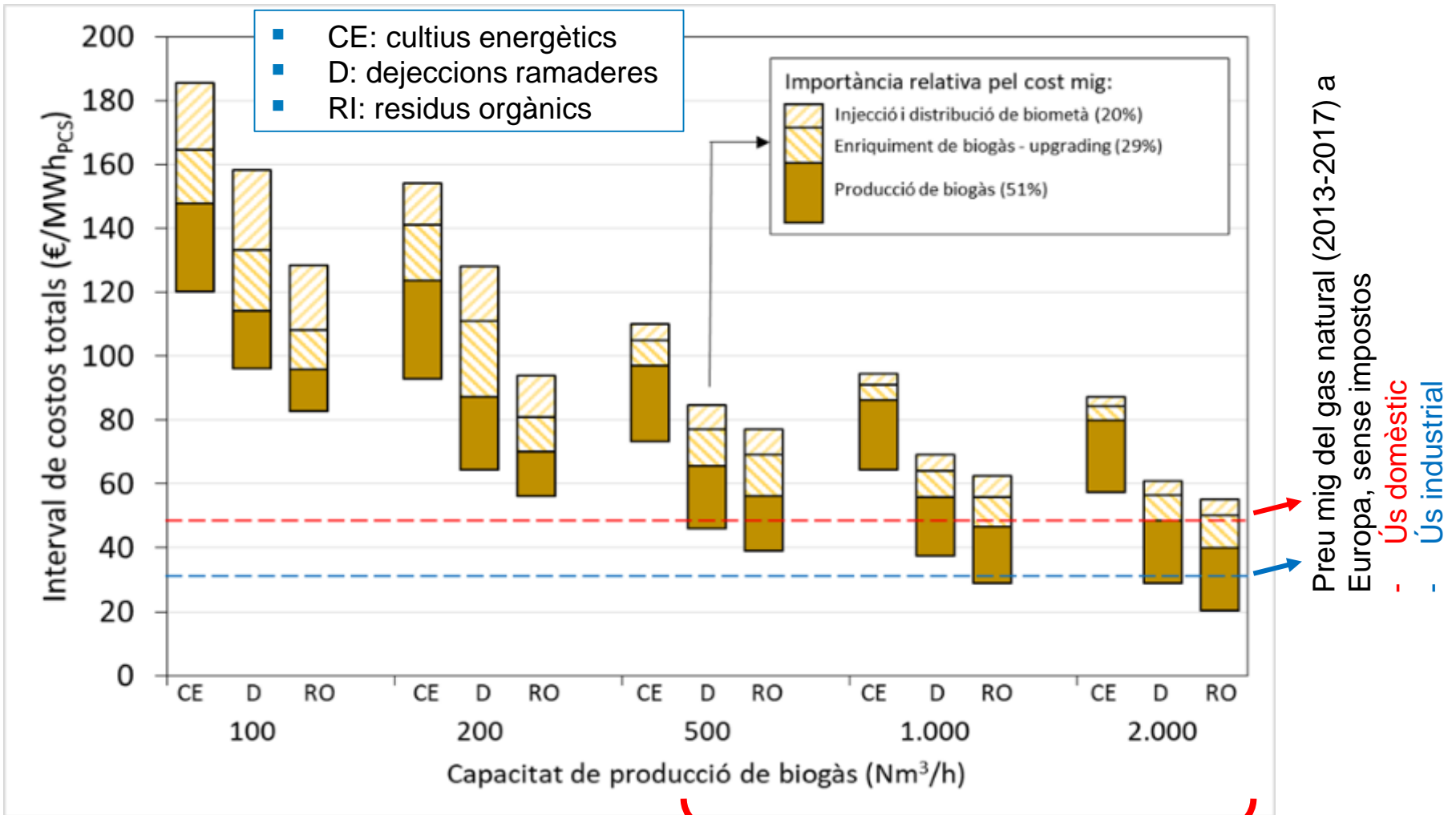
- Purins de porc @15 m³ biogàs/Tm: 0,22 MWe, 86 m³ biogàs/h
- Mescla amb residus indústria alimentària @60 m³ biogàs/Tm: 0,89 MWe, 342 m³ biogàs/h
- FORM @140 m³ biogàs/Tm: 2 MWe, 799 m³ biogàs/h



[Flotats (2019). Biogas: perspectives of an old technology.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-10961-5_13]

Costos de producció de biometà (sense considerar gestió digerit)

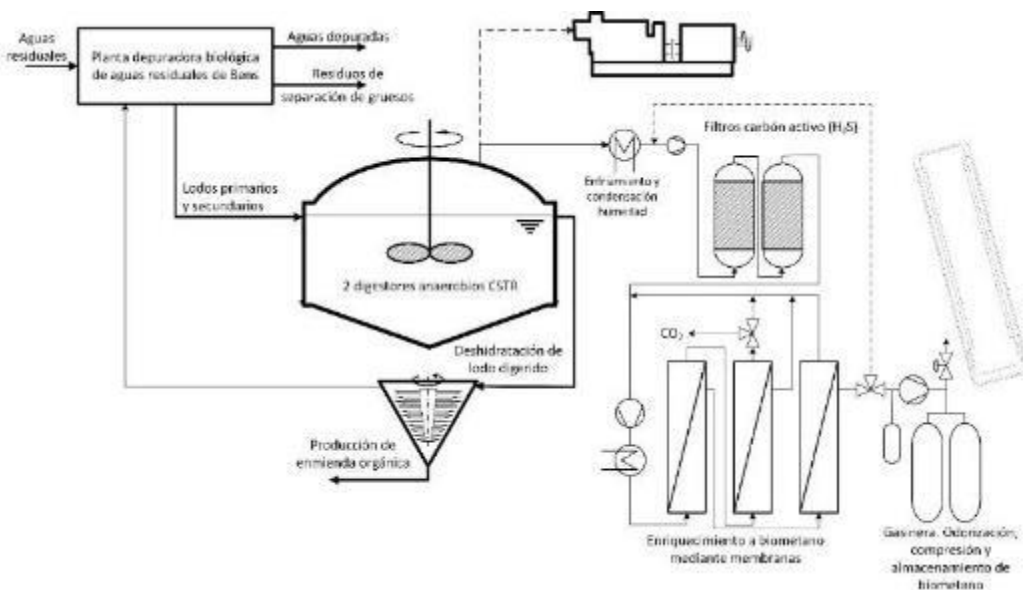


[Flotats, X. (2018). El biogàs. Actualidad y perspectiva de un gas renovable. [Publicaciones de la Fundación Naturgy, diciembre 2018.](#)]

Incerteses sobre el cost de producció

- ¿Transport matèria primera?
- ¿Cost gestió del digerit?

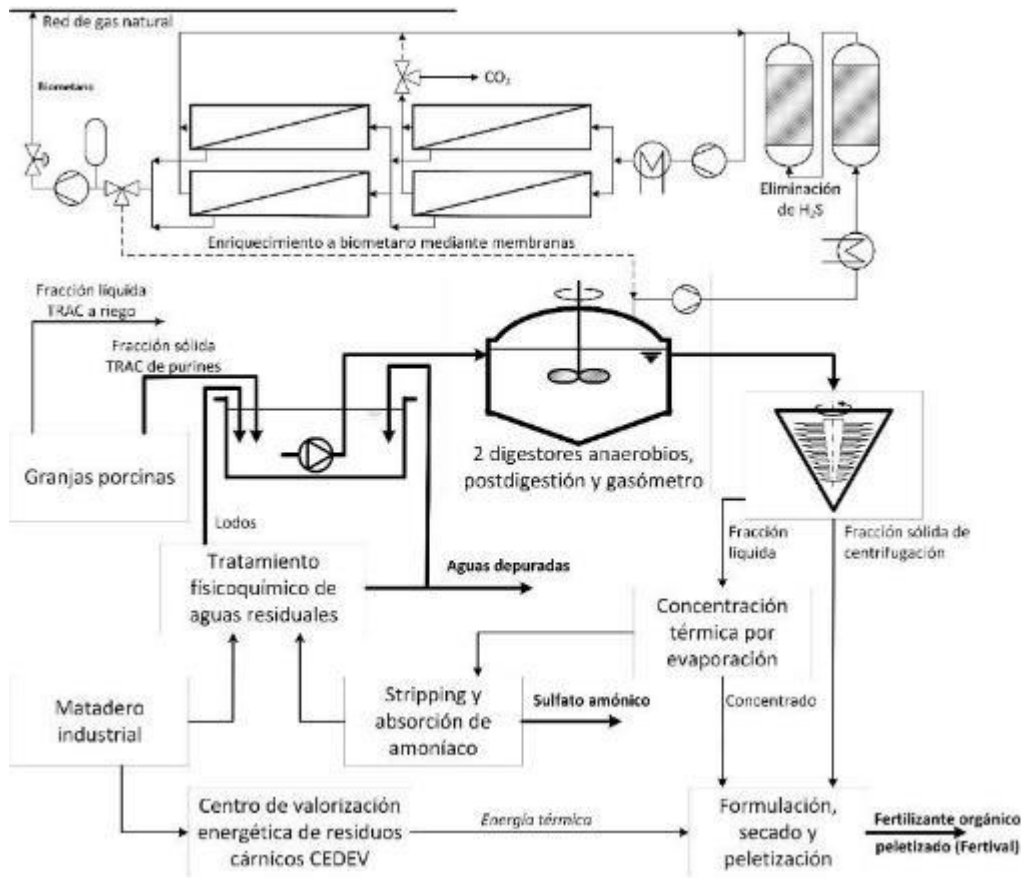
Exemple 1. Producció de biometà vehicular en una planta depuradora



Lloc: Bens (A Coruña)
 Producció biometà: 60 Nm³/h
 (5,1 GWh/a)



Exemple 2. Producció de biometà i injecció a la xarxa de gas a Bretanya (França)



Lloc: Cooperativa Cooperl (Lamballe, Bretanya)
 Producció biometà: 530 Nm³/h
 (40 GWh/a)

34

Los gases renovables Un vector energético emergente

Alvaro Feliu Jofre
Xavier Flotats Ripoll



Presentació oficial del llibre de forma digital:

Dia: 4 de juny 2020

Hora: 16:00

Accés *webinar*:

<https://www.fundacionnaturgy.org/actividades/>
(cal inscripció prèvia)

Es podrà descarregar el llibre després a:

<https://www.fundacionnaturgy.org/ca/centre-coneixement/>

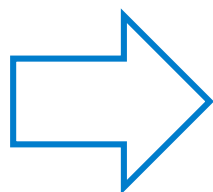
- Lloc: Granja de garrins de 4.000 truges a Gimenells (Lleida)
- Superfície: 350 ha cultius (12 ha per producció de blat de moro)
- Matèries primeres pel biogàs: **21.840 t purins/any** + 493 t ensitjat panís/any
- Producció de biogàs: 425.580 m³/any
- Potència instal·lada: Cogenerador de 100 kW_e + caldera de 200 kW_t. Usos automatitzats segons demanda electricitat/calor al llarg de l'any
- **Energia estalviada: 473 MWh_e/any + 1.600 MWh_t/any**
- Millora de la qualitat fertilitzant; inversió en adequació també del sistema complet de gestió dels purins
- Retorn inversió total: 7 anys



- A diferència del *P2G*, els projectes de biogàs i biometà afecten a moltes persones i sectors d'activitat diferents, que utilitzen llenguatges diferents. Són projectes complexos en els quals les tasques de lideratge i coordinació són essencials.
- Polítiques governamentals amb capacitat per promoure la digestió anaeròbia i la producció de biogàs/biometà: les relatives a*
 - la mitigació del canvi climàtic,
 - l'autosuficiència energètica,
 - la gestió de residus i
 - el desenvolupament regional/rural.

Mètodes:

- certificats verds, d'origen, primes a la producció d'energia renovable, drets d'emissió de CO₂,
.....



Cal visió de futur, polítiques coordinades en diferents àmbits i planificació a mig i llarg termini

*[Edwards et al. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.112>]

- **Planificar:** A curt, mig i llarg termini
- **Agrupar:** diversos sectors d'activitat, diverses àrees de coneixement, diverses institucions, persones i equips, ...
... diversos negociats de la administració
- **Conèixer:** Dedicar esforços i recursos a investigació, coneixement, formació,... a aprendre
- **Voler:** interès, desig i ambició d'actuar.

