

IRTA

RESEARCH & TECHNOLOGY

FOOD & AGRICULTURE

GIRO

integral management
of organic waste

IRTA
RESEARCH | TECHNOLOGY
AGRIALIMENTARIES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

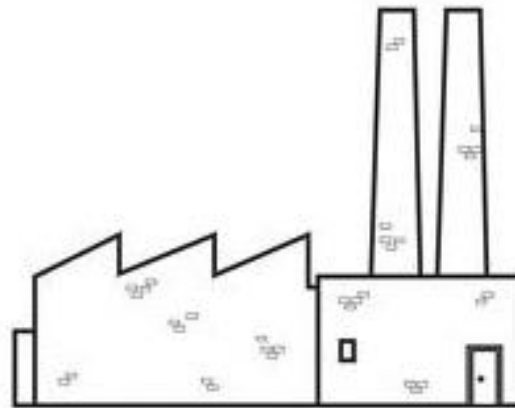
Integración de los sistemas bioelectroquímicos con la digestión anaerobia para optimizar la recuperación de energía y nutrientes

A. Bonmatí, M. Cerrillo



1ª Jornada Técnica en depuración de aguas residuales: Digestión Anaerobia

7-8 Julio, 2016
Castellón



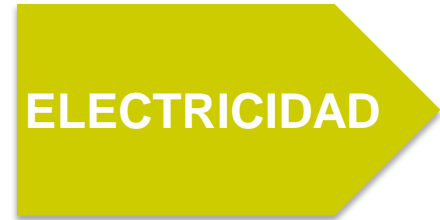
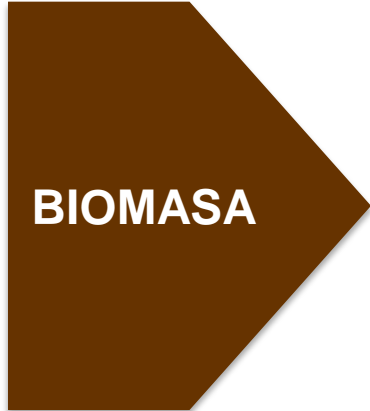
BIOREFINERÍA



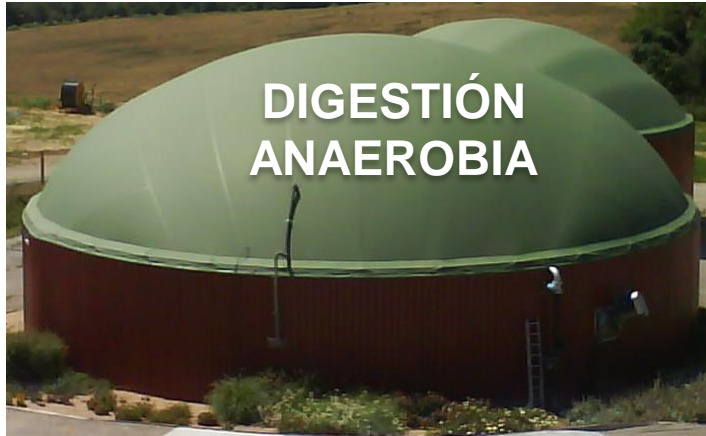


- Influyente de alta carga orgánica
- Inhibiciones (N-NH_4^+ , lípidos, etc.)
- El efluente a menudo necesita postratamiento y/o gestión correcta

TRATAMIENTO



Biorefinería - Sistema combinado DA + BES

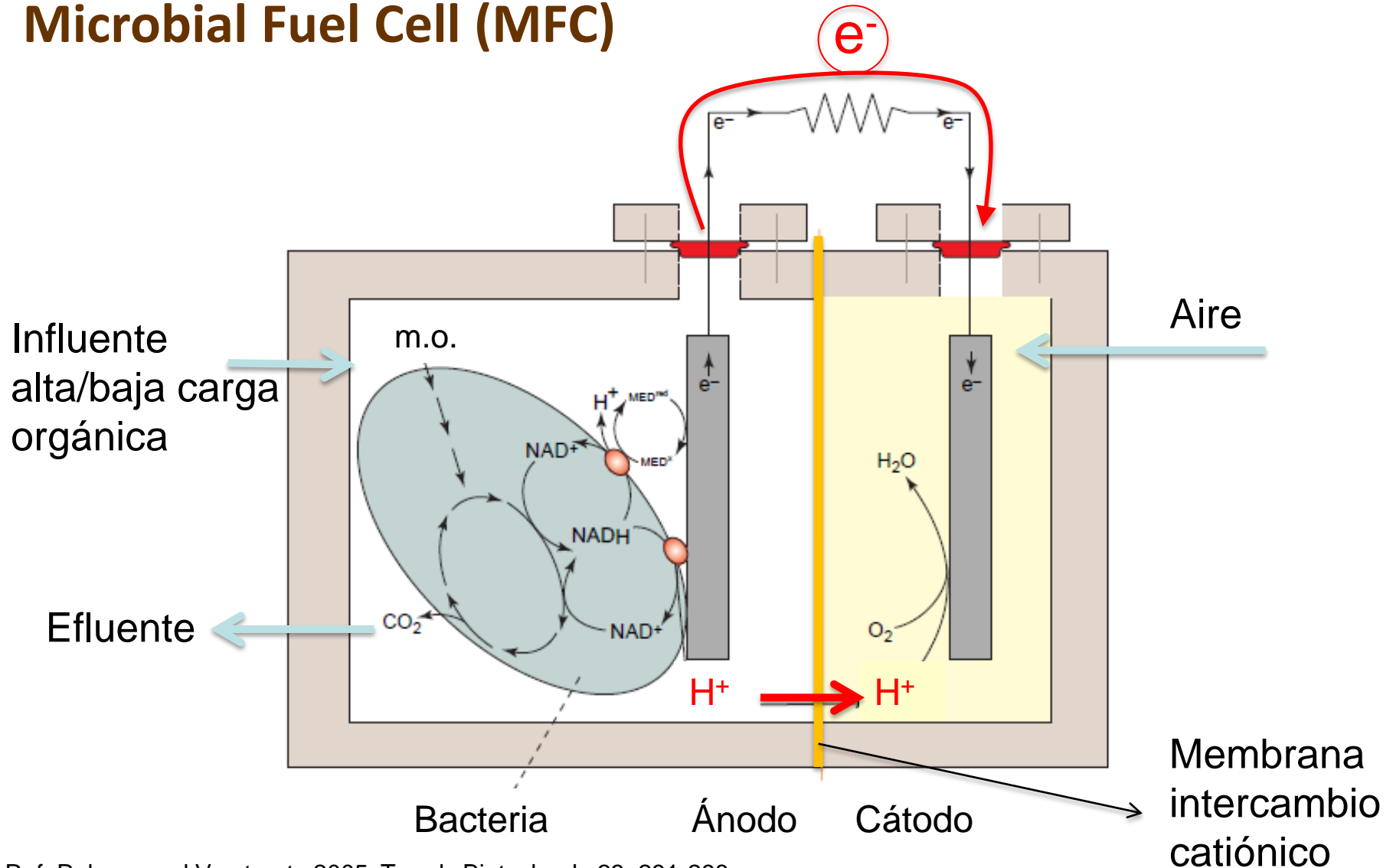


+

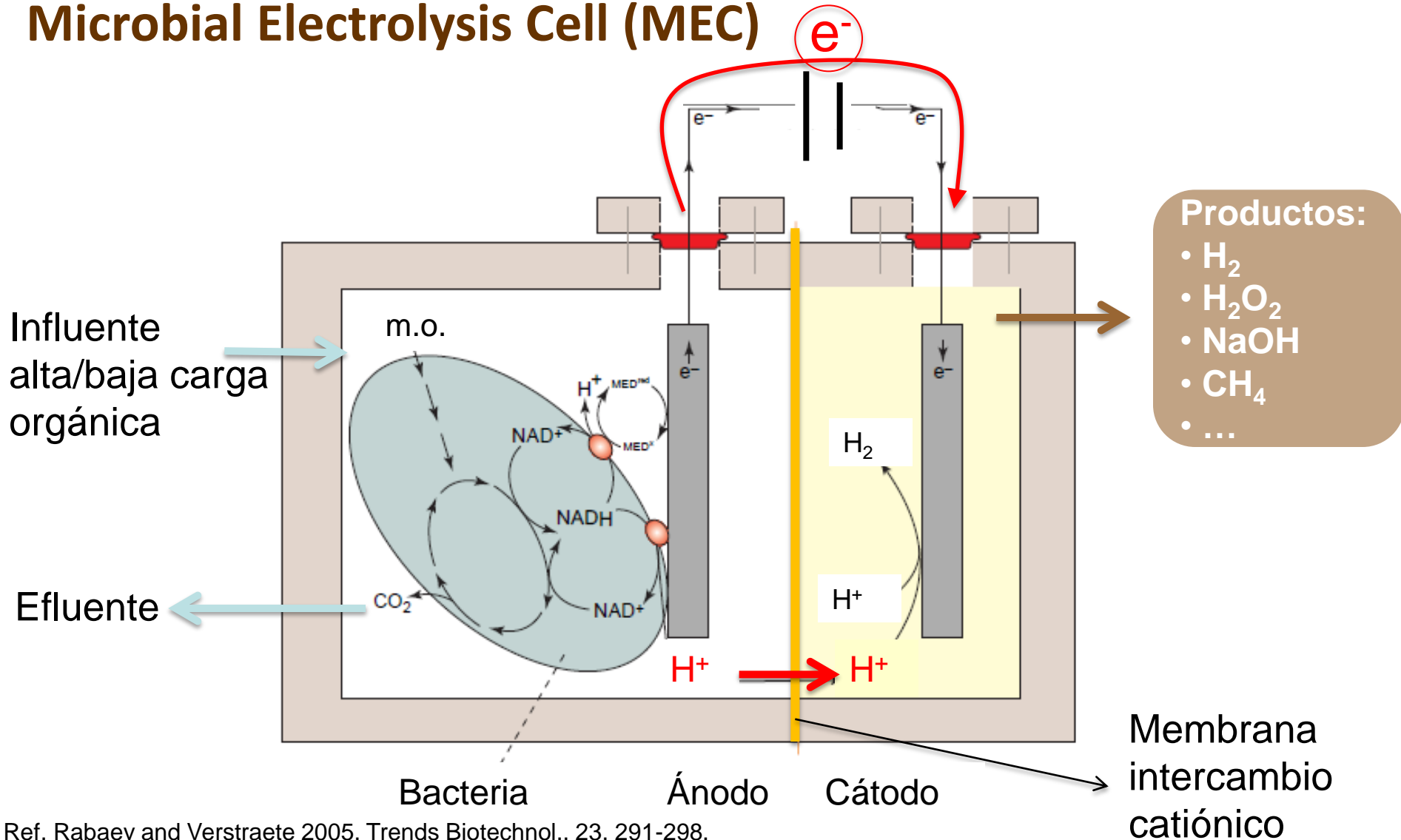


?

Microbial Fuel Cell (MFC)



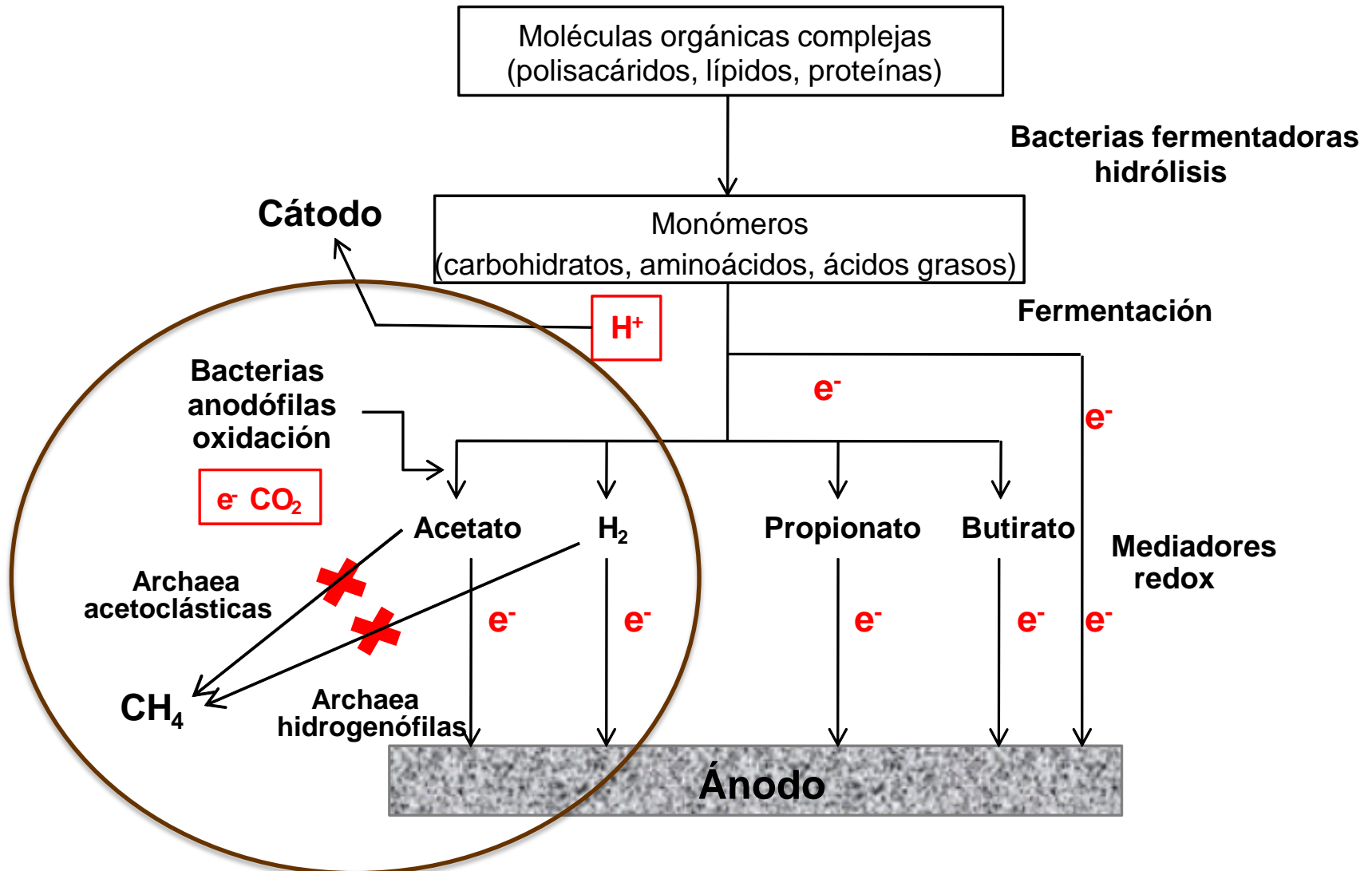
Microbial Electrolysis Cell (MEC)



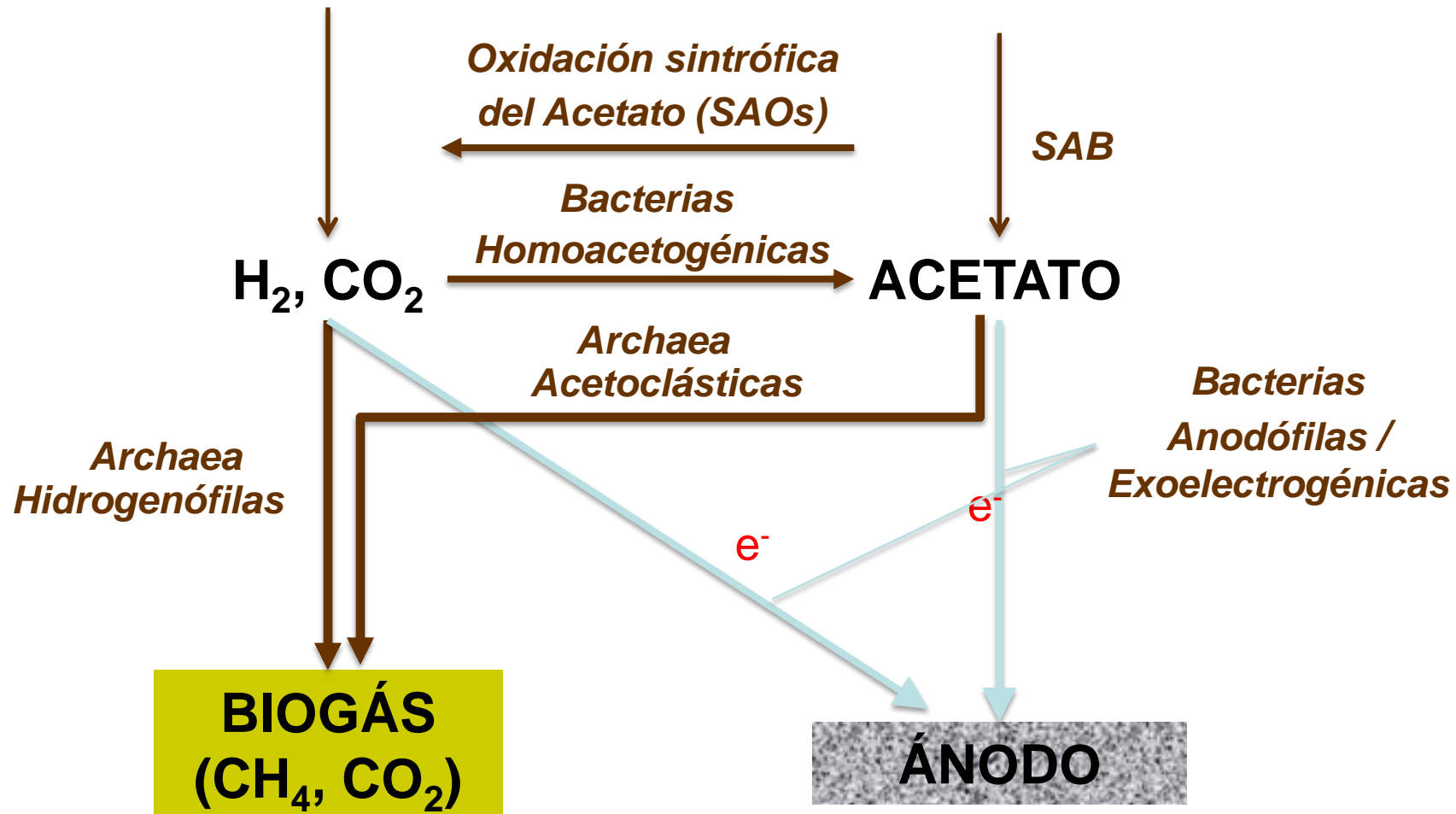
Productos:

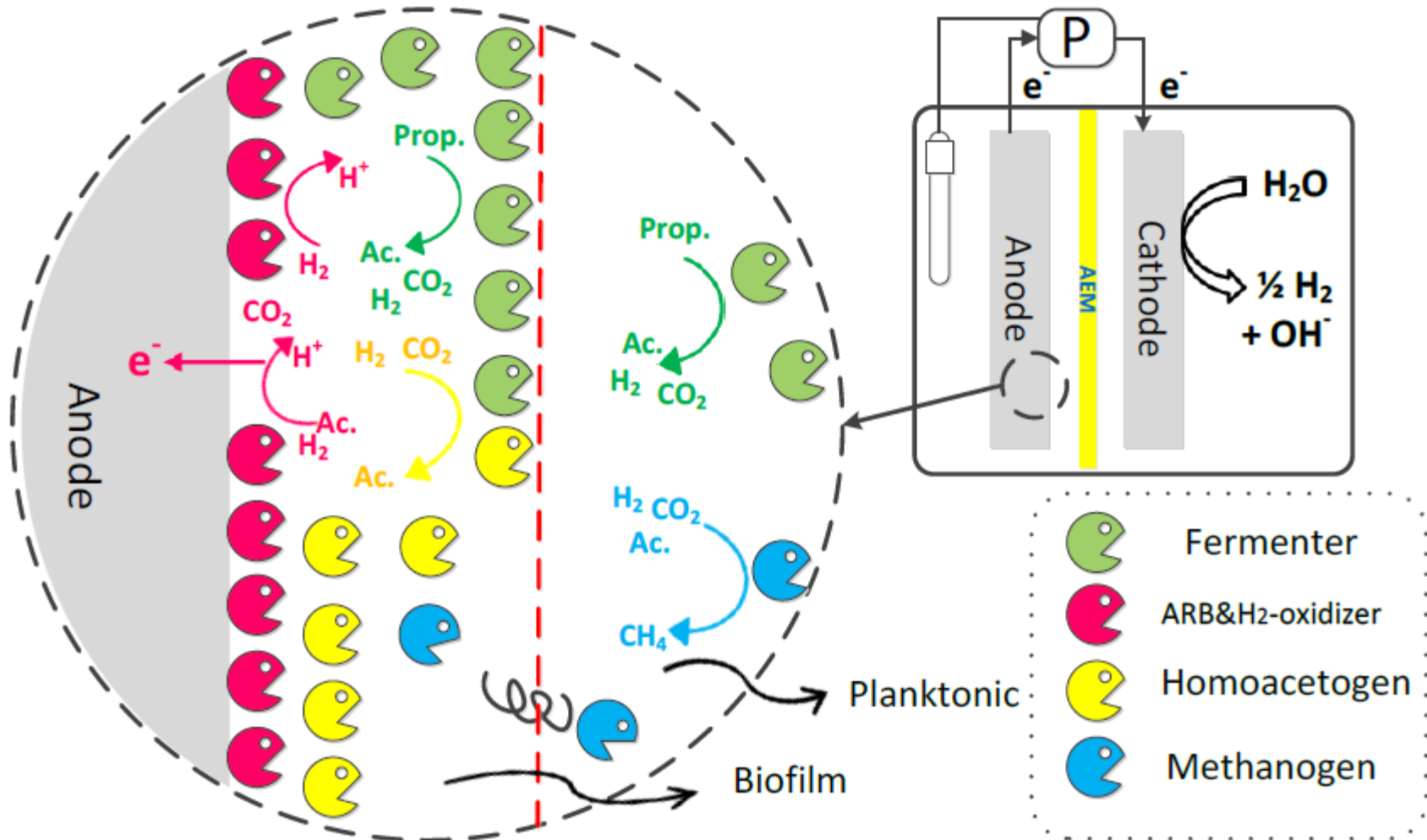
- H_2
- H_2O_2
- NaOH
- CH_4
- ...

1.- Degradación materia orgánica



Competición entre bacterias exoelectrogénicas y metanogénicas?





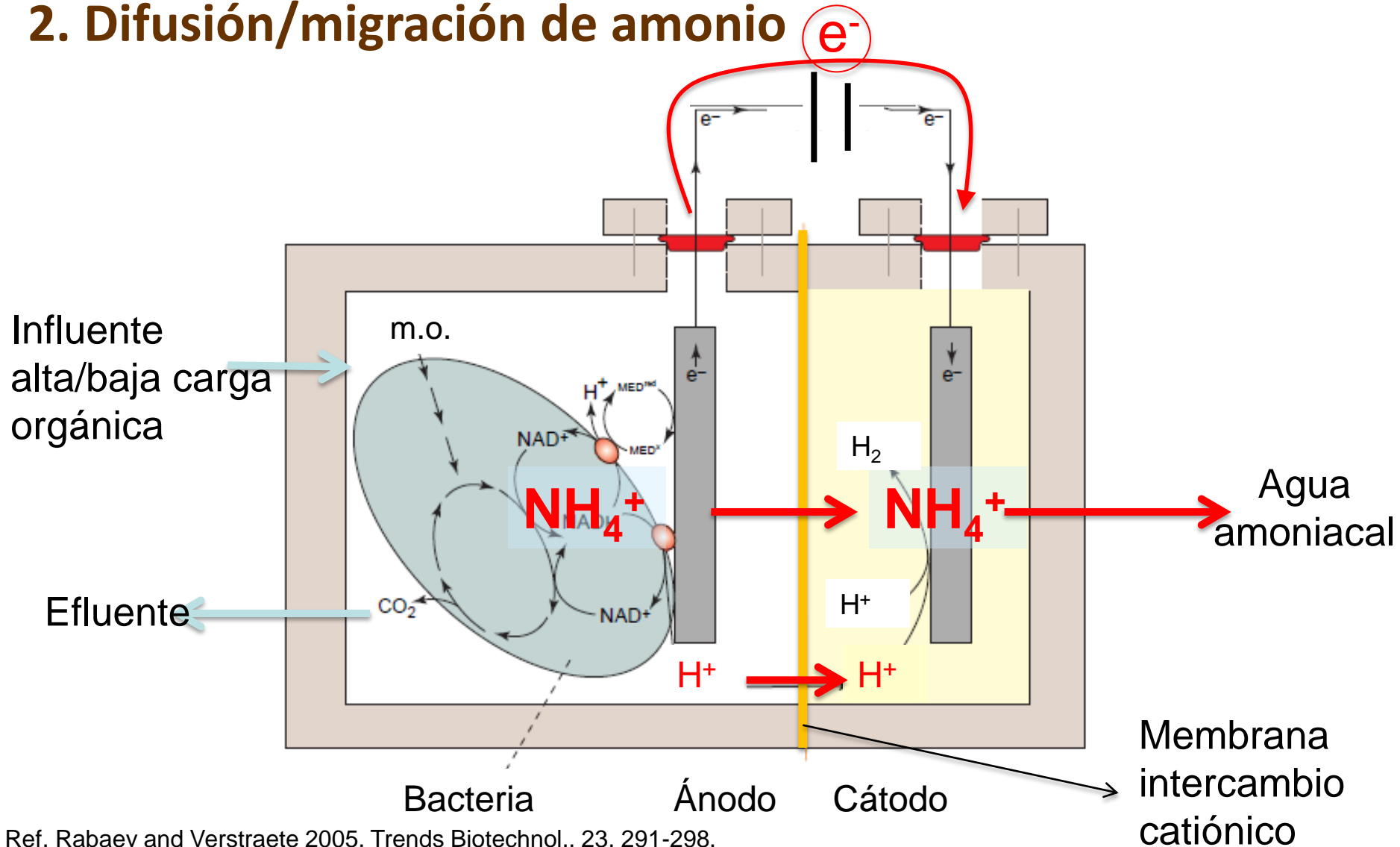
Eficiencia MFC con diferentes sustratos

Sustrato	Concentración	Densidad de corriente (mA/cm ²)
Acetato	1 g/L	0,8
Lactato	18 mM	0,005
Glucosa	6,7 mM	0,7
Almidón	10 g/L	1,3
Celulosa	4 g/L	0,02
Aguas residuales urbanas	600 mg/L	0,06
Aguas residuales cervecera	2240 mg/L	0,2

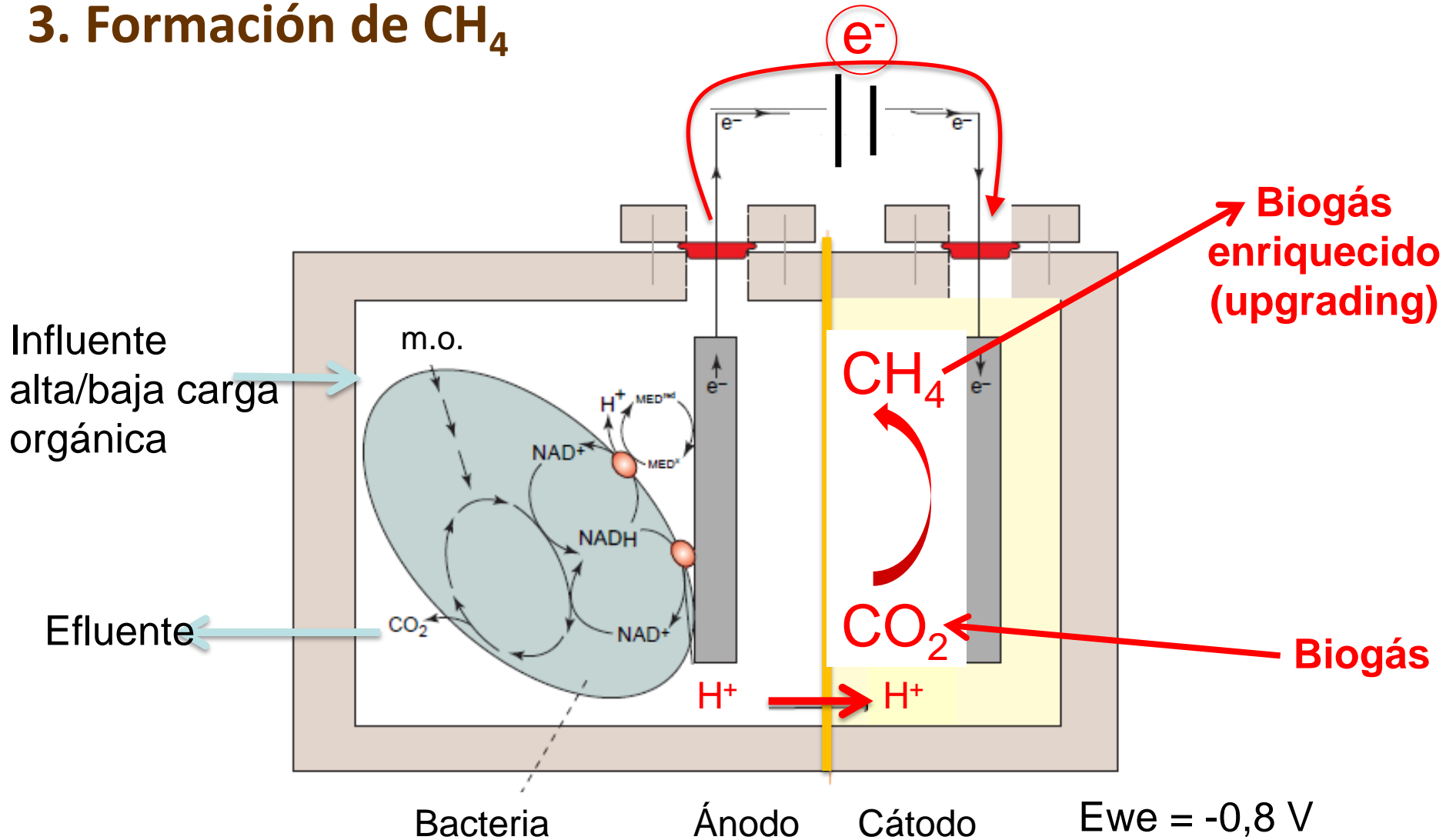
Pan et al. 2010

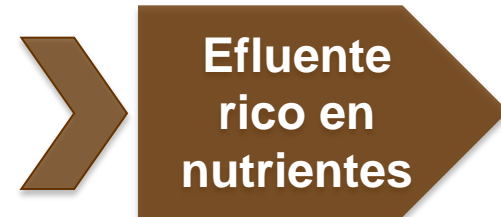
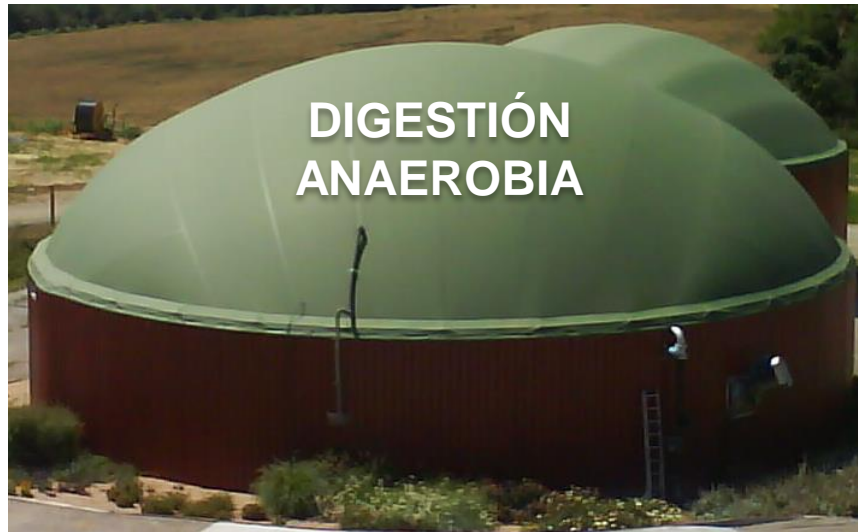
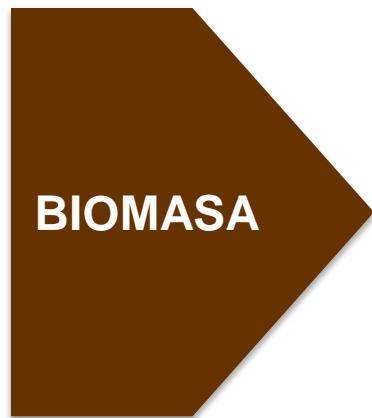
- ✓ Acetato es el sustrato que genera mayores densidades de corriente
- ✓ Los sustratos complejos generan bajas densidades de corriente

2. Difusión/migración de amonio

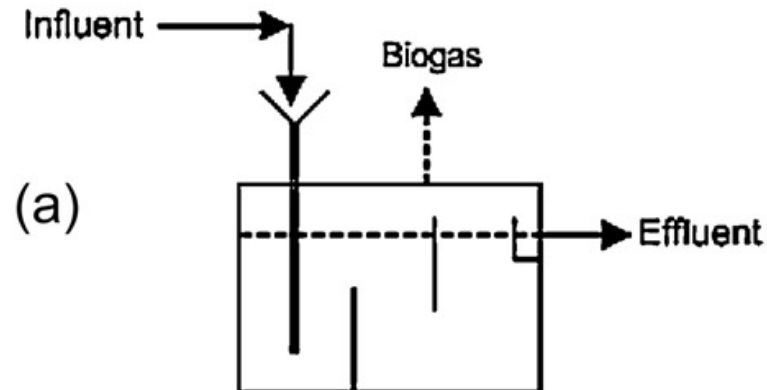


3. Formación de CH₄



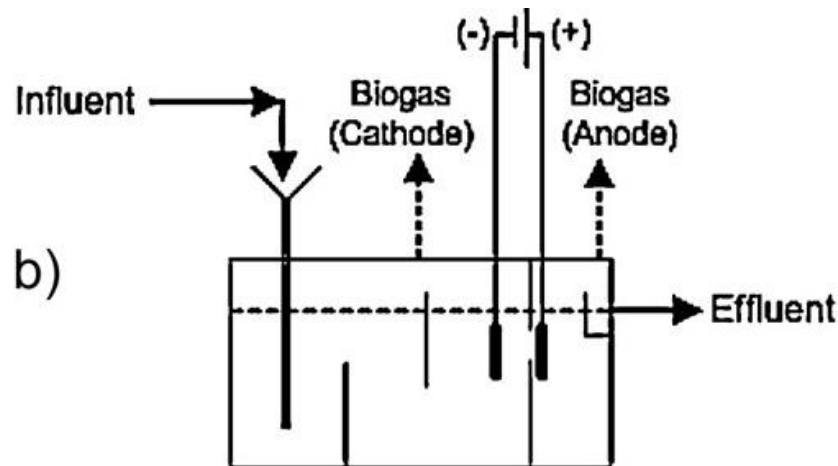


1.- Aumento de la producción de biogás



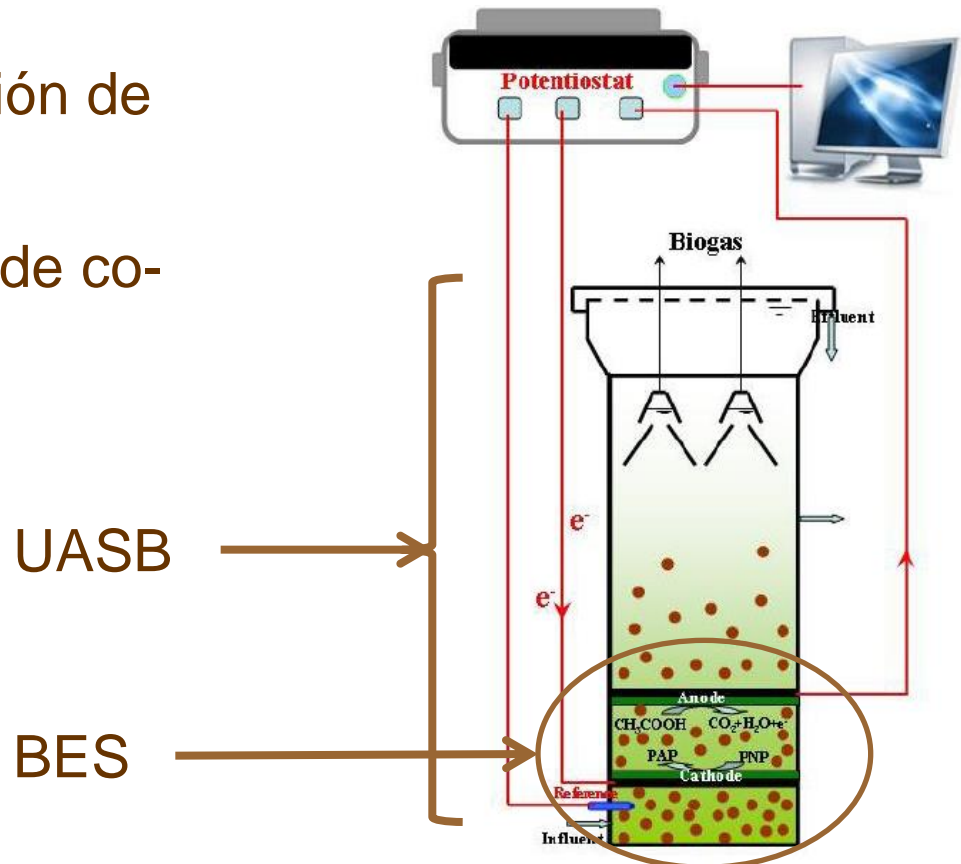
1.- Aumento de la producción de biogás

- ✓ BES colocado en el interior del reactor anaerobio
- ✓ Hipótesis → Una mayor generación de H_2 puede favorecer la formación de CH_4 via archaeas hidrogenófilas



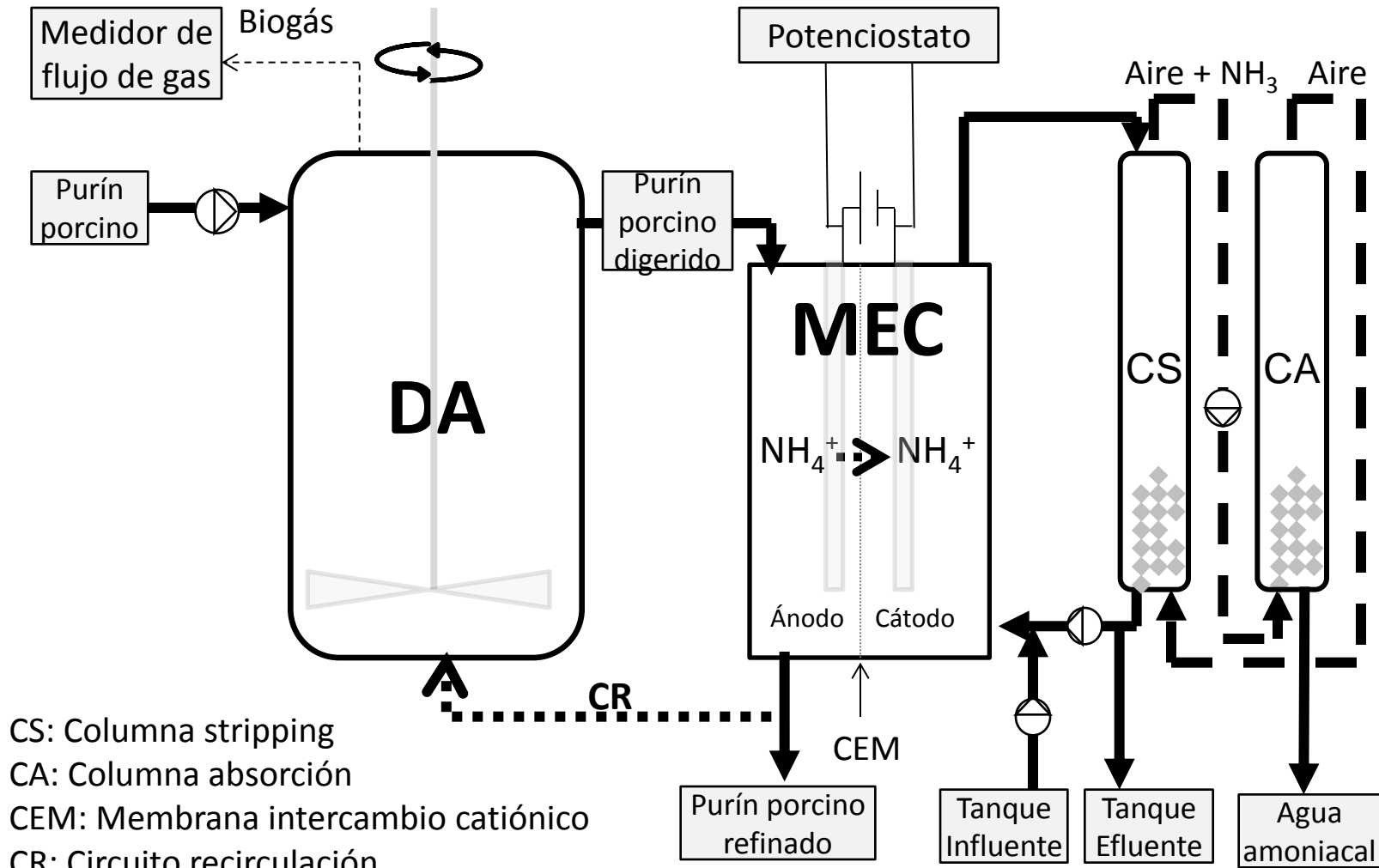
2.- Aumentar la degradación de compuestos recalcitrantes

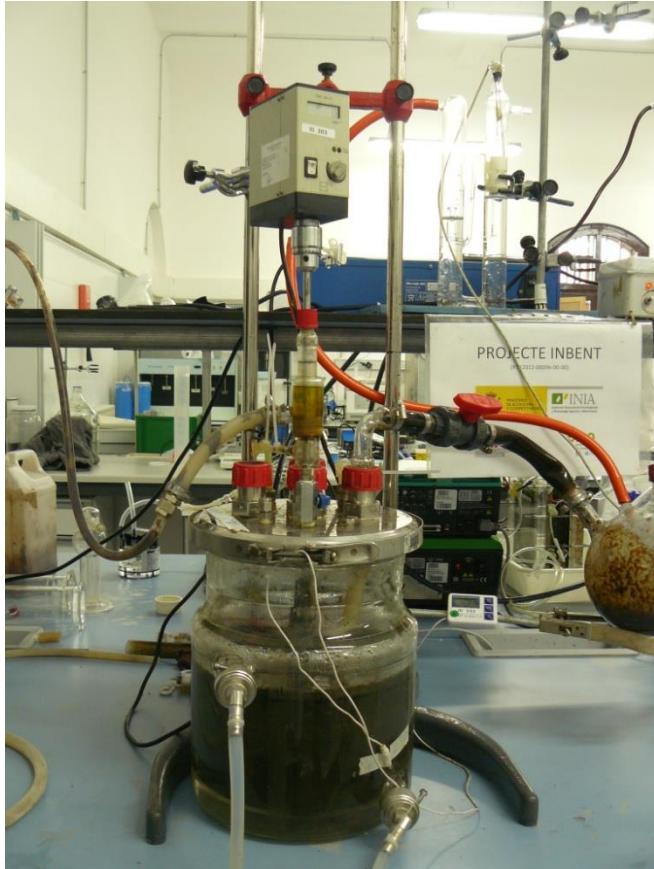
- ✓ BES situado en el interior del reactor UASB
- ✓ Potencia la degradación de p-nitrofenol (PNP)
- ✓ Menor requerimiento de co-sustrato orgánico



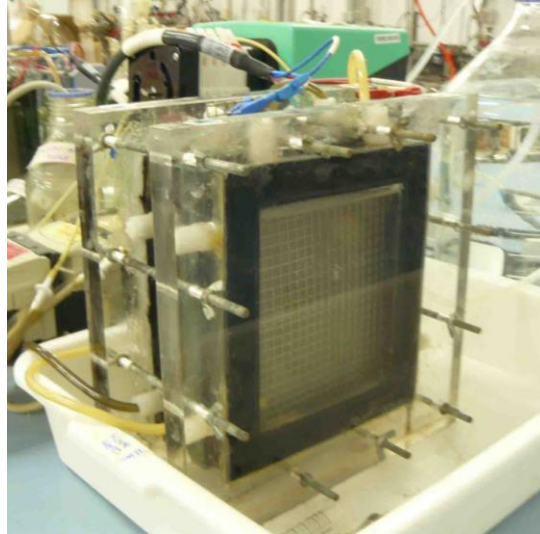
3.- Mejorar la operación de la digestión anaerobia

- **Refinado del efluente y producción de energía adicional**
- **Aumento de la robustez del sistema completo**
- **Recuperación de nitrógeno** → aprovechando la difusión a través de la membrana y recuperación mediante stripping y absorción
- **Optimización de la DA** → recirculación del efluente con menos N-NH_4^+ para reducir la inhibición.





1. Reactor DA

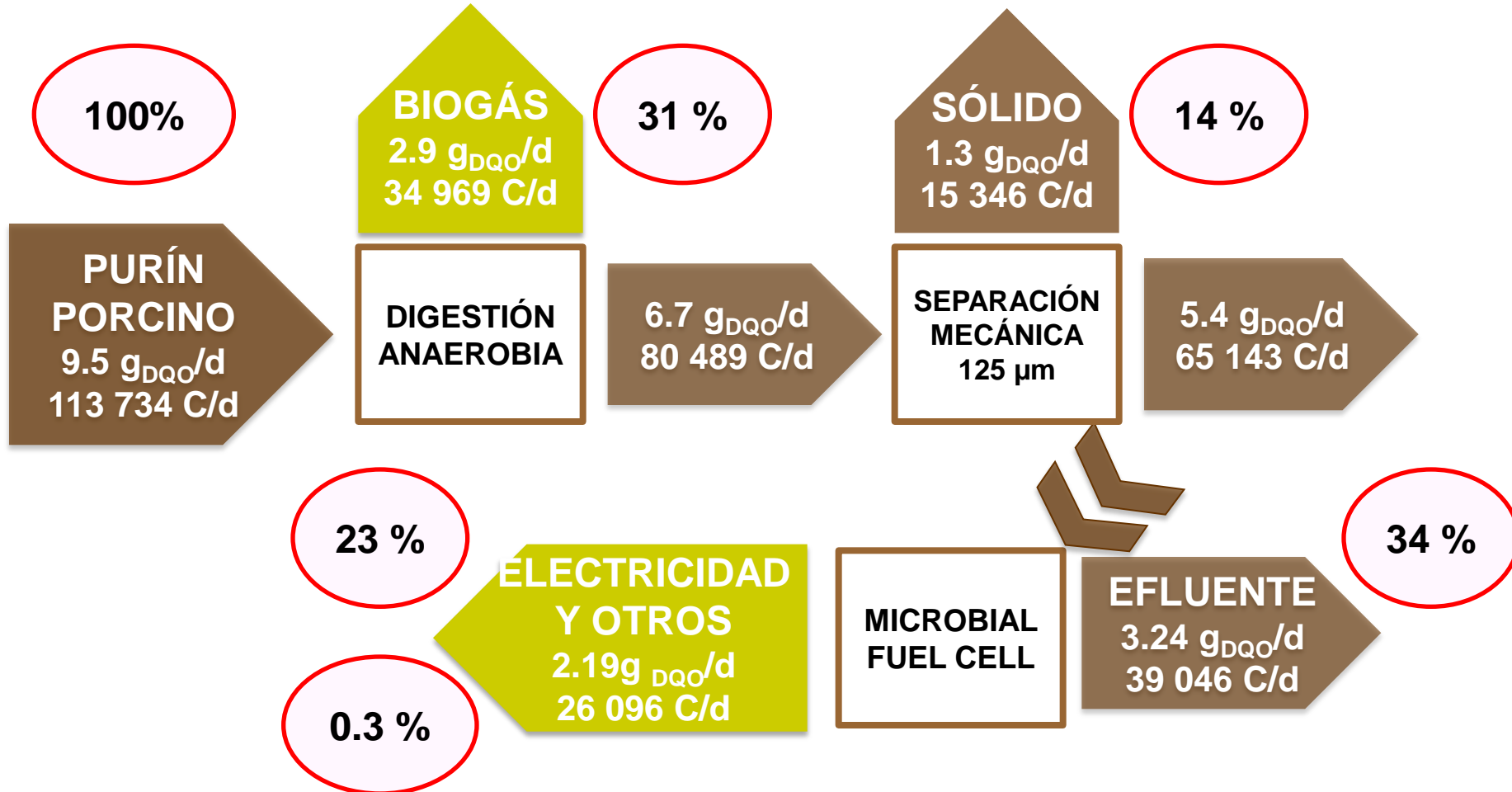


2. MEC
3. Potenciostato



4. Columns
Stripping / absorción

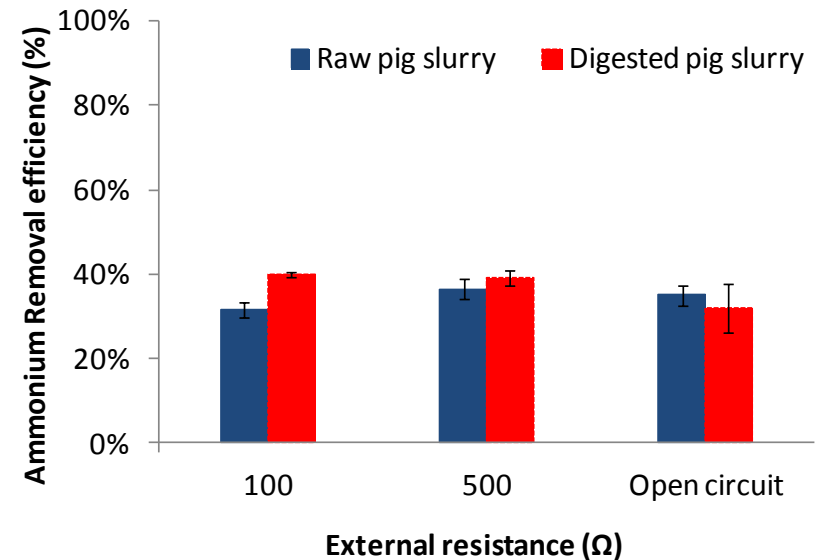
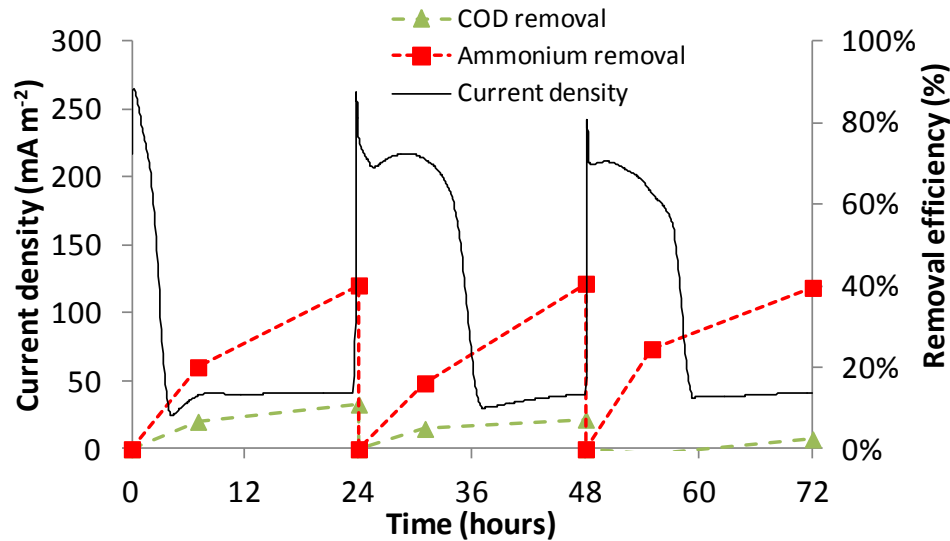
➤ Pulido de efluente y producción adicional de energía



➤ Eliminación de DQO: 31% → 66%

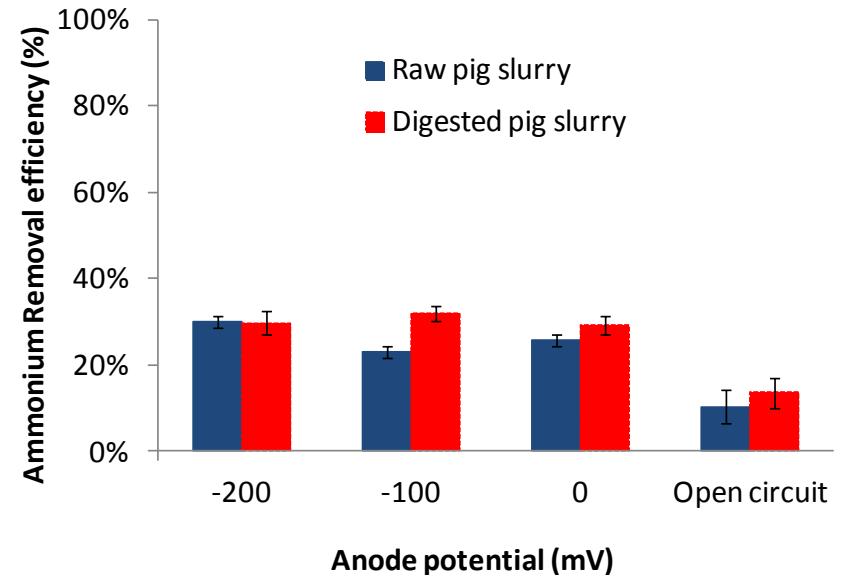
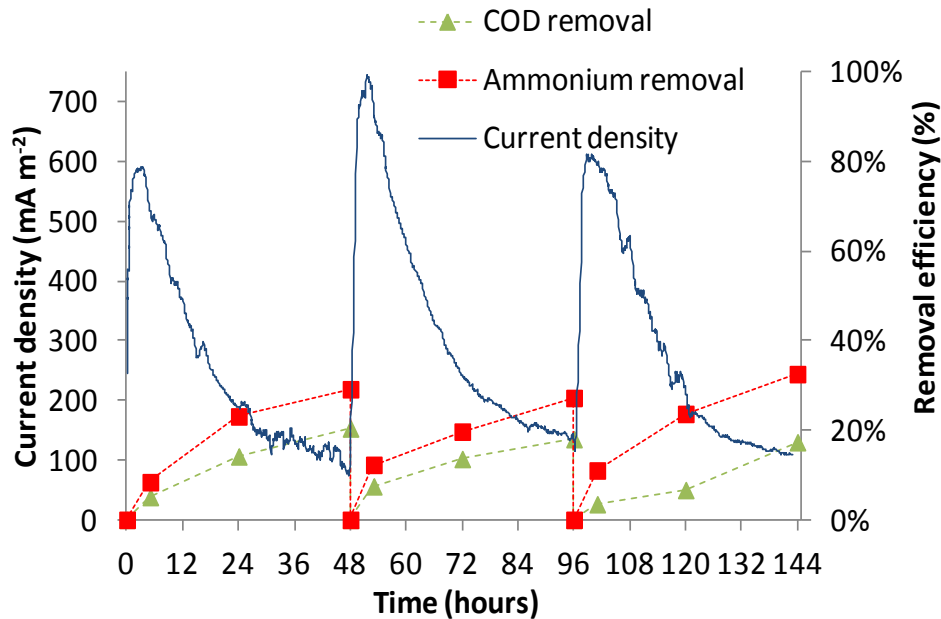
➤ Baja recuperación de energía

➤ Recuperación de nitrógeno → Combinar DA con MFC



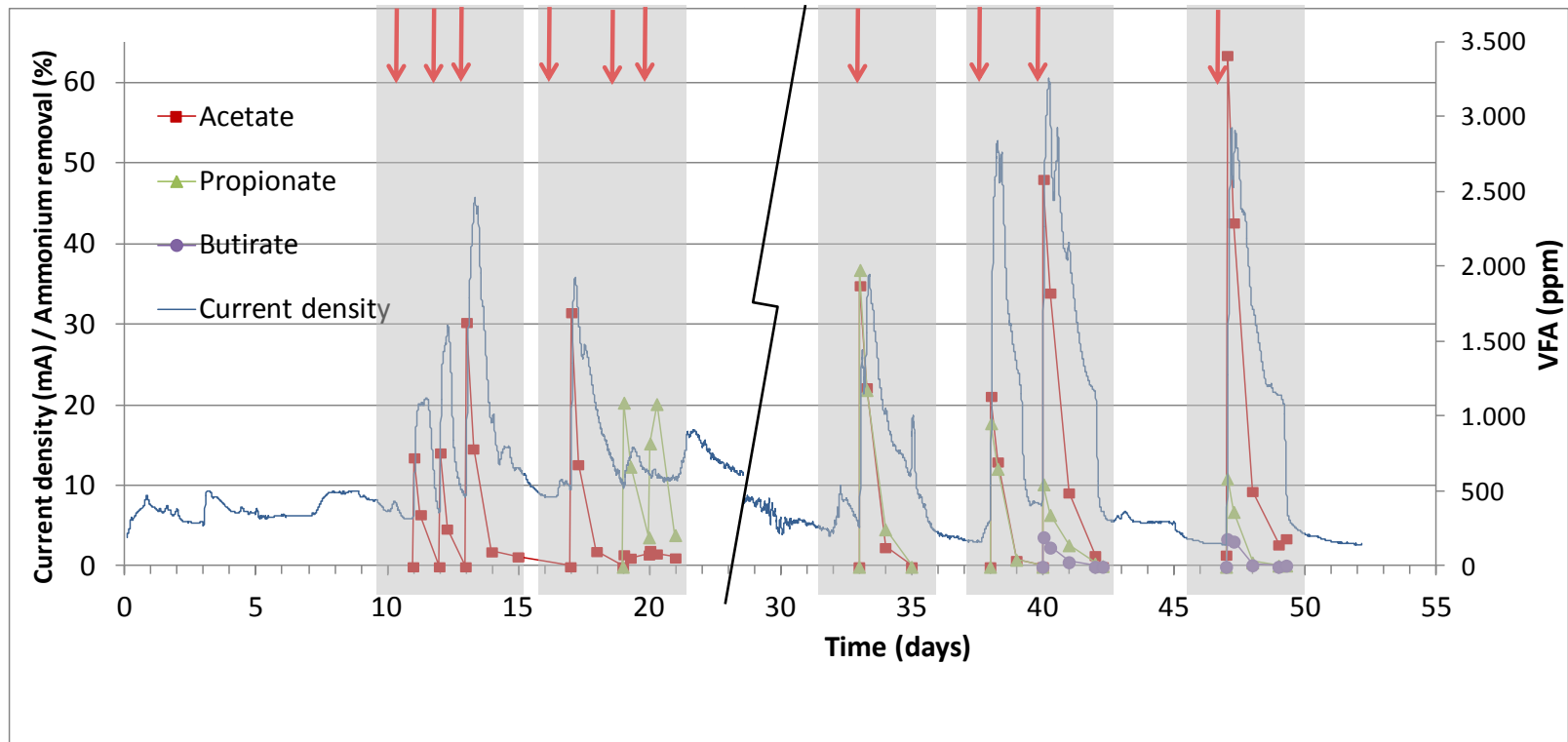
✓ Mayor recuperación de $N-NH_4^+$ al procesar digerido → 40%

➤ Recuperación de nitrógeno → Combinar DA con MEC



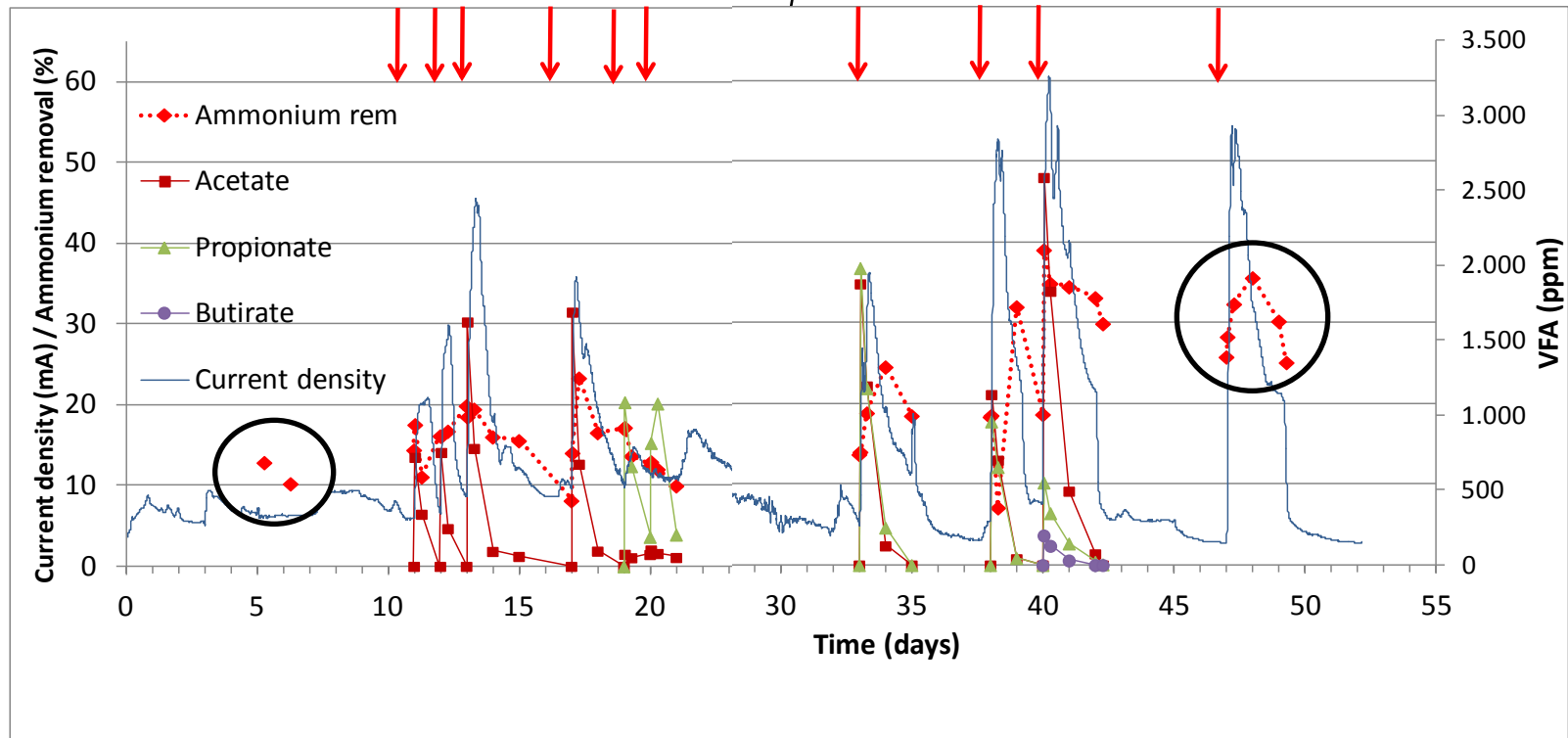
- ✓ Mayor recuperación de N-NH₄⁺ al procesar digerido → 35%
- ✓ pH del cátodo > 11 → favorece el stripping directo

➤ Aumento de la robustez de todo el sistema



✓ Los pulsos de AGV son rápidamente degradados, produciendo un aumento en la densidad de corriente

➤ Aumento de la robustez de todo el sistema



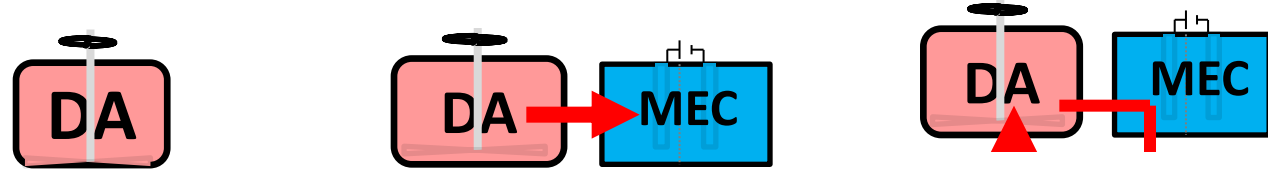
✓ Los pulsos de AGV son rápidamente degradados, produciendo un aumento en la densidad de corriente

✓ La recuperación de amonio también se ve favorecida

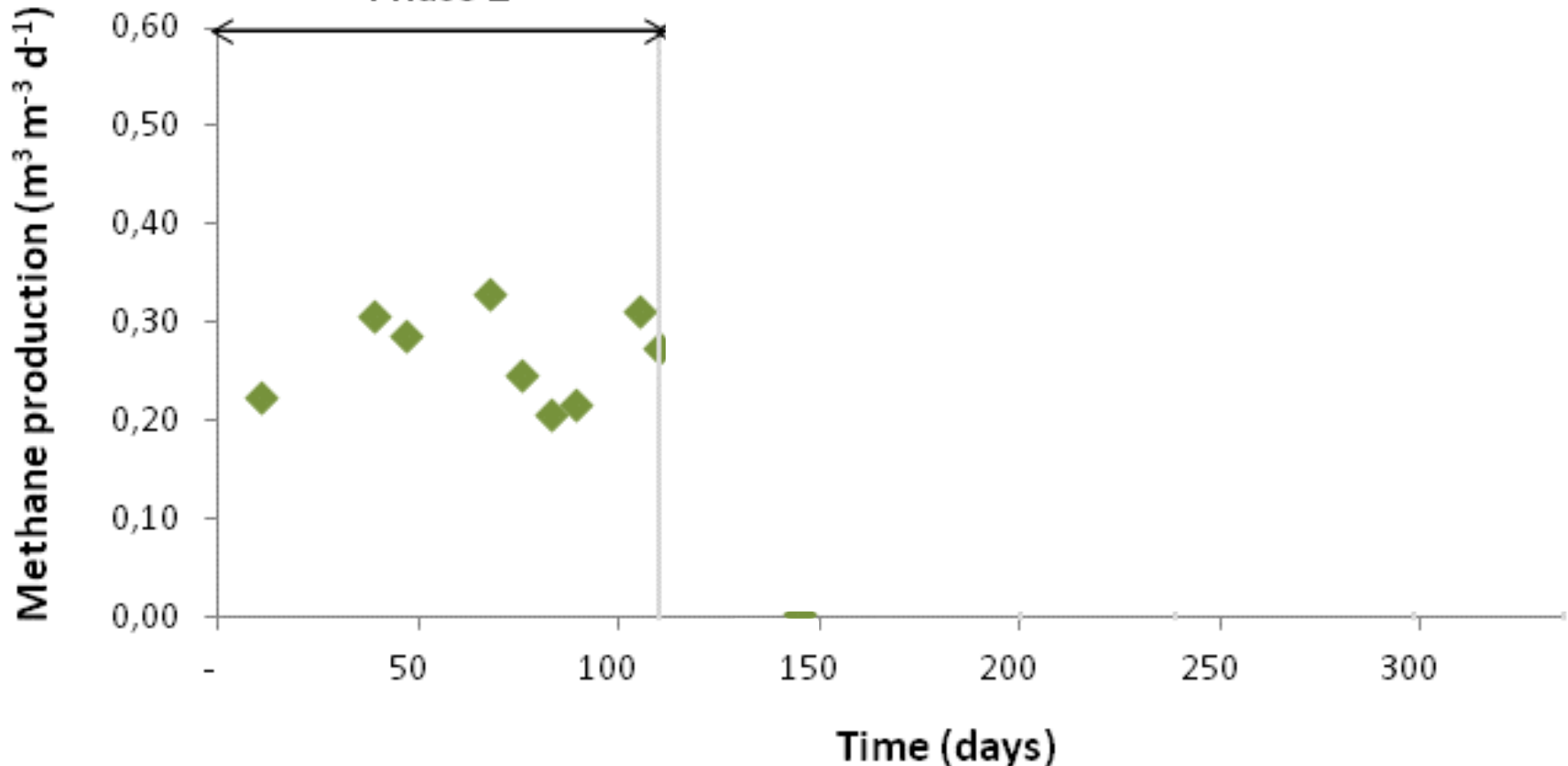
5 fases operacionales ($T^a = 55^\circ\text{C}$, $\text{TRH} = 10 \text{ d}$)

Fase	Período (d)	VCO ($\text{kg}_{\text{DQO}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	VCN ($\text{kg}_{\text{N}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	Recirculación (% of flow rate)
1	1-110	3.02 ± 0.60	0.17 ± 0.03	0
2	110-200	6.25 ± 1.05	0.34 ± 0.06	0
3	200-240			25
4	240-299	6.25 ± 1.05	0.34 ± 0.06	50
5	299-236			75

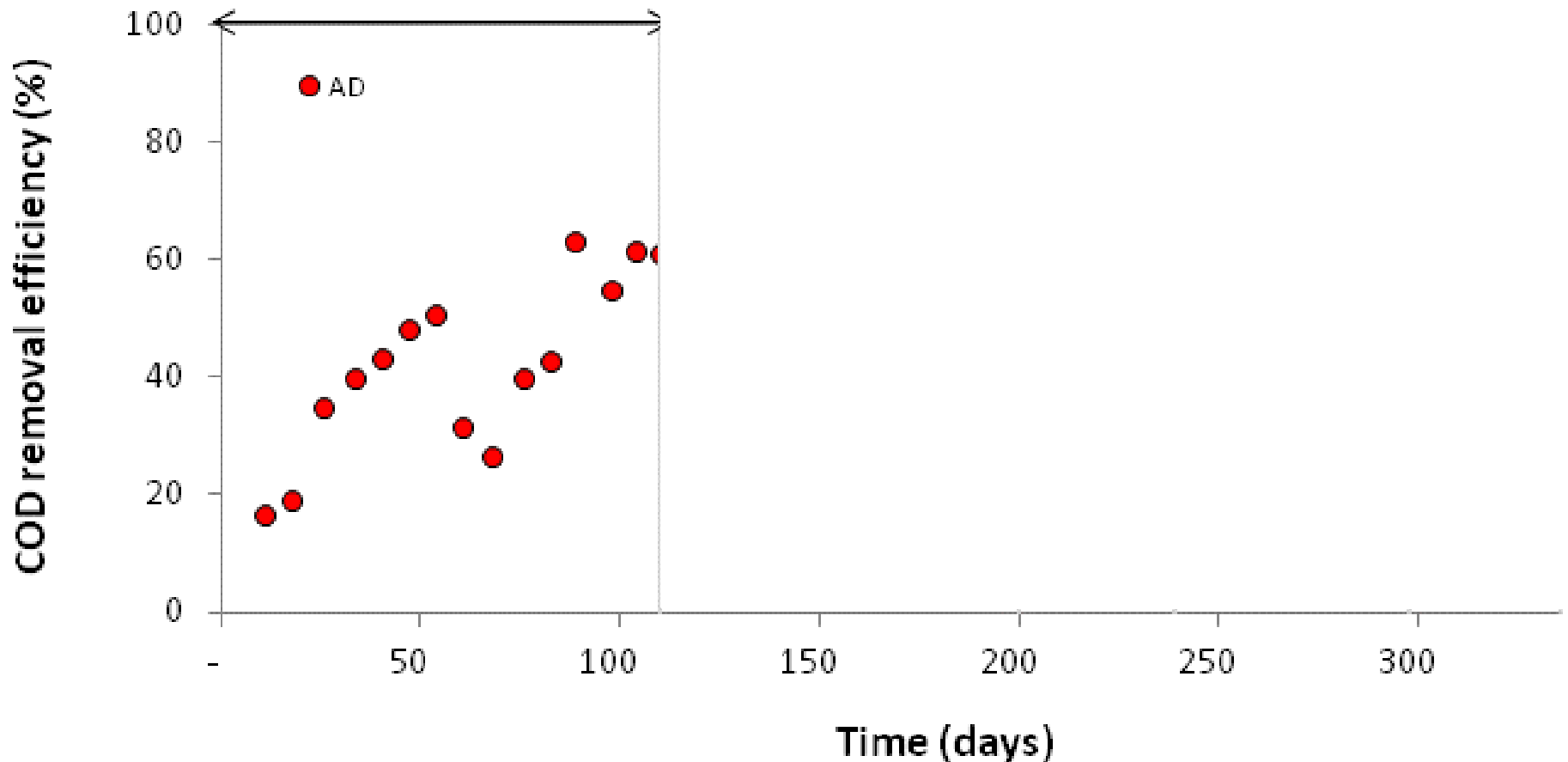
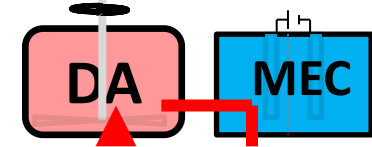
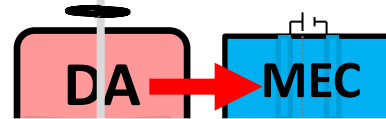
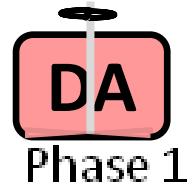
Recuperación de energía: producción de metano x 2



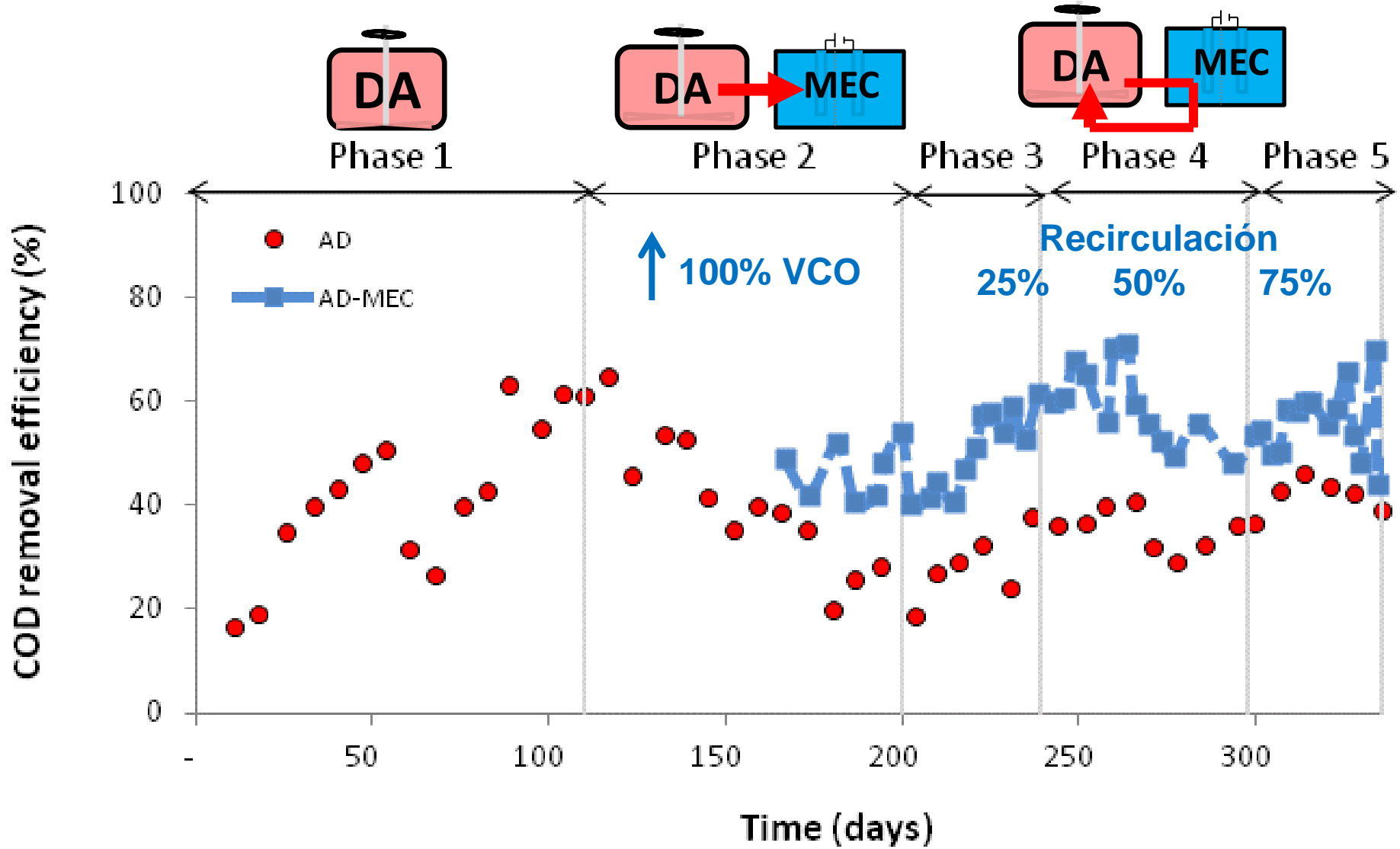
Phase 1



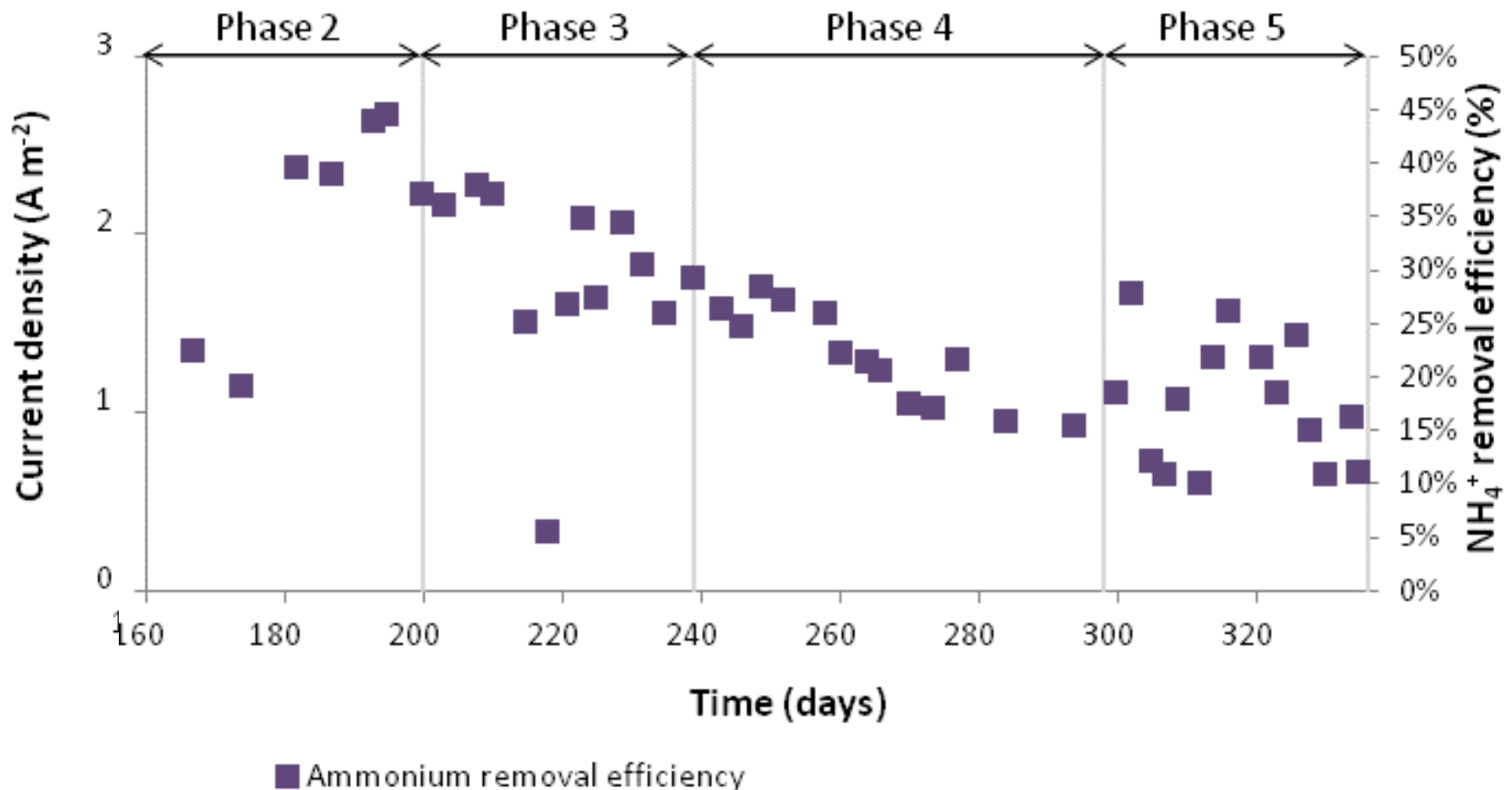
Calidad efluente: Eliminación DQO (DA)



Calidad efluente: Eliminación DQO (DA-MEC) → ≈60%

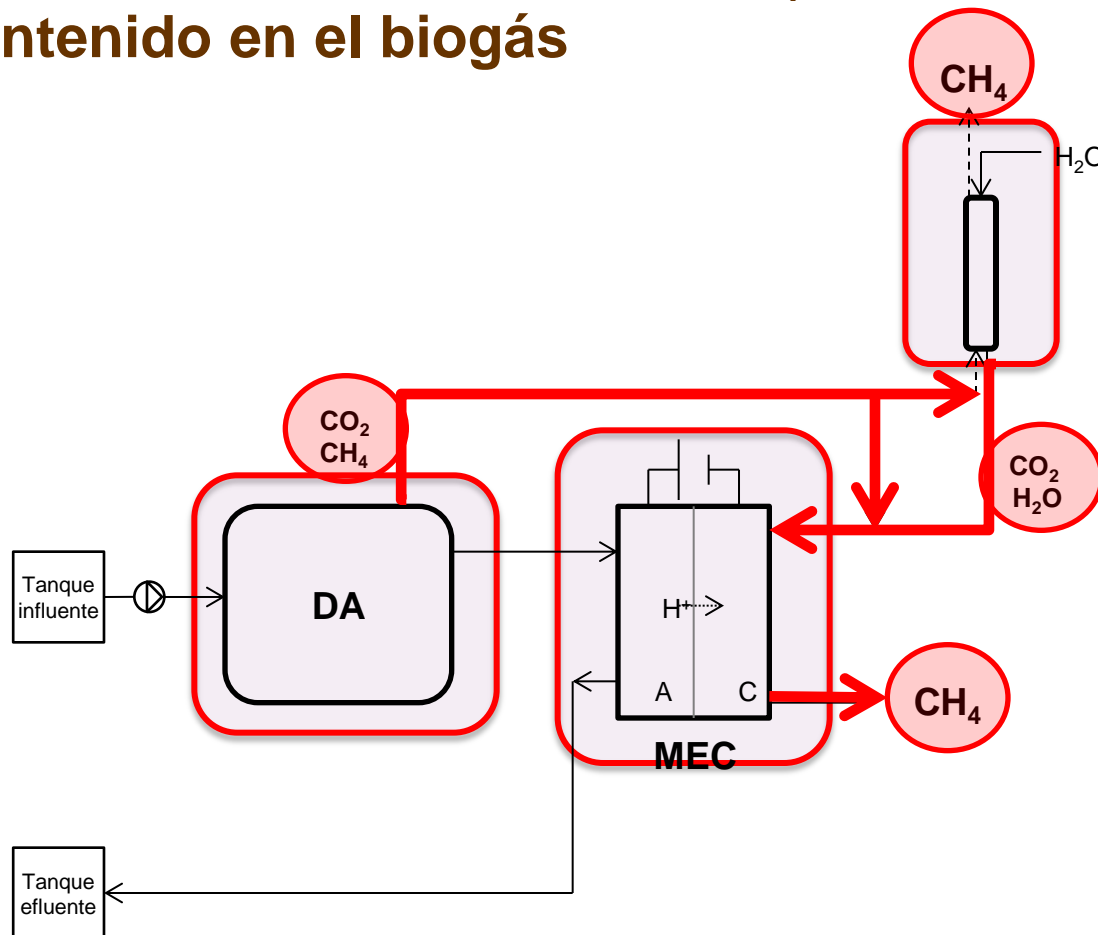


**Calidad efluente: Eliminación Amonio (MEC) → Proporcional
a la generación eléctrica $1/\alpha$ disfunción de la DA**



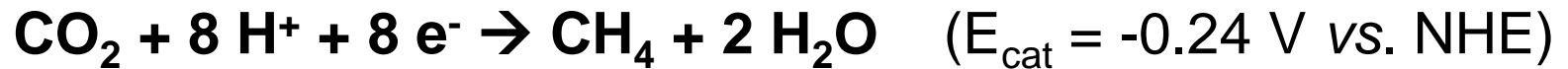
4.- Enriquecimiento del biogás (upgrading)

- Biocátodo para producir CH_4 a partir del CO_2 contenido en el biogás



➤ **Dos posibles vías metabólicas:**

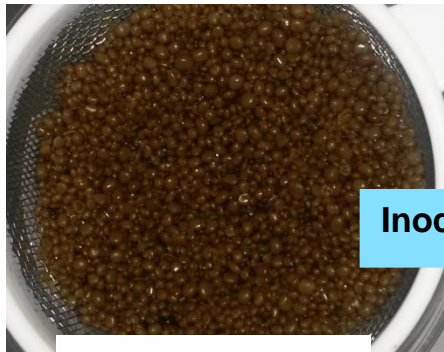
- **Transferencia e⁻ directa**



- **Transferencia e⁻ indirecta**

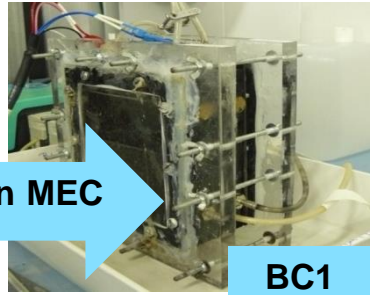


Inoculación biocátodo



Biomasa granular

Inoculación MEC

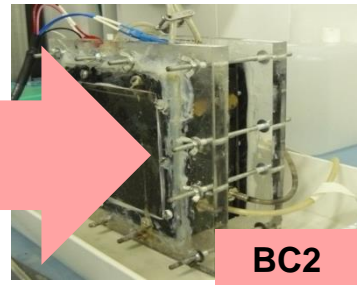


BC1

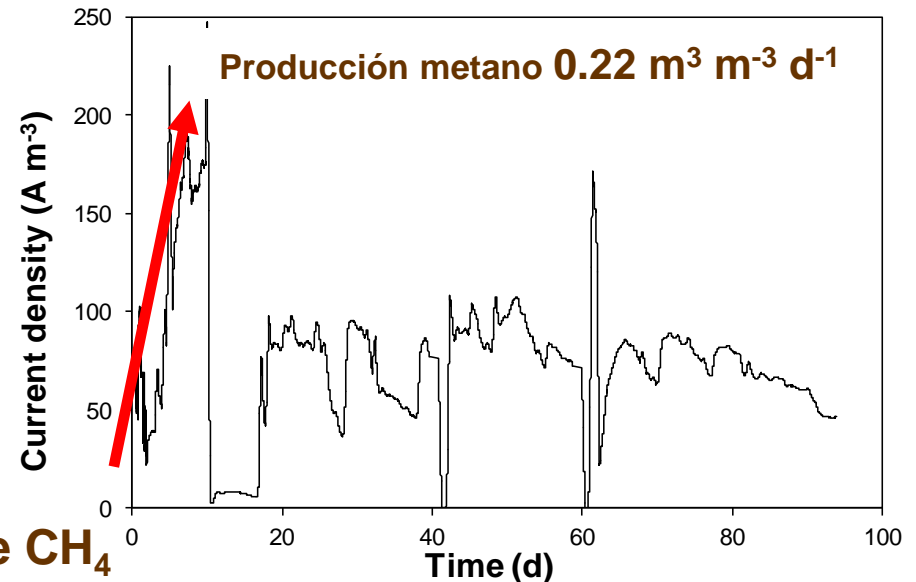
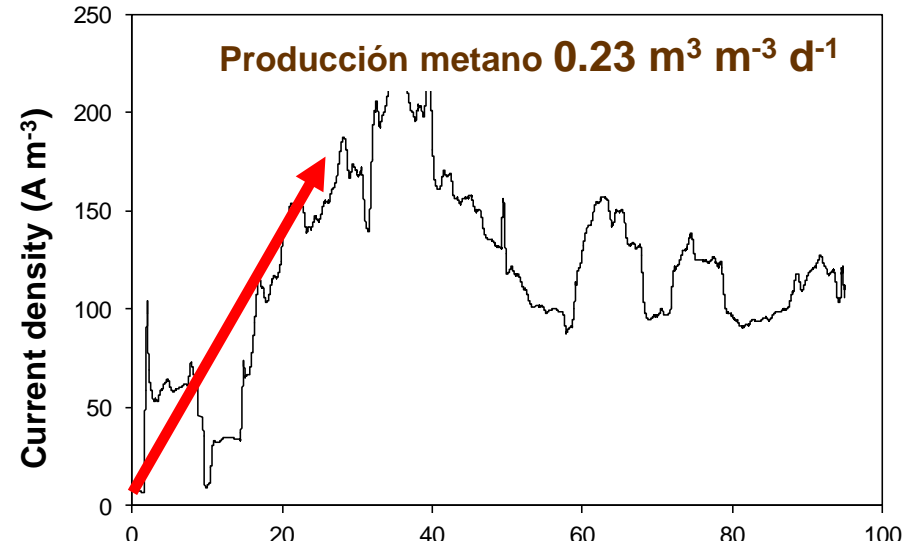
Enriquecimiento (metanol)



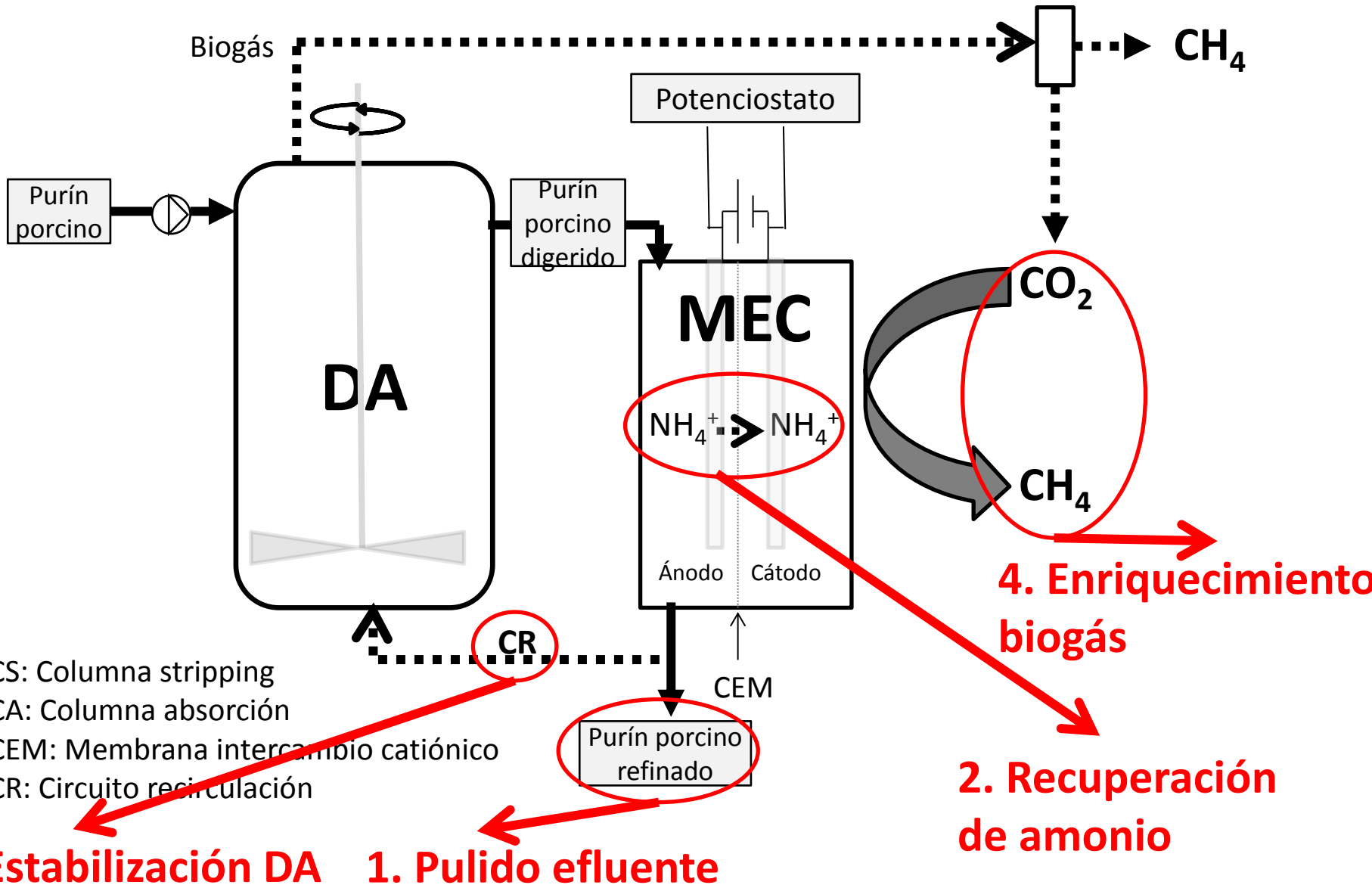
UASB



BC2



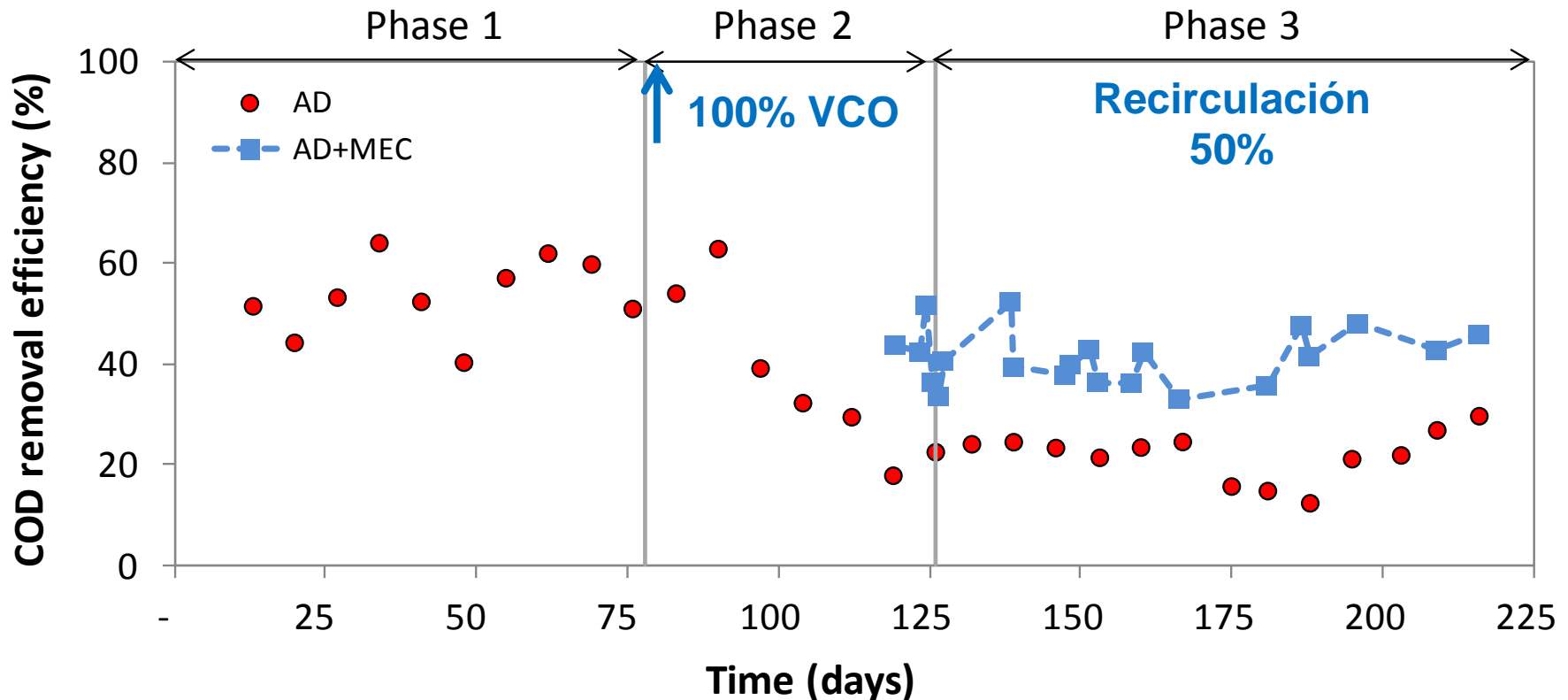
- **Rápido arranque**
- **No hay diferencias en la producción de CH₄**



3 fases operacionales (T^a 55°C, TRH=10d)

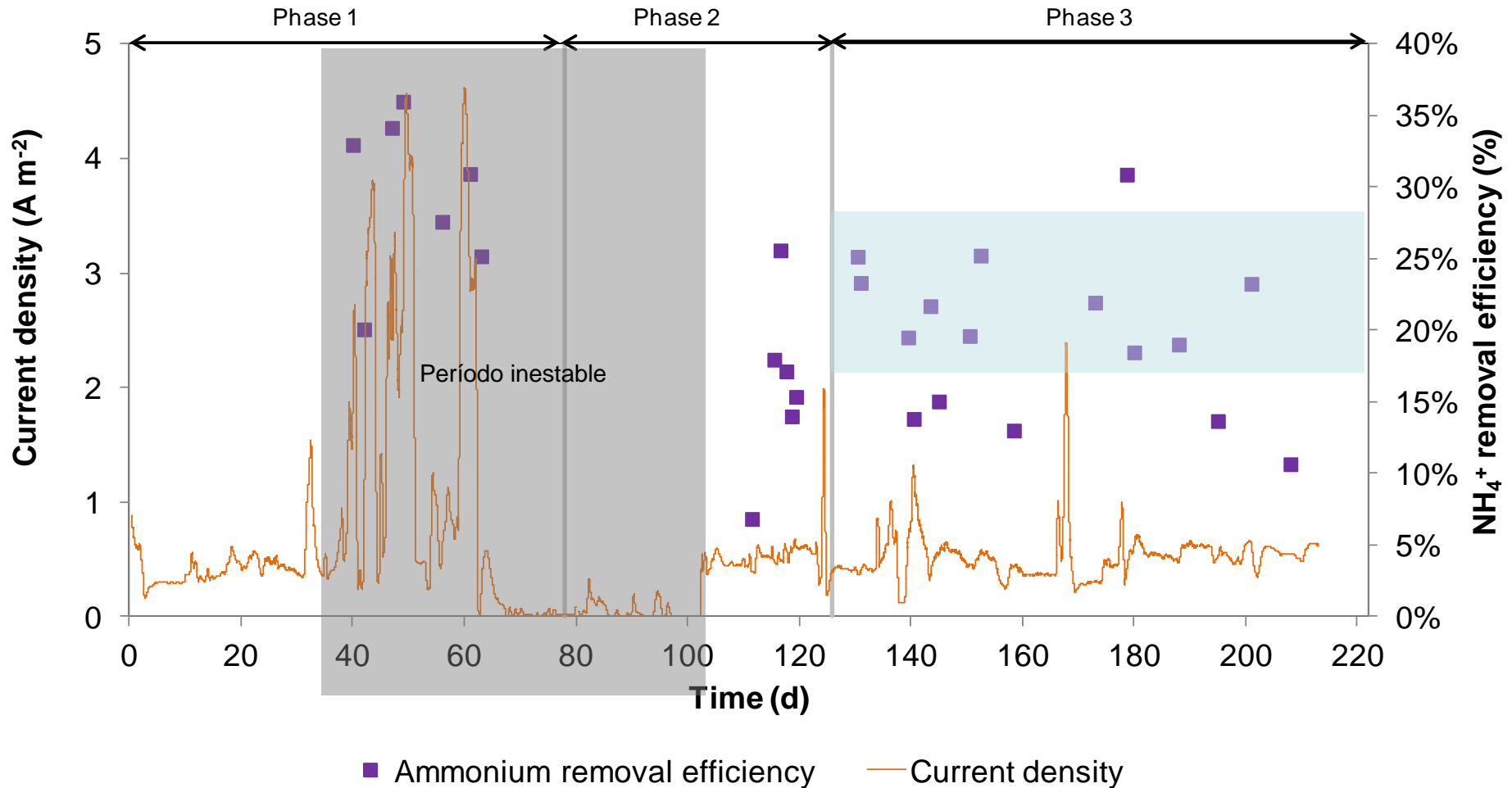
Fase	Período (d)	VCO ($\text{kg}_{\text{DQO}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	VCN ($\text{kg}_{\text{N}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	Recirculación (% of flow rate)
1	1-78	3.92 ± 0.61	0.22 ± 0.03	0
2	78-126	7.39 ± 1.36	0.40 ± 0.06	0
3	126-222			50

1. Pulido del efluente (DA-MEC)



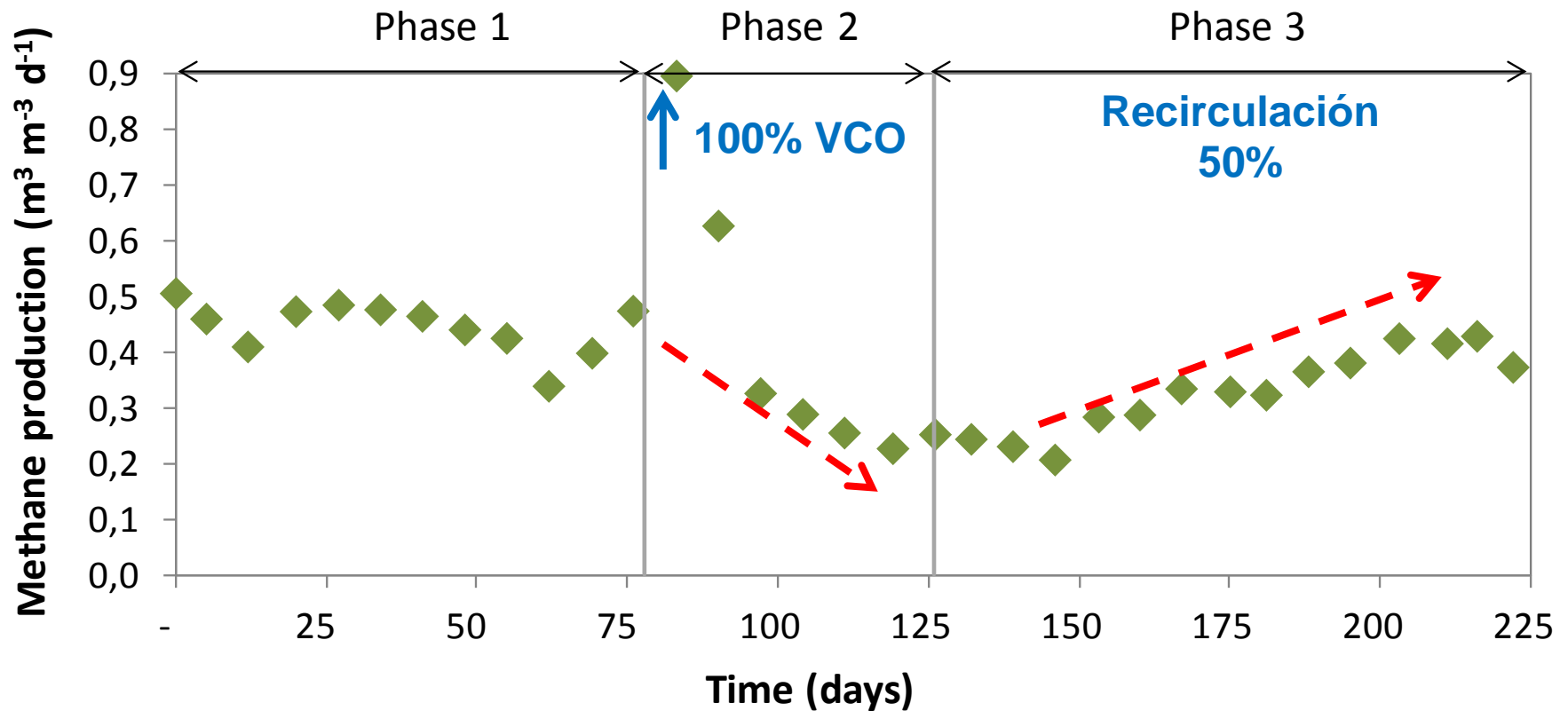
➤ Eliminación de DQO del sistema combinado cercano al 50%

2. Recuperación de amonio (MEC)



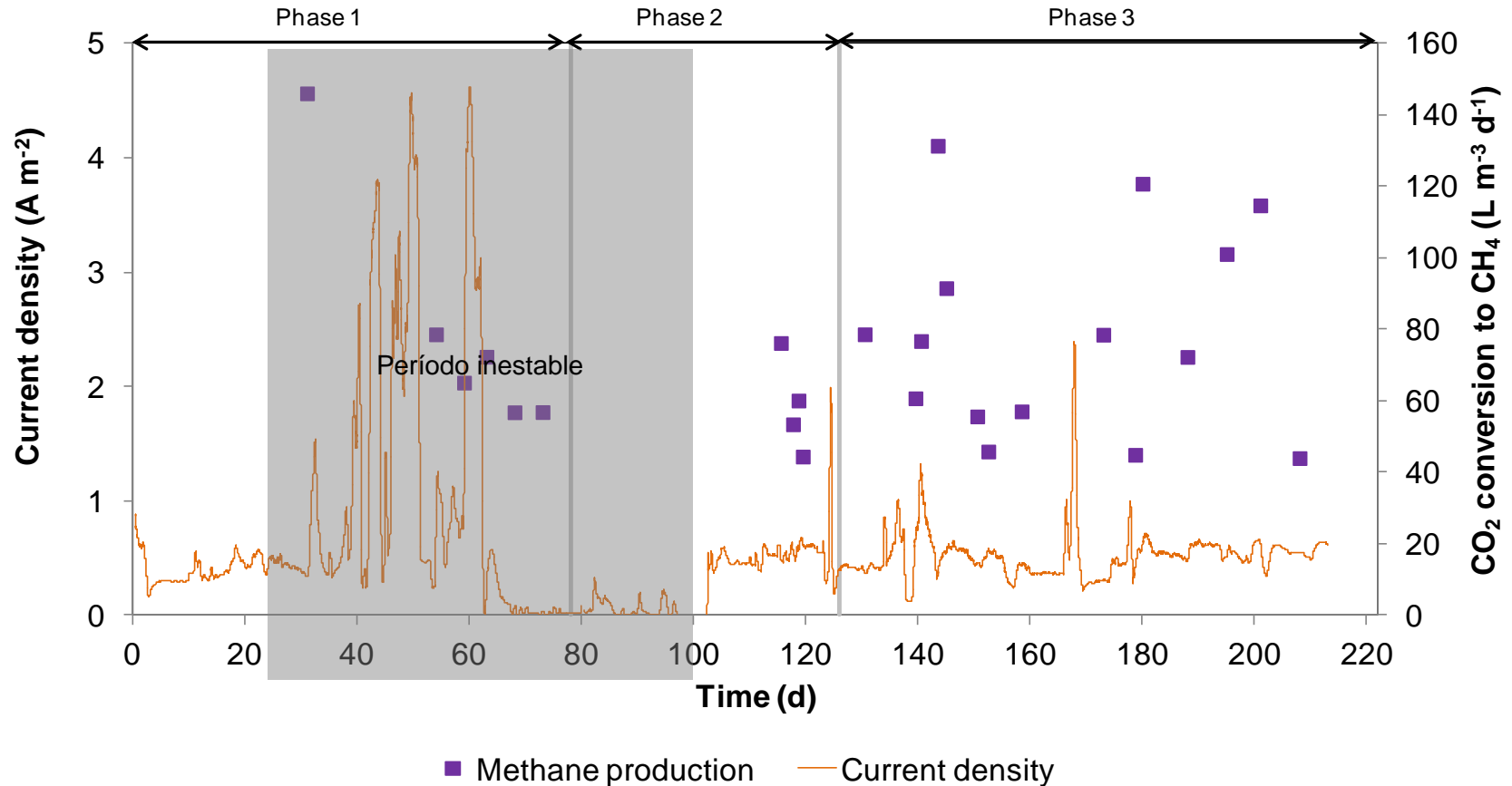
➤ **Recuperación de NH_4^+ promedio del 25%**

3. Estabilización del DA (producción metano)



➤ Producción de CH₄ se restablece a los valores iniciales

4. Enriquecimiento de biogás (MEC)



- Extrapolando resultados → Biogás (60 CH₄ / 40% CO₂) podría alcanzar valores de 89% CH₄ / 11% CO₂

- La combinación de Digestión Anaerobia (DA) con los Sistemas Bioelectroquímicos es una prometedora configuración de tratamiento:
 - **Aumenta la producción de biogás** → mayor producción y/o enriquecimiento del biogás.
 - **Recupera amoníaco** de aguas residuales de alta carga.
 - Mejora la **robustez** del sistema.
- **Pero aún está lejos del mercado**, su escalado presenta algunas dificultades.



Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICINN) (CTM2009-12632 subprograma TECNO), el Ministerio de Economía y Competitividad (RTA2012-00096-00-00), y el Departament d'Economia i Coneixement de la Generalitat de Catalunya (beca pre-doctoral 2013FI_B00014).



¡¡Gracias por vuestra atención!!