

## El gas renovable: retos y oportunidades

Logroño, 2 de octubre de 2018



## ¿Qué es el gas renovable? Potencial y tecnologías

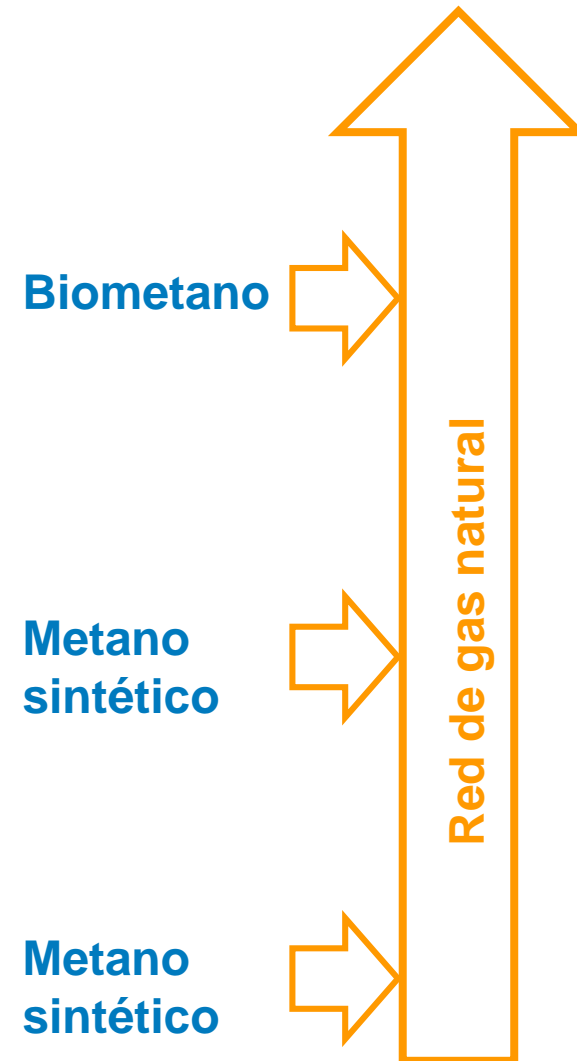
Xavier Flotats

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

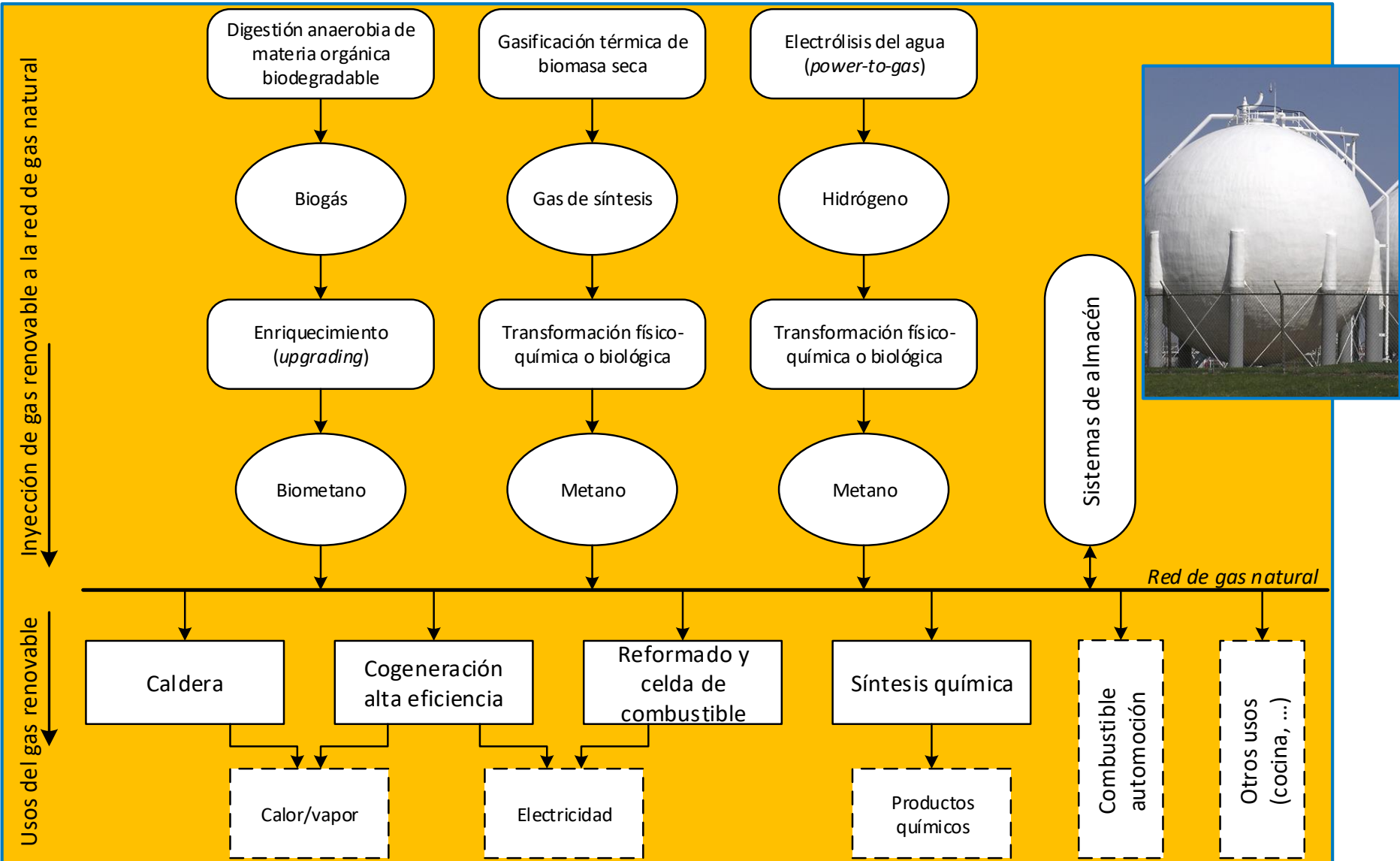
# ¿Qué son los gases renovables?

Son los gases combustibles obtenidos de materias primas o fuentes renovables. Agrupa tres tipos de gases:

- **Biogás**, obtenido mediante el proceso de digestión anaerobia de materiales orgánicos biodegradables, principalmente residuos orgánicos domésticos, industriales, lodos de depuradora y deyecciones ganaderas, así como cultivos energéticos.
- **Gas de síntesis**, obtenido mediante el proceso de gasificación térmica de materiales orgánicos, principalmente lignocelulósicos (residuos forestales y agrícolas). Eventualmente también de CDR, combustible derivado de residuos, aunque debido a su alto contenido en plásticos no debería considerarse renovable.
- **Gas de electricidad** (*power to gas*), constituido por H<sub>2</sub> obtenido a partir de electricidad renovable excedentaria mediante la electrólisis del agua.

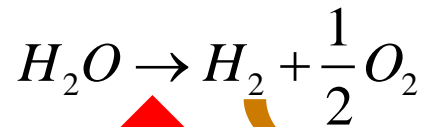


# Producción distribuida y consumo distribuido de gas renovable

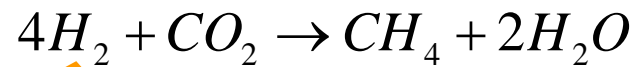


- Problema a resolver: ¿Qué hacer cuando la producción de electricidad eólica o solar excede la demanda?

*Electrólisis del agua*

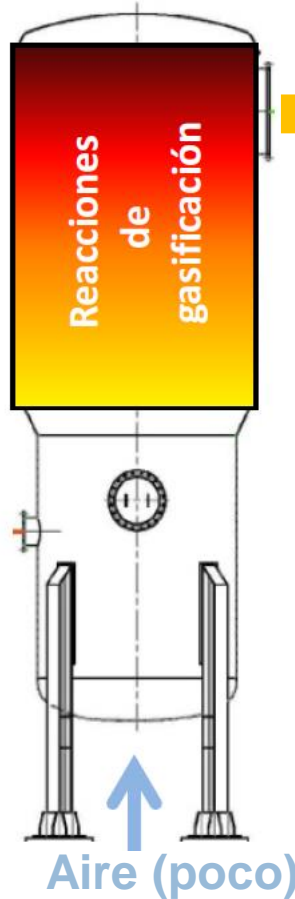


*Captura de CO<sub>2</sub> y producción biológica de metano*



- Proceso antiguo. Recordar el gasógeno
- Aplicable a biomasa (res. forestales, agrícolas, ...). Eventualmente también a CDR o CSR

Diario de Cádiz (27 abril 2017)



Syngas:  $H_2$ ,  
 $CO$ ,  $CH_4$ ,  
 $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  
 $C_xH_y$ ,  $N_2$

Usos:

- Energía eléctrica o térmica
- Síntesis de productos químicos
- Transformación:  
 $3H_2 + CO \rightarrow CH_4 + H_2O$

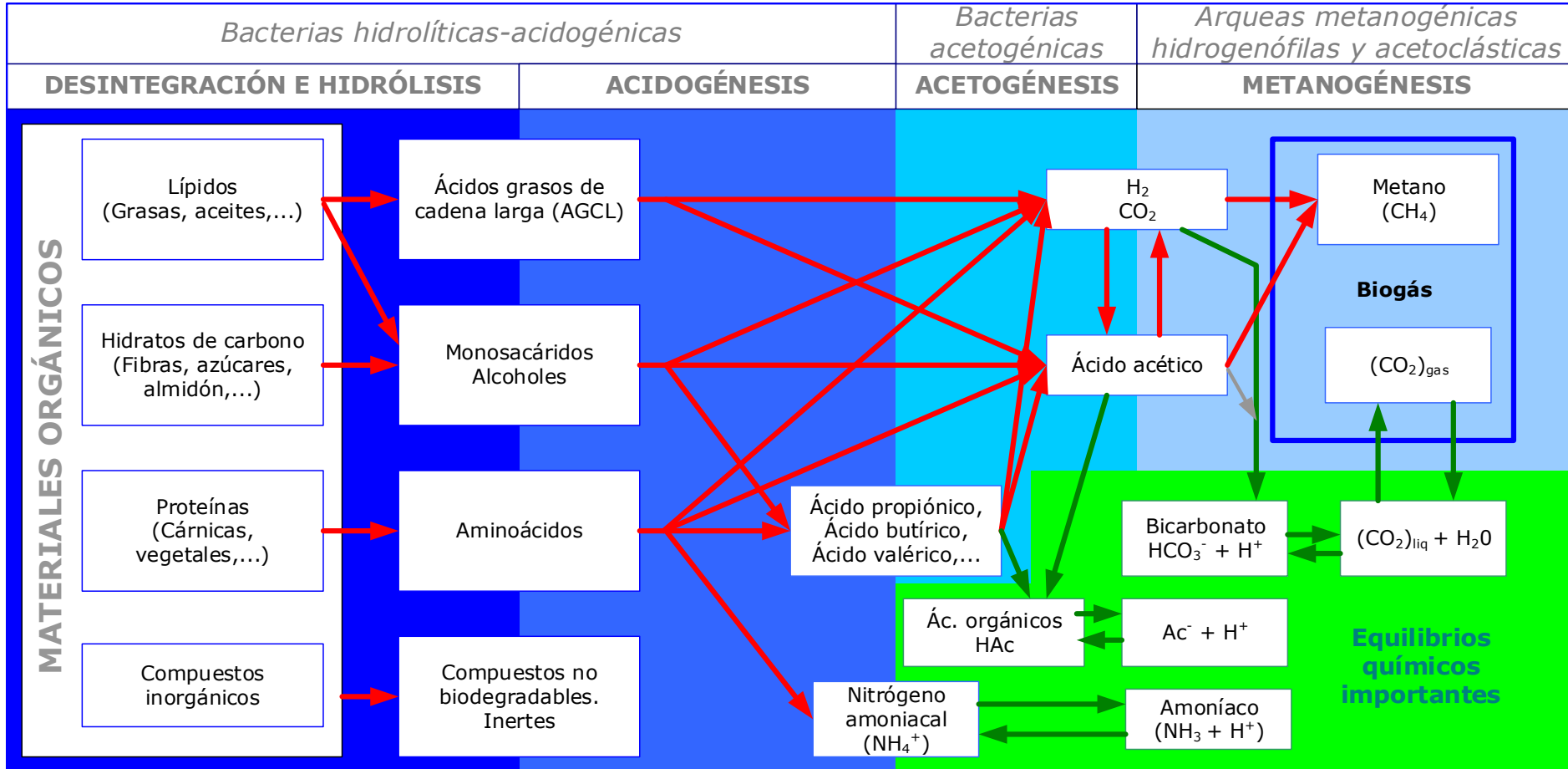


- LIPSA (Santa Perpètua de Mogoda – Barcelona)
- Biomasa (astillas forestales, madera usada, CDR,...)
  - Producción: 20 t vapor/hora, 20 MW<sub>t</sub>

- **Descomposición biológica anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica, para obtener biogás (metano + dióxido de carbono + trazas de otros gases)**
- **Aplicable a residuos y subproductos orgánicos biodegradables:**
  - **FORM,**
  - **deyecciones ganaderas,**
  - **aguas residuales y residuos industria alimentaria,**
  - **lodos biológicos,...**
- **Recupera energía solar captada a través de la fotosíntesis y almacenada en los enlaces químicos de compuestos orgánicos**



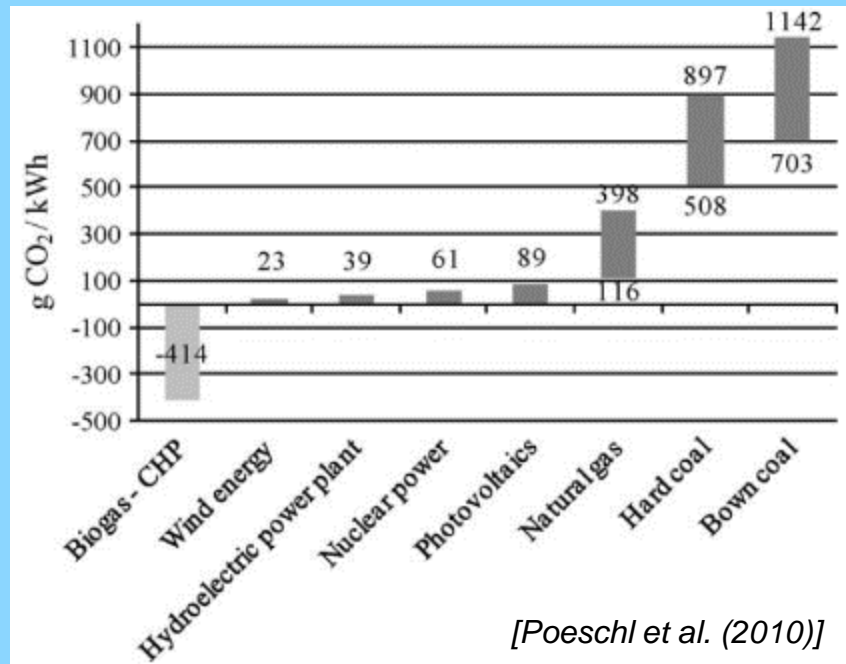
# Reacciones consecutivas y simultáneas en el digestor



Reacciones controlables para producir y recuperar ácidos grasos volátiles para la industria química [Flotats (2018)]

- Eliminación/reducción de malos olores
- Eliminación de semillas de malas hierbas, larvas y huevos de insectos
- Reducción del tamaño de partícula y viscosidad. Mejor infiltración en aplicación al suelo y reducción de emisiones de  $\text{NH}_3$
- Estabilización de la materia orgánica (MO). Reducción significativa de la MO fácilmente biodegradable
- Reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- La DA facilita la operación de procesos de recuperación de nutrientes

[Bonmatí y Flotats (2003)]

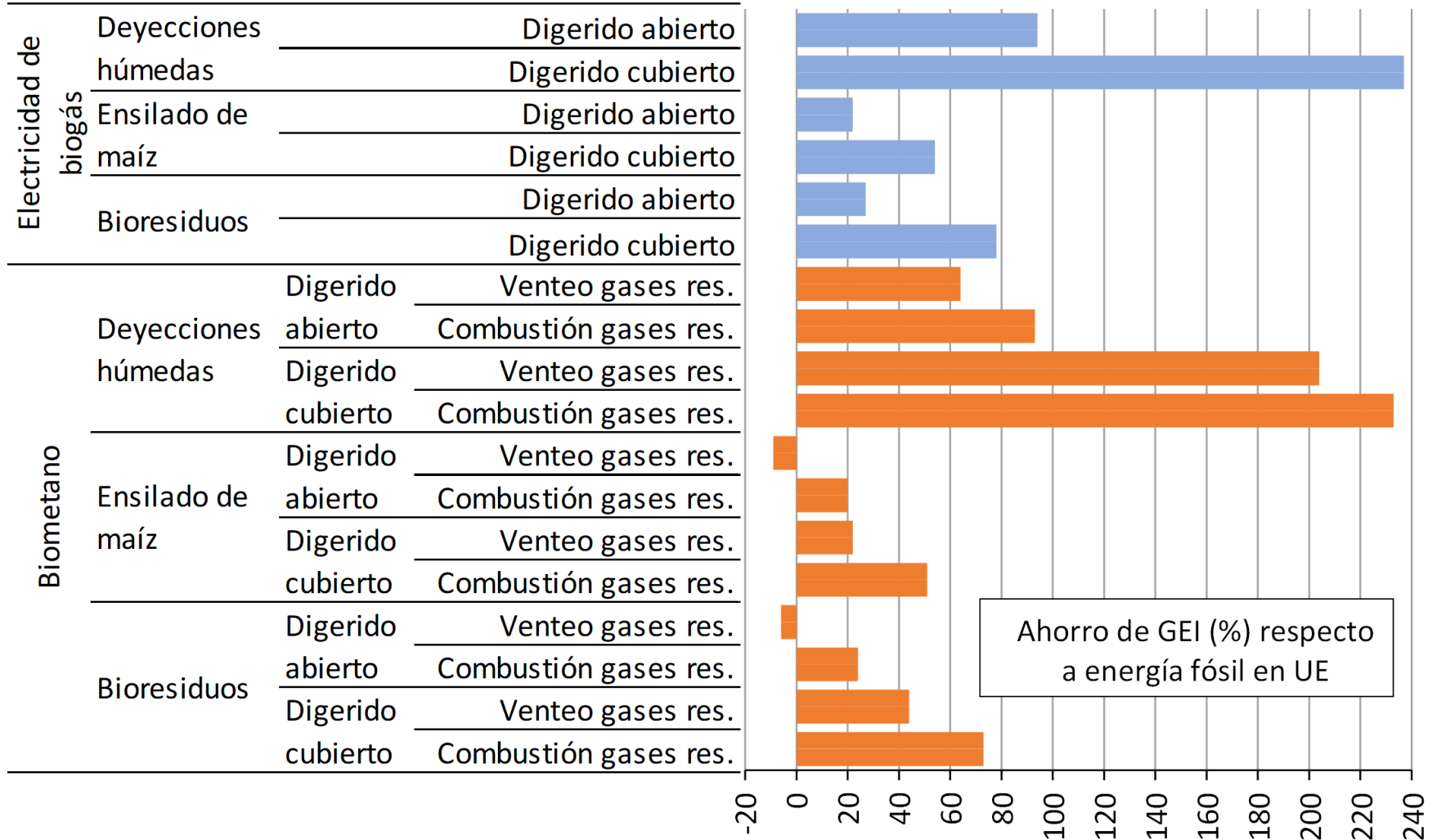


*Producción de sulfato amónico a partir de purines de cerdo*





# Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)



Ahorro relativo de GEI comparado con el mix eléctrico europeo (186 g CO<sub>2</sub> eq/MJ<sub>el</sub>) o gas natural (72 g CO<sub>2</sub> eq/MJ<sub>GN</sub>). A partir de datos de [Giuntoli et al. (2015)]

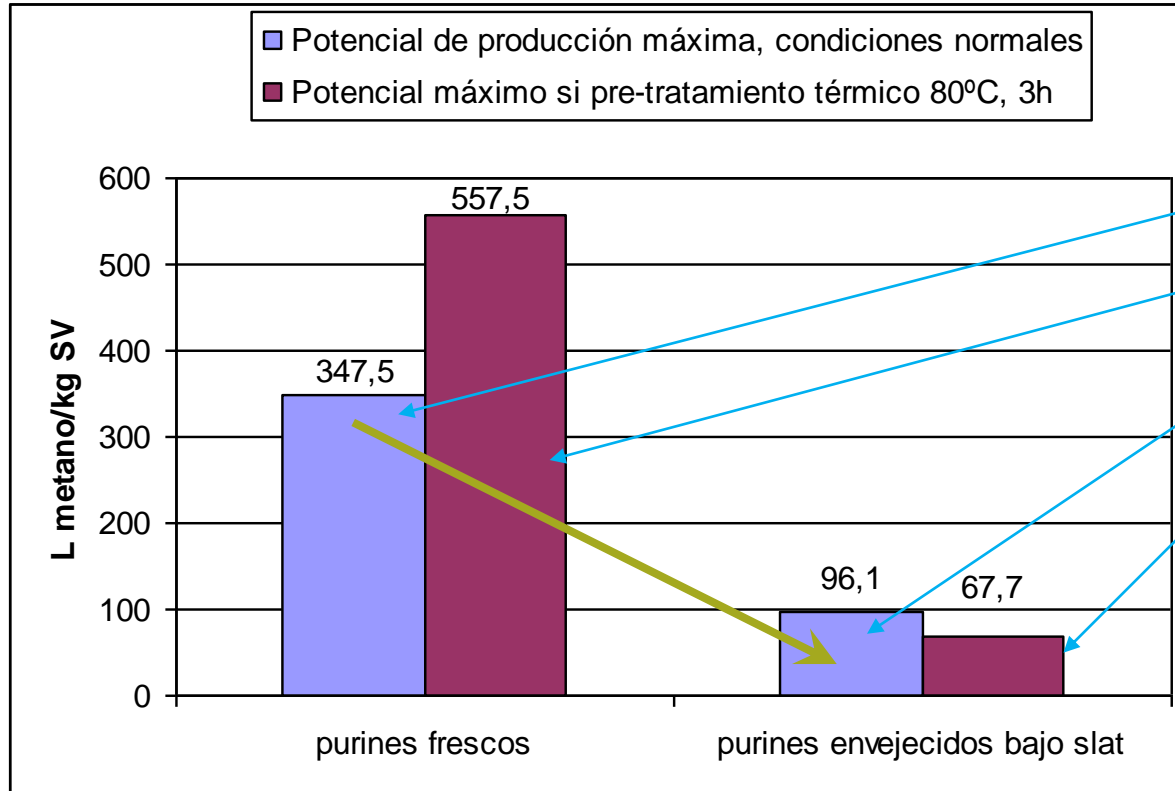


# Potenciales de producción de CH<sub>4</sub> para diferentes sustratos

Organic substrate	Yield potential (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS)	Organic substrate	Yield potential (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS)
<b><i>Organic Fraction of Municipal Solid Waste</i></b>		<b><i>Wastewater treatment plants</i></b>	
Mechanically sorted (MS)	0.160 – 0.370	Primary sludge (urban)	0.307 – 0.489
Separately collected (SC)	0.450 – 0.490	Secondary sludge (urban)	0.191 – 0.244
Sorted domestic source (SS)	0.370 – 0.400	Grease waste (urban)	0.405 – 0.540
Fruit and vegetable waste	0.288 – 0.516	Grease sludge ( meat processing)	0.845 – 0.928
<b><i>Livestock manure</i></b>		<b><i>Energy crops</i></b>	
Pig manure	0.067 – 0.557	Maize (whole crop)	0.204 – 0.450
Cattle manure	0.280 – 0.540	Barley	0.353 – 0.658
Poultry manure	0.228 – 0.390	Grass	0.298 – 0.467
Solid fraction pig manure	0.178 – 0.496	Alfalfa	0.340 – 0.500
<b><i>Industrial organic waste</i></b>		Miscanthus	0.179 – 0.218
Stomach/intestinal waste	0.400 – 0.460	Beet fodder	0.420 – 0.500
Slaughterhouse waste (piggery)	0.580 – 0.960	Microalgae	0.106 – 0.209
Slaughterhouse waste (poultry)	0.460 – 0.480	<b><i>Catch crops</i></b>	
Coffee waste	0.240 – 0.280	<i>Raplanus sativus</i>	0.274 – 0.474
Citrus waste	0.314 – 0.548	<i>Brassica napus</i>	0.334 – 0.448
Fish waste	0.398 – 0.573	<i>Avena sativa</i>	0.250 – 0.527
Crude glycerol (biodiesel prod.)	0.780 – 0.826		

A menudo necesario un pre-tratamiento para estar en el máximo del intervalo

# La producción de biogás también depende de la “edad” de los purines



Con 3,4% SV:

18,1 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>

29,1 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>

5,0 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>

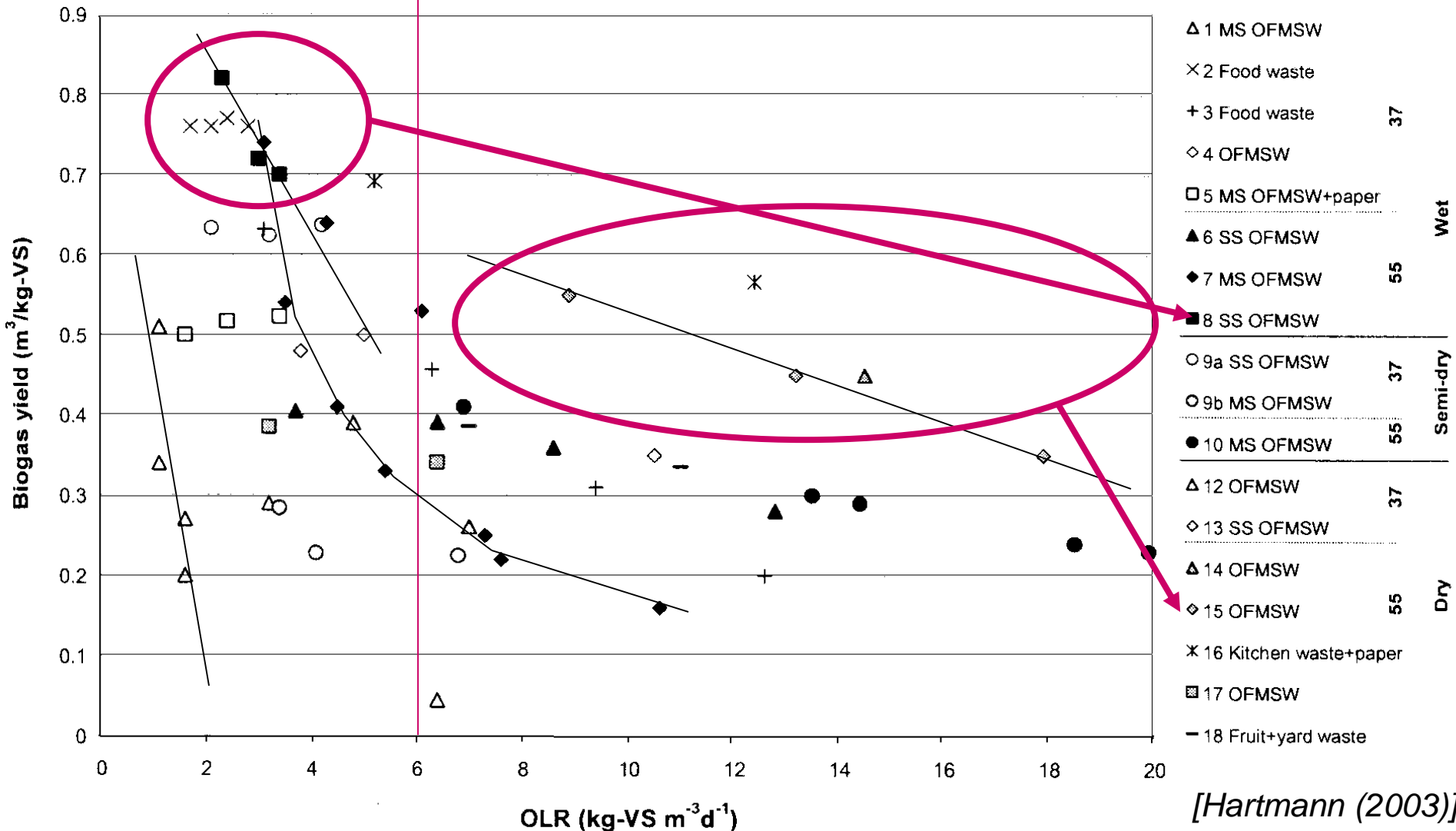
3,5 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>

**Son potenciales. Su realización depende del tiempo de retención del digestor. Usual realizar 60-75%**

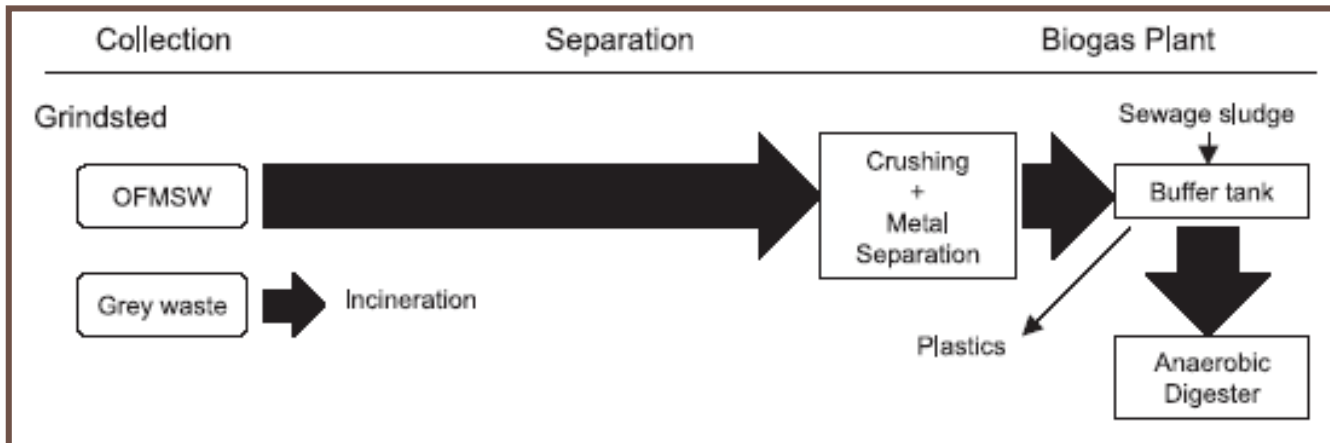
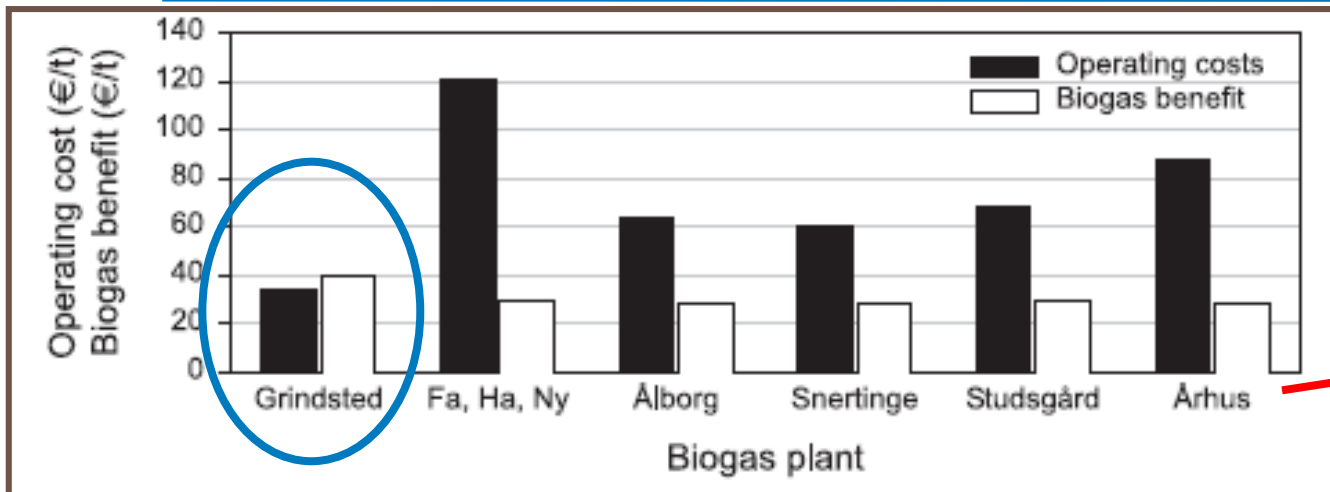
- Los valores bajos de producción explican las bajas producciones de plantas de biogás a principios de los años 80, y de algunas centralizadas actuales.
- Se han de tratar los purines tan pronto sea posible y evitar la práctica de almacén en la fosa. También para mejorar separación S/L (Kunz *et al.*, 2009)

# Producción de biogás de FORM

Producción de biogás vs. carga orgánica (OLR) para diferentes instalaciones de Dinamarca tratando la fracción orgánica de residuos municipales (OFMSW). SS: separación en origen; MS: separación mecánica.



# Viabilidad del tratamiento de FORM



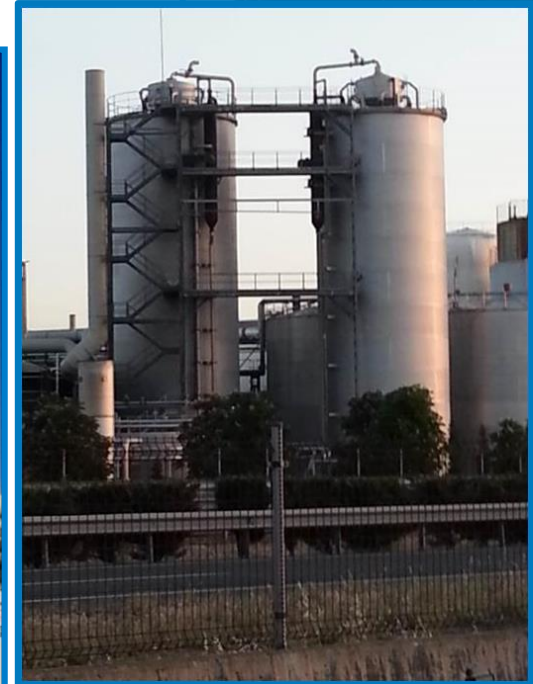
## Piezas clave en Grindsted (Dinamarca):

- Gran inversión en participación ciudadana
- Más biogás y más valor del digerido
- No necesidad de una costosa separación mecánica previa



# Tecnologías de digestión anaerobia

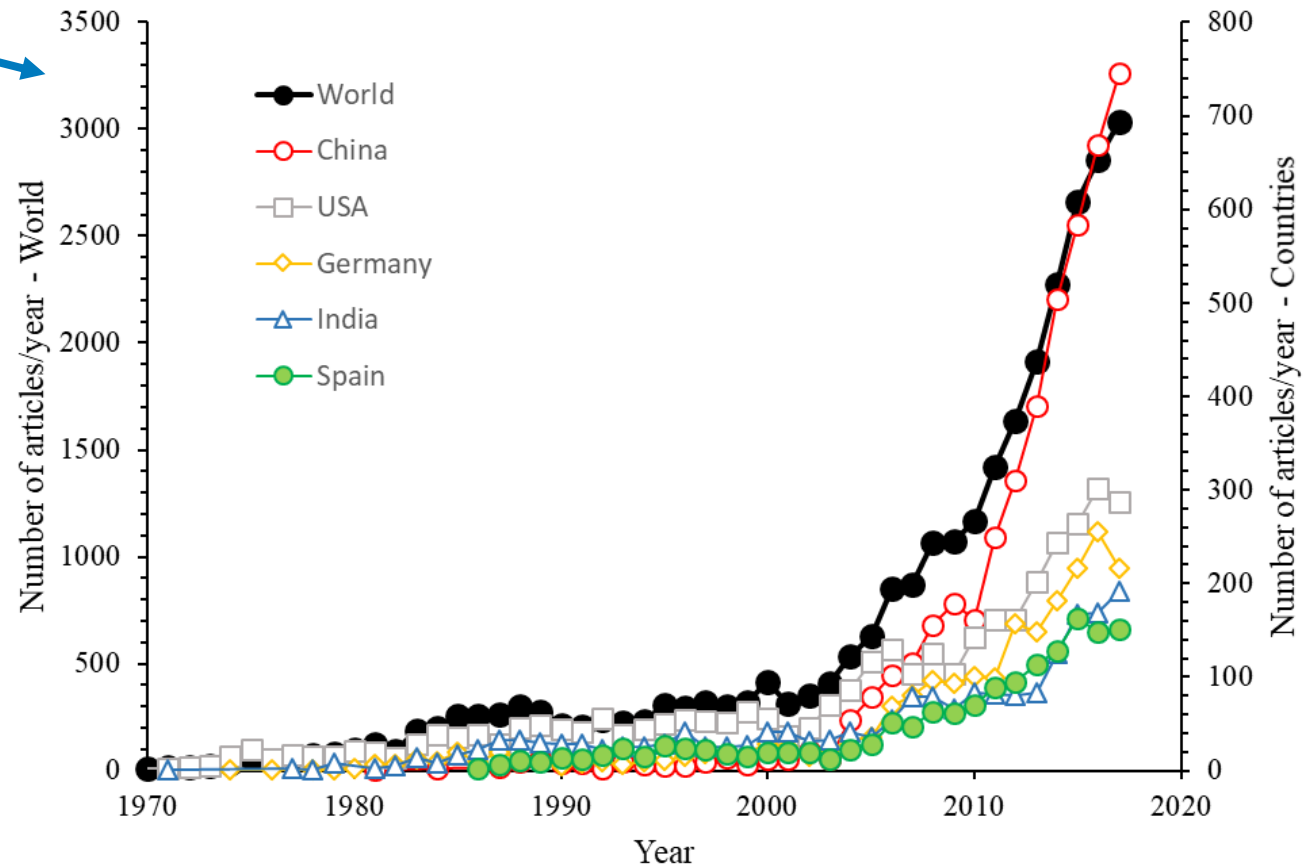
## Diseños adaptables a casi cualquier situación



[Flotats et al. (2016)]

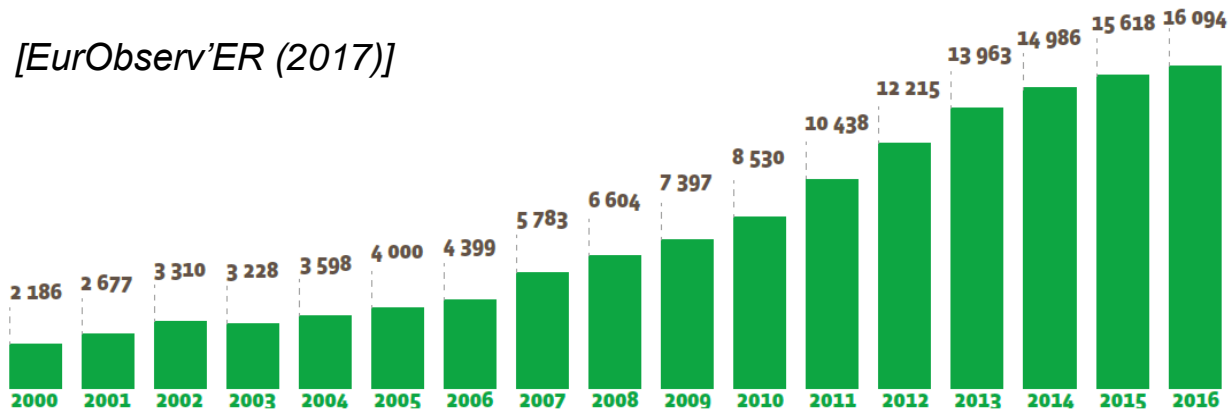
- Número de artículos científicos publicados hasta 2017 con las palabras “anaerobic digestion” o “biogas” en el título, resumen o palabras clave (según base de datos SCOPUS)

- Existe un desacoplamiento entre la potencia demostrada de la investigación en España y su desarrollo industrial
- El mercado ha de activarse



- Plantas de biogás:  
 China: 41,8 millones (domésticas rurales), 31.700 (industriales)  
 USA: 2.100  
 Alemania: 9.300

[EurObserv'ER (2017)]



Source: EurObserv'ER 2017

Primary production of biogas in the European Union in 2015 and 2016\* (in ktoe)

Country	2015				2016*			
	Landfill biogas	Sewage sludge biogas <sup>(1)</sup>	Others biogas from anaerobic fermentation <sup>(2)</sup>	Total	Landfill biogas	Sewage sludge biogas <sup>(1)</sup>	Others biogas from anaerobic fermentation <sup>(2)</sup>	Total
Germany	94.0	451.7	7 306.6	7 852.4	84.6	461.5	7 410.2	7 956.3
United Kingdom	1 450.8	327.8	473.8	2 252.4	1 400.4	345.6	660.9	2 406.9
Italy <sup>(3)</sup>	369.0	53.5	1 448.9	1 871.5	400.1	58.0	1 570.8	2 028.9
Czech Republic	27.1	40.0	546.2	613.4	25.4	41.5	534.0	601.0
France	355.0	31.7	152.3	539.0	350.0	35.0	194.6	579.6
Netherlands	19.5	55.3	252.2	327.0	16.4	57.5	250.5	324.4
Austria	4.4	11.3	284.3	300.1	3.1	11.7	294.0	308.9
Poland	50.8	96.6	81.5	228.8	51.0	100.0	121.8	272.8
Belgium	25.7	24.1	176.9	226.7	26.8	25.2	184.6	236.6
Spain	140.6	70.4	50.6	261.6	124.1	62.1	44.6	230.8
<b>EU 28</b>	<b>2 829.1</b>	<b>1 354.8</b>	<b>11 433.8</b>	<b>15 617.8</b>	<b>2 773.0</b>	<b>1 393.5</b>	<b>11 927.1</b>	<b>16 093.6</b>

## Producción de biogás en Europa

- 18.000 plantas de biogás en Europa
- 62,46 TWh<sub>e</sub> (0,89 TWh<sub>e</sub> en España) en 2016
- 497 plantas inyectando biometano a la red de gas natural (15,6 TWh)



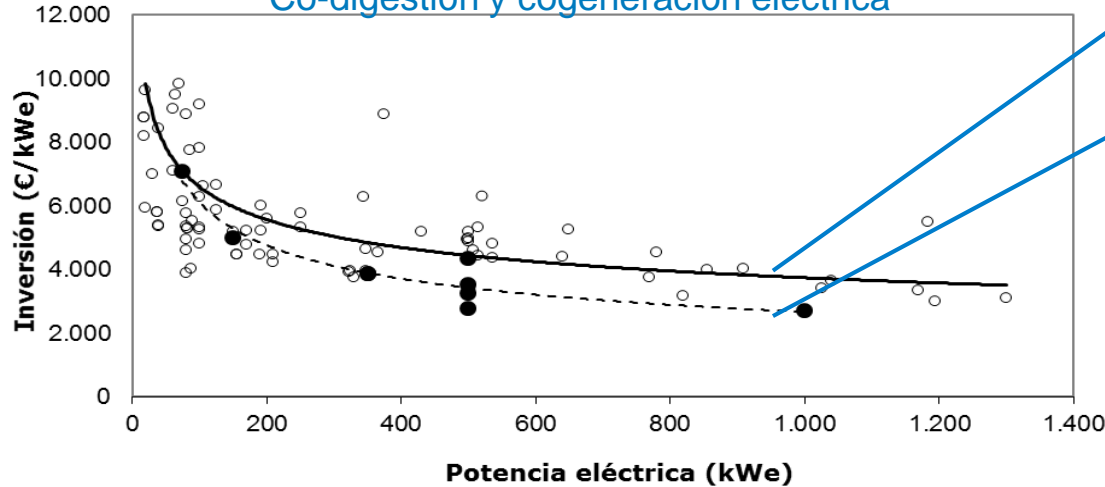
Tabla 19. Resumen de resultados potencial total, accesible y disponible (ktep/año)

	Potencial total (ktep/año)	Potencial accesible (ktep/año)	Potencial disponible (ktep/año)
Biogás de la fracción orgánica de residuo sólido urbano (FORSU)	778,1	311,2	124,5
Biogás de vertedero (VER)	957,9	208,8	145,6
Biogás de estaciones depuradoras urbanas de aguas residuales (EDAR)	164,4	123,3	N.D.
<b>Subtotal biogás FORSU+VER+EDAR</b>	<b>1.122,3</b>	<b>434,5</b>	<b>270,1</b>
Ganadería	2.925,5	1.361,6	1.130,3
Industrias alimentarias (origen animal)	135,7	135,7	81,4
Industrias alimentarias (origen vegetal)	215,9	215,9	117,1
Industrias alimentarias (lodos EDARI)	15,9	15,9	12,7
Distribución alimentaria (DAL)	33,8	27,0	27,0
Hoteles, restaurantes y catering (HRC)	47,4	37,9	37,9
Plantas de biocombustibles	93,3	93,3	18,7
<b>Subtotal biogás agroindustrial</b>	<b>3.467,5</b>	<b>1.887,4</b>	<b>1.425,1</b>
<b>Total biogás</b>	<b>4.589,8</b>	<b>2.321,9</b>	<b>1.695,2</b>

# Costes de producción del biogás/biometano.

## Costes de inversión

Co-digestión y cogeneración eléctrica



*Flotats y Sarquella (2008)*. Materia prima base: deyecciones ganaderas

*Hartmann et al. (2012)*. Materia prima base: cultivos energéticos

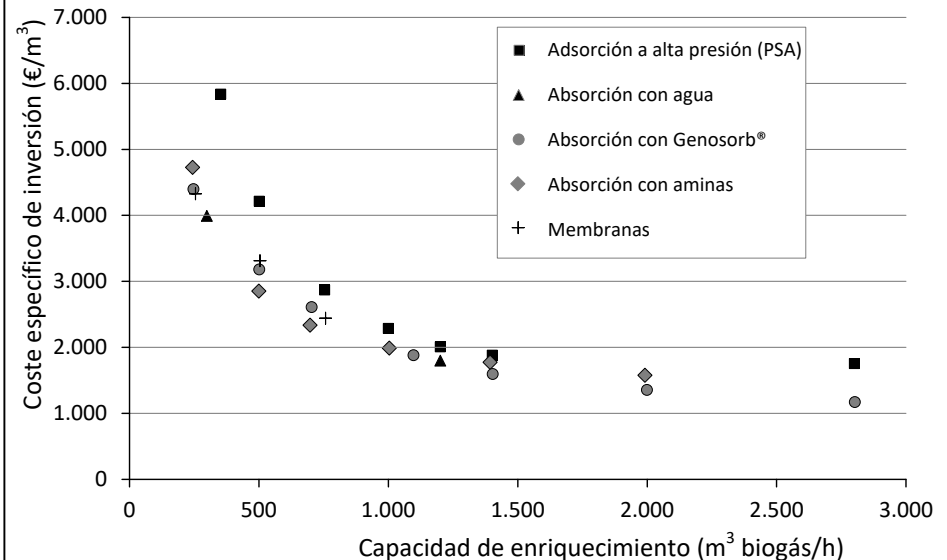
**Costes unitarios muy dependientes de la producción específica de la materia prima**

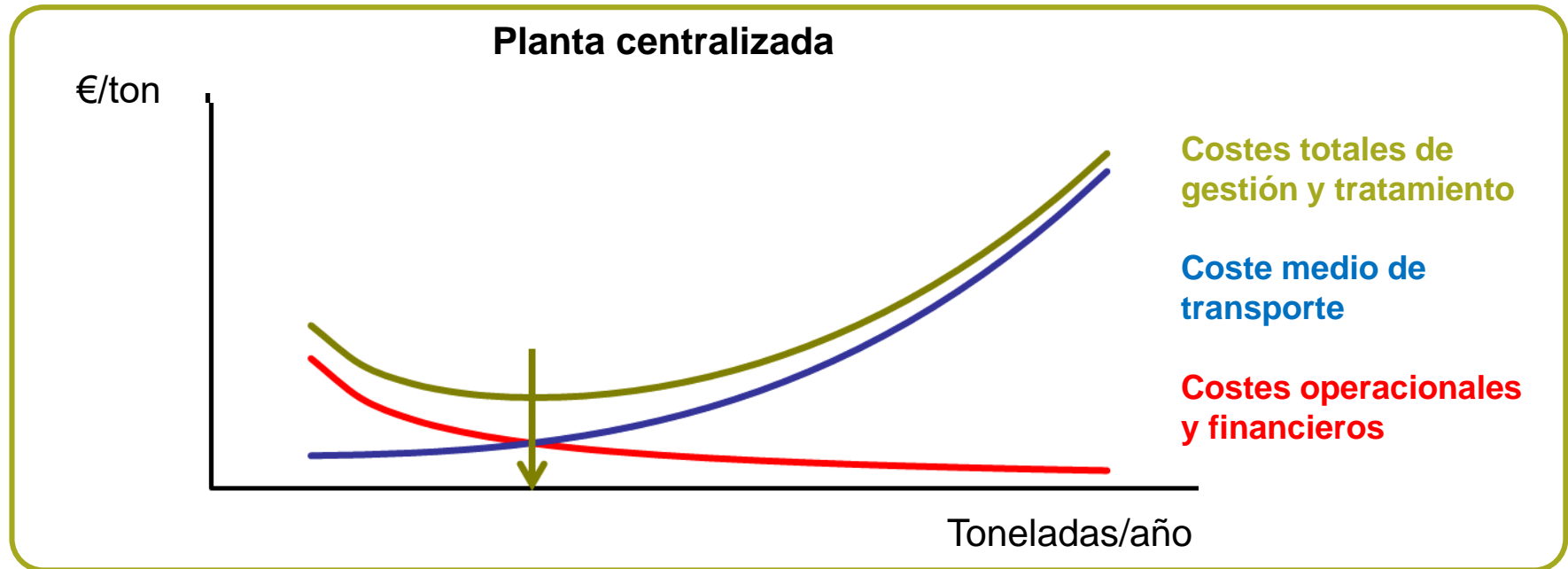
Ejemplo: 50.000 Tm/año,  $\eta_e=40\%$ ,  
65% CH<sub>4</sub>/biogás

- Purines de cerdo @15 m<sup>3</sup> biogás/Tm: 0,22 MWe, 86 m<sup>3</sup> biogás/h
- Mezcla con residuos industria alimentaria @60 m<sup>3</sup> biogás/Tm: 0,89 MWe, 342 m<sup>3</sup> biogás/h
- FORM @140 m<sup>3</sup> biogás/Tm: 2 MWe, 799 m<sup>3</sup> biogás/h

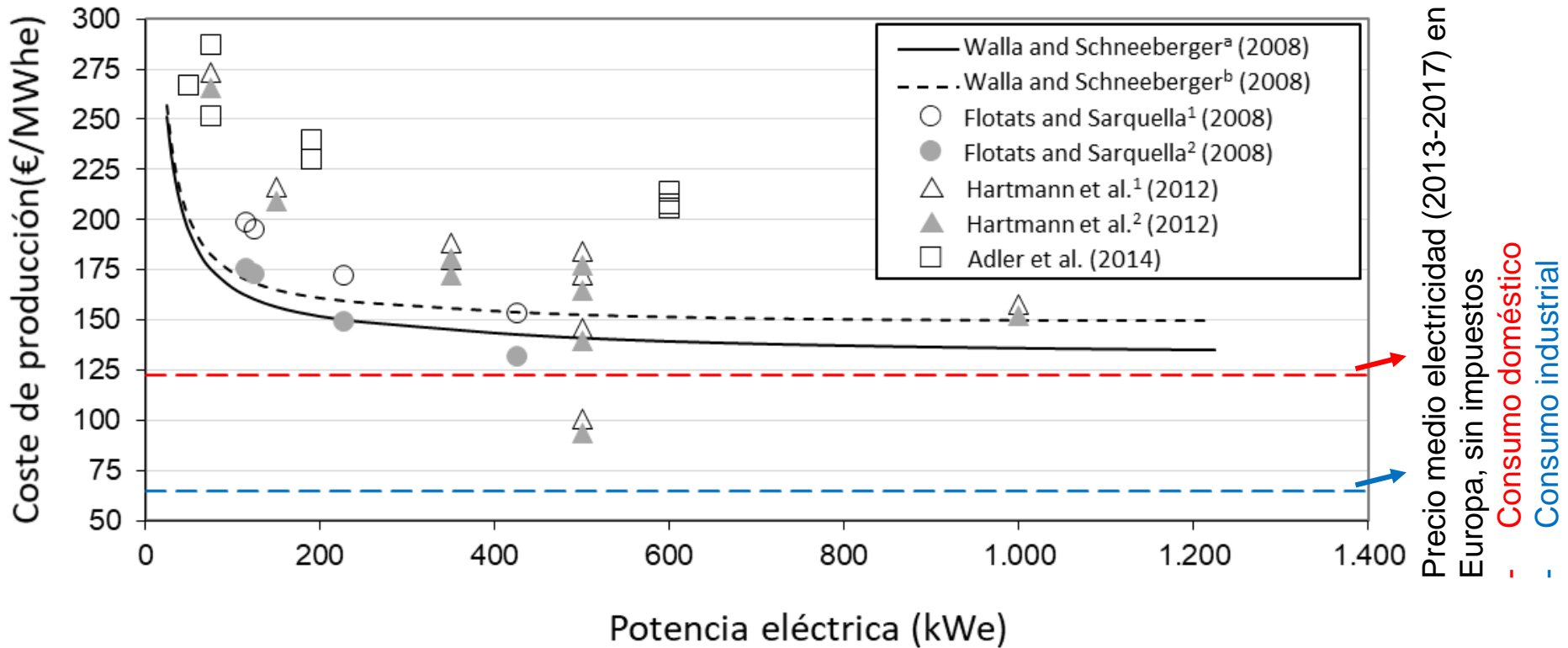
[Flotats et al. (2016)]

Enriquecimiento de biogás a biometano (*Beil y Beyrich, 2013*)





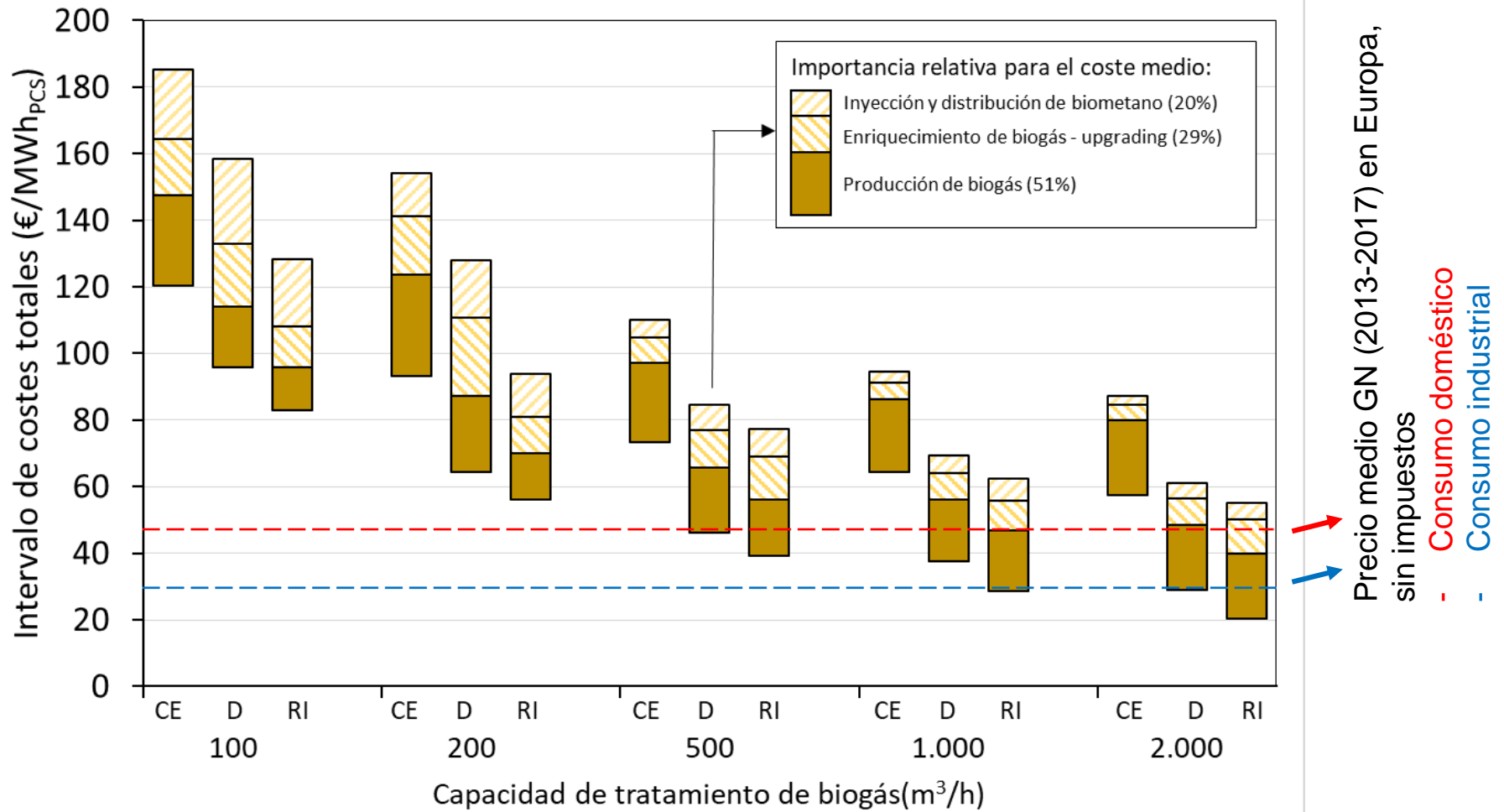
- Alta densidad e intensidad de granjas
  - Coste de transporte baja → tamaño óptimo elevado
- Baja densidad e intensidad de granjas (largas distancias para recoger y gestionar una cantidad dada de deyecciones)
  - Coste de transporte sube → tamaño óptimo baja
- Subsidios para tratamiento o producción de biogás → costes financieros y/o de operación bajan → tamaño óptimo baja



- a: maíz, sin costes de su transporte
  - b: maíz, con costes (20% disponibilidad)
  - 1: sin venta energía térmica
  - 2: con venta de energía térmica
- No valorado coste gestión digerido

- **Son necesarias políticas de soporte para el éxito de la implantación**
- **Estos datos explican porqué hay más instalaciones y más pequeñas en países con una política decidida en este ámbito**

# Costes de producción de biometano



- CE: cultivos energéticos
- D: deyecciones ganaderas
- RI: residuos orgánicos

[Flotats (2018)]

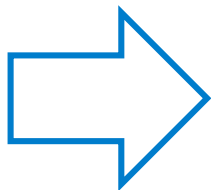
**Incertidumbre sobre coste de producción**

- ¿Transporte materia prima?
- ¿Coste gestión del digerido?

- Políticas gubernamentales con capacidad para promover la digestión anaerobia y la producción de biogás/biometano (Edwards *et al.*, 2015): las relativas a
  - la mitigación del cambio climático,
  - la autosuficiencia energética,
  - la gestión de residuos y
  - el desarrollo regional/rural.

Métodos:

- certificados verdes, primas a la producción de energía renovable, derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, impuestos a fertilizantes nitrogenados de síntesis, .....



**Necesidad de visión de futuro,  
políticas concertadas en diferentes  
ámbitos y planificación a largo plazo**

- Un futuro basado en energías renovables necesita del gas renovable
- Existe tecnología implantada y probada para que el gas renovable sea una realidad
- La digestión anaerobia es un proceso flexible y adaptable a multitud de situaciones y objetivos, con beneficios ambientales
- La inyección a la red de biometano permite el uso del gas allí donde es posible la máxima eficiencia energética
- Las líneas de investigación científica en este campo en España están consolidadas y reconocidas a nivel internacional
- Tal vez los futuros precios de los combustibles fósiles ya justificarán la implantación general de las tecnologías, pero hasta entonces ....
- ... deben haber políticas de soporte a la transición energética (primas a la producción de energía, certificados verdes,.....)



*Efecto de cargar todos los ingresos sólo a la venta de energía*

- Adler P, Billig E, Brosowski A, Daniel-Gromke J, Falke I, Fischer E, Grope J, Holzhammer U, Postel J, Schnutenhaus J, Stecher K, Szomszed G, Trommler M, Urban W (2014) Leitfaden Biogasaufbereitung und-einspeisung (Guideline biogas treatment and feeding), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prutzen.  
[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden\\_biogaseinspeisung-druck-web.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden_biogaseinspeisung-druck-web.pdf)
- Beil M, Beyrich W (2013) Biogas upgrading to biomethane. In: Wellinger A, Murphy J, Baxter D (eds) The biogas handbook: Science, production and applications. Woodhead Publishing Series in Energy Number 52. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, p 342-377
- Bonmatí A, Flotats X, Mateu L, Campos E (2001) Study of thermal hydrolysis as a pre-treatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. *Wat Sci Technol*, 44:109-116.
- Bonmatí A, Flotats X (2003) Air Stripping of Ammonia from Pig Slurry: Characterization and Feasibility as a Pre- or Post-Treatment to Mesophilic Anaerobic Digestion. *Waste Management* 23:261-272. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00144-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00144-7)
- Edwards J, Othman M, Burn S (2015) A review of policy drivers and barriers for the use of anaerobic digestion in Europe, the United States and Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52: 815-828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.112>
- EurObserv'ER (2017) Biogas Barometer. <https://www.eurobserv-er.org/biogas-barometer-2017>
- Flotats X, Sarquella L (2008) Producció de biogàs per codigestió anaeròbia. Col·lecció Quadern Pràctic, número 1. Institut Català d'Energia, Barcelona. <http://hdl.handle.net/2117/2265>
- Flotats X, Bonmatí A, Fernández B, Sales D, Aymerich E, Irizar J, Palatsi J, Romero LI, Pérez M, Vicent T, Font X (2016). Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión anaeròbica. Volumen II.4 de la colección De Residuo a Recurso, el camino hacia la sostenibilidad. Red Española de Compostaje, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 9788484766292. 442 pp. <http://hdl.handle.net/2117/98796>



- Flotats X (2017) Implantación de la digestión anaerobia en el sector agropecuario. En: Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia. Cátedra Facsa de Innovación en el Ciclo Integral del Agua, Servicio de Publicaciones de la Universidad Jaume I (Castellón, España). <https://doi.org/10.6035/UJI.FACSA.2018.2>
- Flotats X (2018) Biogas – perspectives of an old technology. In: Bastidas-Oyanedel. J.R., Schmidt, J.E. (eds.), Biorefinery – Integrated Sustainable Processes for Biomass Conversion to Biomaterials, Biofuels, and Fertilizers. Springer International Publishing AG (in press)
- Giuntoli J, Agostini A, Edwards R, Marelli L (2015) Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. JRC Science and Policy Reports, European Commission, Report EUR 27215. doi: <http://dx.doi.org/10.2790/299090>
- Hartmann H (2003) Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water. PhD Thesis. BioCentrum-DTU. Technical University of Denmark.
- Hartmann S, Wirth B, Niebaum N, Döhler H, Keymer U, Reinhold G (2012) Economics. In: Guide to biogas. From production to use. Ed. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Abt. Öffentlichkeitsarbeit, Gülzow (Germany), p 159-178. [https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide\\_biogas\\_engl\\_2012.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide_biogas_engl_2012.pdf)
- Kunz A, Steinmetz RLR Ramme MA, Coldebella A (2009) Effect of storage time on swine manure solid separation efficiency by screening. Bioresource Technology, 100: 1815–1818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.022>
- Pascual A, Ruiz B, Gómez P, Flotats X, Fernández B (2011) Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDAE, Madrid. [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e16\\_biogas\\_db43a675.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf)
- Poeschl M, Ward S, Owende P (2010) Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. Renew Sust Energ Rev 14:1782–1797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.010>
- Walla C, Schneeberger W (2008) The optimal size for biogas plants. Biomass Bioenerg 32:551-557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.009>