

# AnMBR: Alternativa tecnológica para transformar las actuales estaciones depuradoras de agua residual urbana en factorías de recuperación de recursos

**Ángel Robles**

*CALAGUA – Unidad Mixta UV-UPV*

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)  
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Unidad Mixta UV-UPV



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA

**1º Jornada técnica en depuración de aguas residuales: Digestión Anaerobia**  
**Cátedra FACSA de Innovación en el Ciclo Integral del Agua**

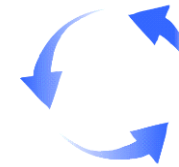
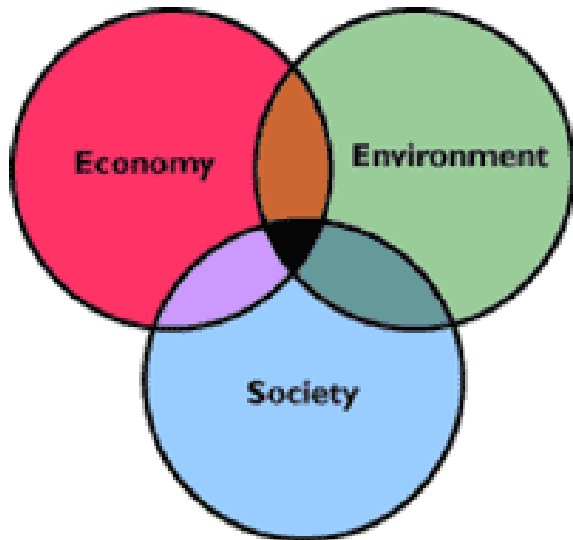
# Buscando la EDAR del Siglo XXI

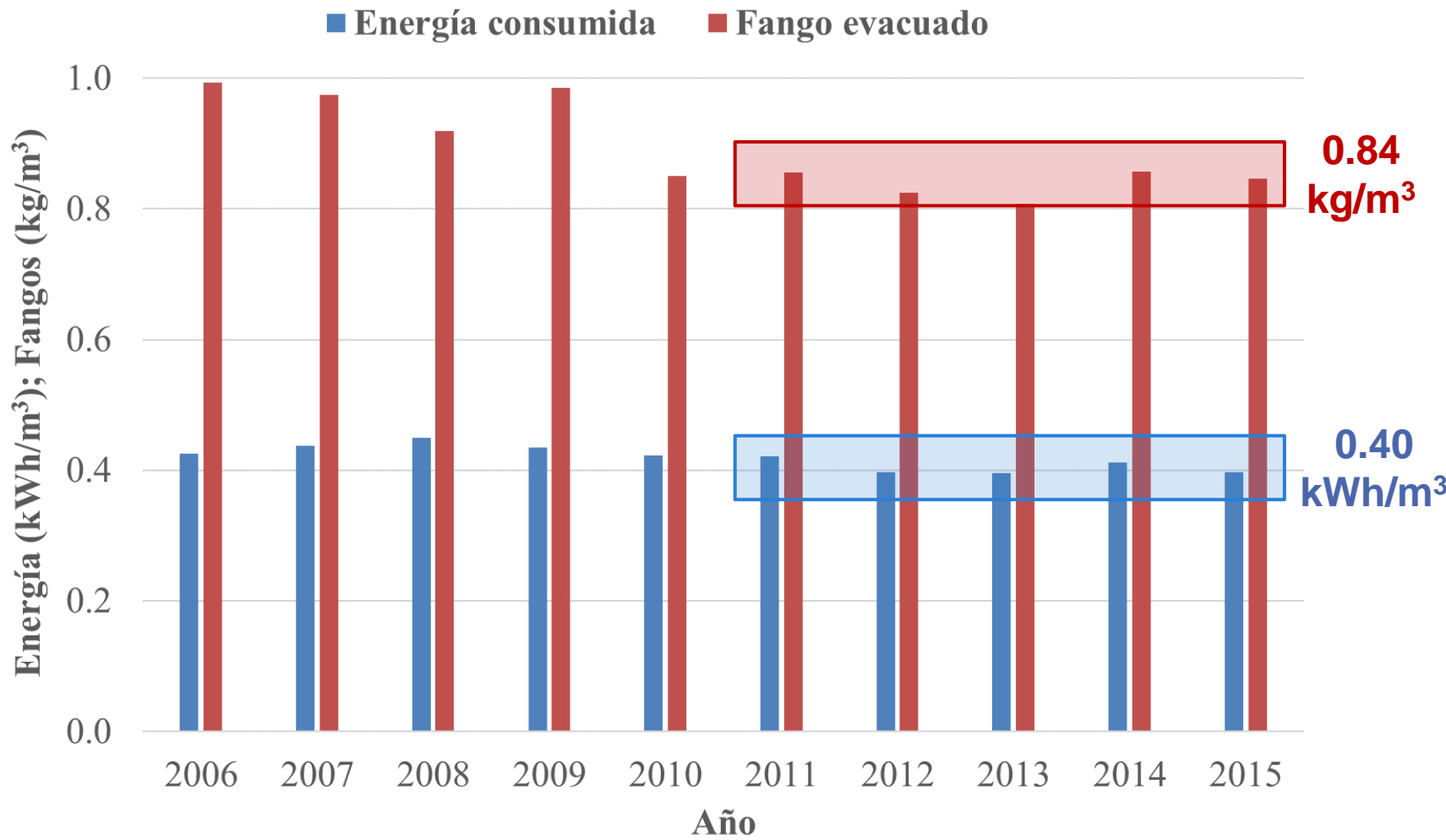
AnMBR: EJEMPLO DE APLICACIÓN

CONCLUSIONES



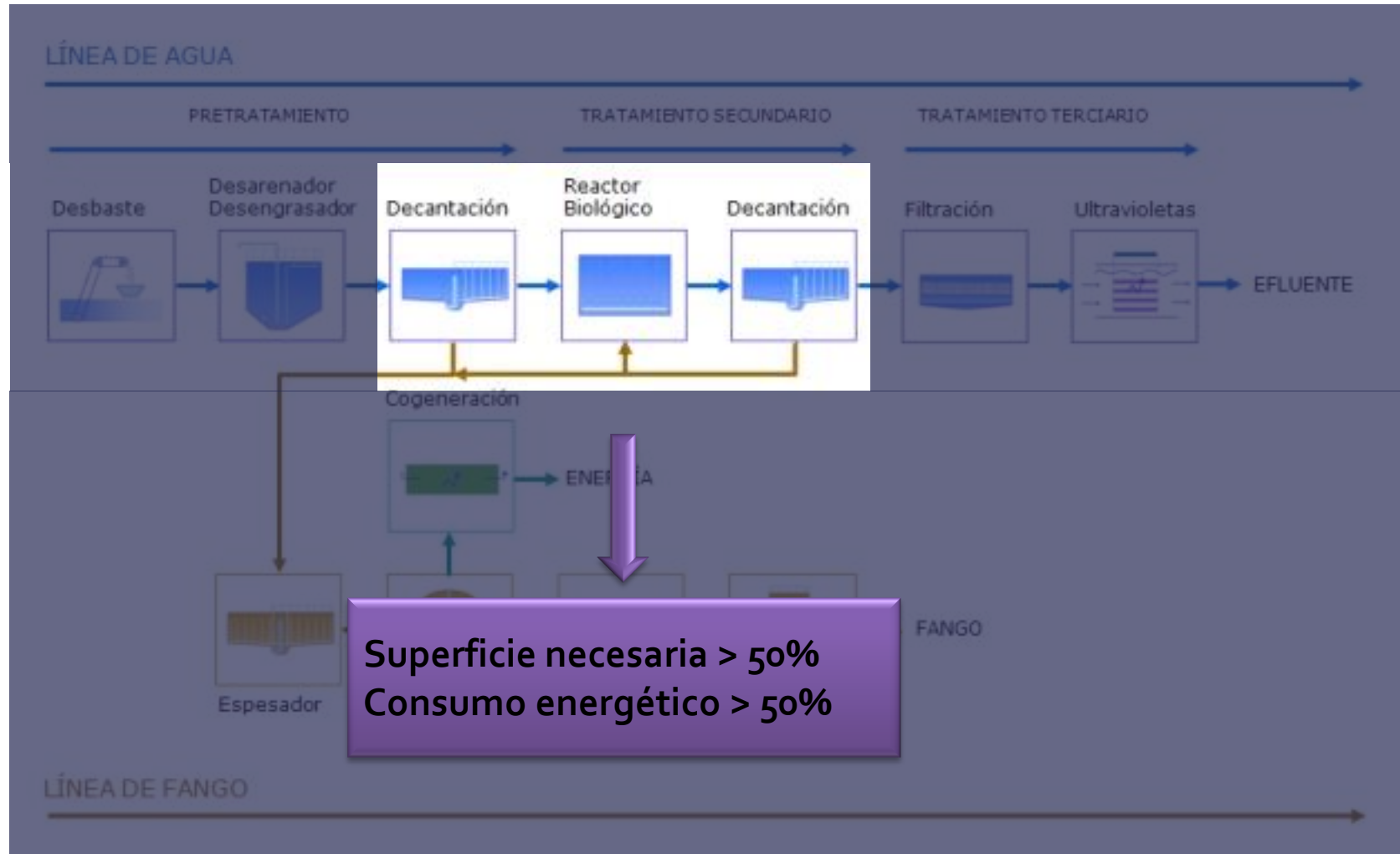
- Factores medioambientales, económicos y sociales
  - Legislación
  - Reutilización del agua
  - Reducción de la huella de carbono
  - Reducción de los costes de operación
  - Sensibilización social





Adaptado de: Entidad Publica de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR) de la Comunidad Valenciana  
<http://www.epsar.gva.es/sanejament/instalaciones/instalaciones.aspx?idtipo=56>

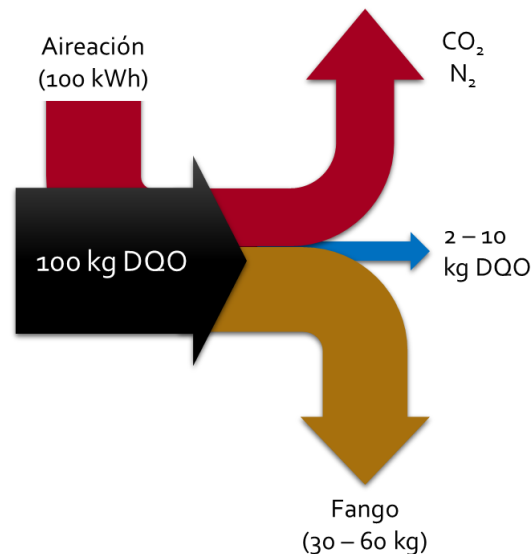
## ➤ Fangos activados con eliminación de nutrientes



## ➤ Directrices clave hacia un tratamiento sostenible

- Reducción del consumo energético.
- Recuperación de recursos: agua, energía y nutrientes.
- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

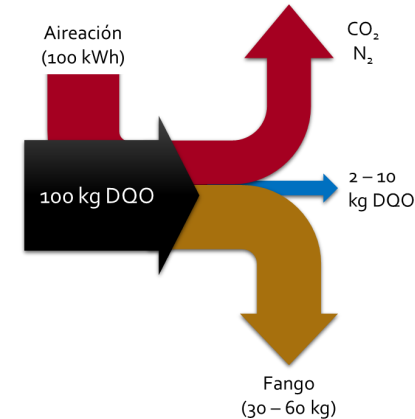
## ➤ Sistemas de tratamiento aerobios



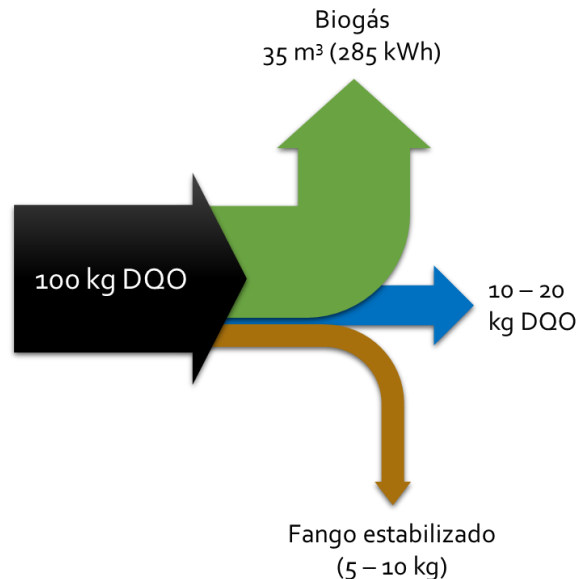
- Consumo significativo de energía en aireación.
- Pérdidas de calor.
- Elevada producción de fangos.
- Elevada emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Sin recuperación de N.

## ➤ Directrices clave hacia un tratamiento sostenible

- Reducción del consumo energético.
- Recuperación de recursos: agua, energía y nutrientes.
- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.



## ➤ Sistemas de tratamiento anaerobios



- No consumen energía en aireación
- Producen una corriente de metano con elevado valor energético.
- Menor emisión de CO<sub>2</sub>.
- Reducida producción de fangos (Y↓).
- Oportunidad de recuperación de nutrientes.

|                                      | AEROBIO                       | ANAEROBIO                                  |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| <b><i>DQO<sub>EFLUENTE</sub></i></b> | <b><i>2 – 10 kg *</i></b>     | <b><i>10 – 20 kg*</i></b>                  |
| <b><i>FANGO PRODUCIDO</i></b>        | <b><i>30 – 60 kg *</i></b>    | <b><i>5 – 10 kg *</i></b>                  |
| <b><i>FANGO ESTABILIZADO</i></b>     | <b><i>Generalmente No</i></b> | <b><i>Generalmente Sí</i></b>              |
| <b><i>BIOGÁS</i></b>                 | <b><i>No</i></b>              | <b><i>35 m<sup>3</sup> (285 kWh) *</i></b> |
| <b><i>AIREACIÓN</i></b>              | <b><i>100 kWh *</i></b>       | <b><i>No</i></b>                           |

*\* Por cada 100 kg DQO afluente (Olsson et al., 2005; ICA in Wastewater Systems; IWA Publishing)*

- Aguas residuales industriales (alta carga orgánica)
- Digestión de residuo sólido orgánico
- Digestión de fangos producidos en las EDAR
- Baja sedimentabilidad de los fangos producidos
- Velocidades de reacción bajas
  - Altos TRC y/o temperaturas



**Residuos con alta carga orgánica:**  
 ↑ **CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>** ↑ **T**

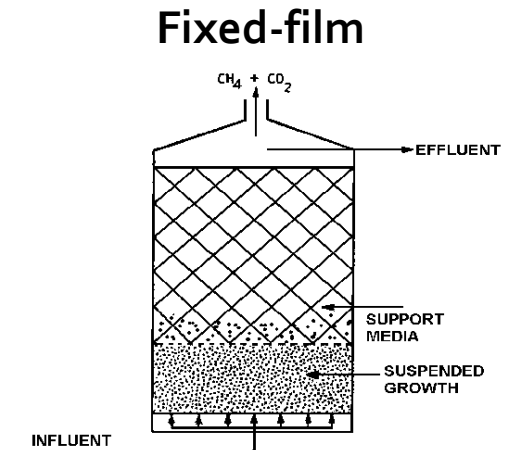
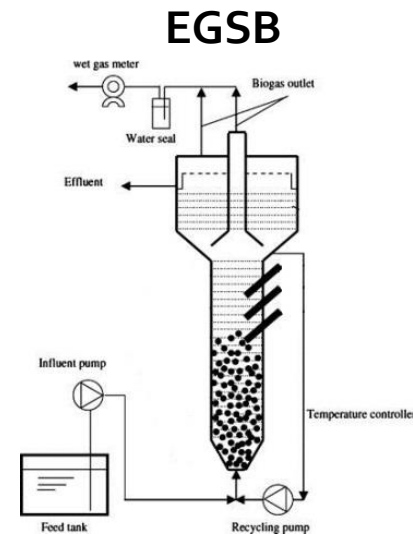
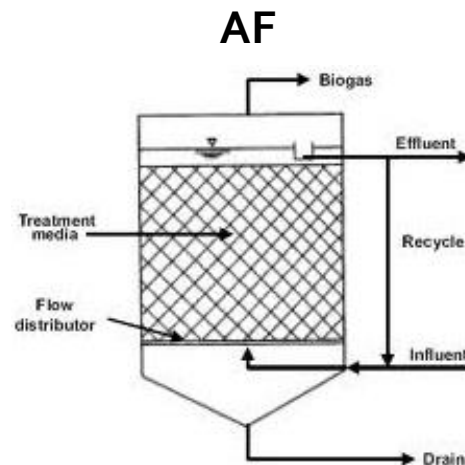
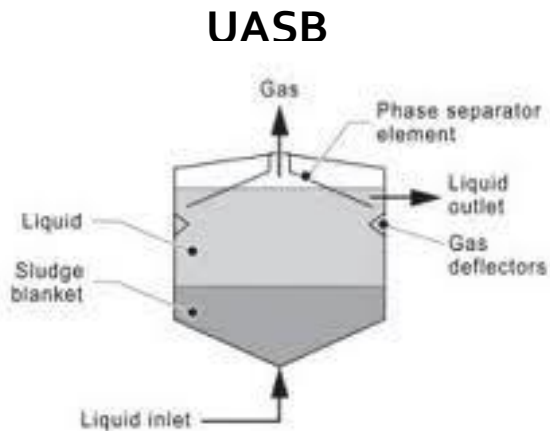


**Si podemos retener la biomasa el tiempo suficiente...**

**¿Se podría tratar anaeróbicamente el agua residual urbana a temperatura ambiente?**



- Desacoplar los tiempos de retención hidráulico y de sólidos
- Incrementar la capacidad hidráulica del sistema



## ➤ Upward-flow anaerobic sludge blanket Reactor (UASB)

- Ampliamente implementado
  - En torno al 65% de los sistemas actuales

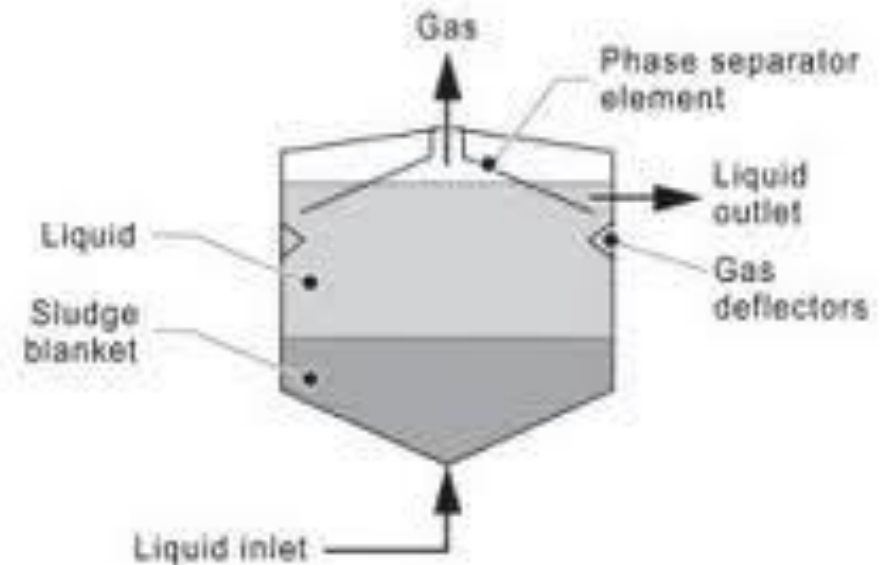
- Simplicidad
  - Diseño
  - Operación

- Bajo coste
  - Inversión
  - Operación y mantenimiento

- Tolerancia a fluctuaciones
  - pH, temperatura, carga hidráulica

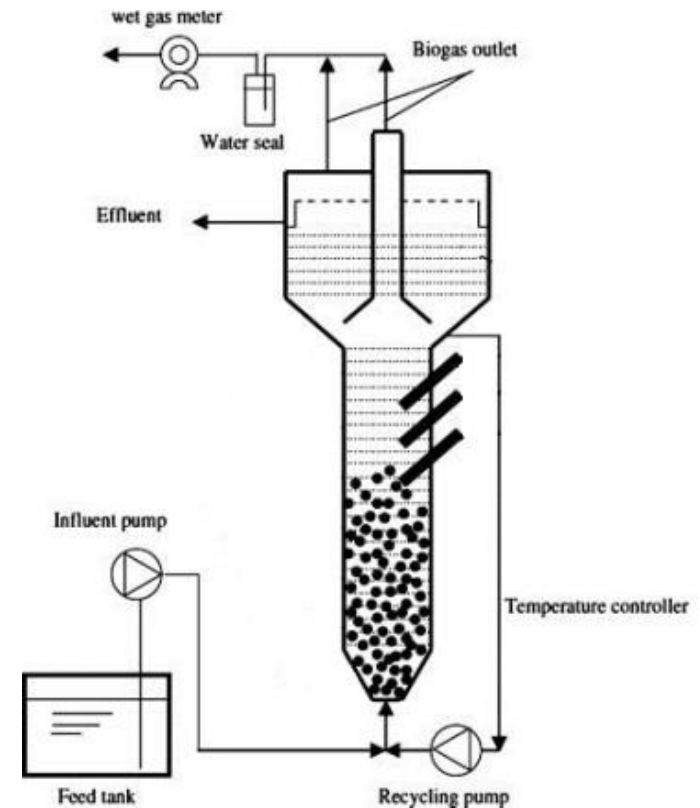
- Baja calidad del efluente producido
  - Limites de vertido
  - Patógenos
  - Necesidad de post-tratamiento

- Sensible a acumulación de AGV
  - Inhibición



## ➤ Expanded Granular Sludge Bed Reactor (EGSB)

- 👍 **Beneficios de UASB**
- 👍 **Mayor velocidad ascensional**
  - Mejora en el grado de mezcla
  - Mejora en la transferencia de materia
- 👍 **Mayor contacto microorganismo-afluente**
  - Mayor rendimiento de eliminación
  - Mejora en la calidad del efluente
  - Reducción zonas muertas
- 👍 **Operación a cargas superiores**
  - Hidráulica
  - Orgánica
- 👍 **Condiciones psicrófilicas**
- 👎 **Baja calidad del efluente producido**
  - Límites de vertido
  - Patógenos
  - Necesidad de post-tratamiento
- 👎 **Imposibilidad de eliminación completa de sólidos**



## ➤ Filtración

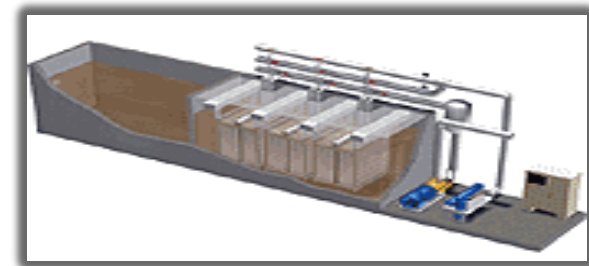
- **Retención completa de la biomasa.**
  - Permite la obtención de una biomasa de mayor biodiversidad.
  - La retención de biomasa no depende de su capacidad para formar agregados.
  - Desacople TRH-TRC
- **Efluente con elevada calidad**
  - Susceptible de reutilización



## ➤ Biorreactores de membrana (MBR)



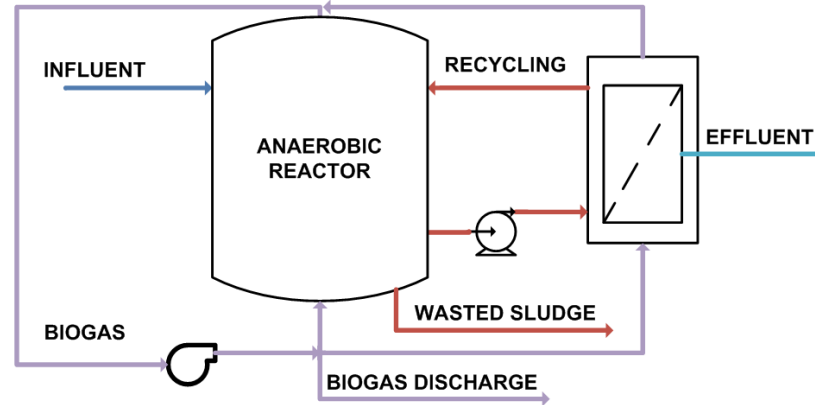
SEDIMENTACIÓN



FILTRACIÓN

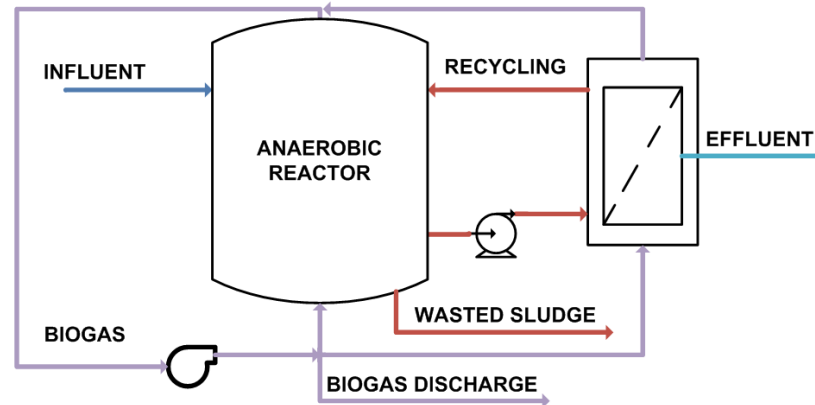
- Mayor concentración de sólidos → Menor volumen de reactor
- Mayor calidad del agua → Tratamiento terciario

## Reactor anaerobio + Membranas de filtración



- **Aprovechar las ventajas de los procesos anaerobios**
  - Menor consumo energético (ausencia aireación)
  - Menor producción de fangos ( $Y \sim 0,1$ )
  - Operación a mayor concentración de sólidos: límite fijado por filtración ( $>20$  g/l)
  - Potencial de recuperación de recursos (energía y nutrientes)
- **Evitar los inconvenientes de los procesos anaerobios**
  - Grandes volúmenes de reactor (TRC elevados)
  - Necesidad de temperaturas elevadas
  - Baja sedimentabilidad del fango

*Reactor anaerobio* + *Membranas de filtración*



## ➤ Posibles inconvenientes

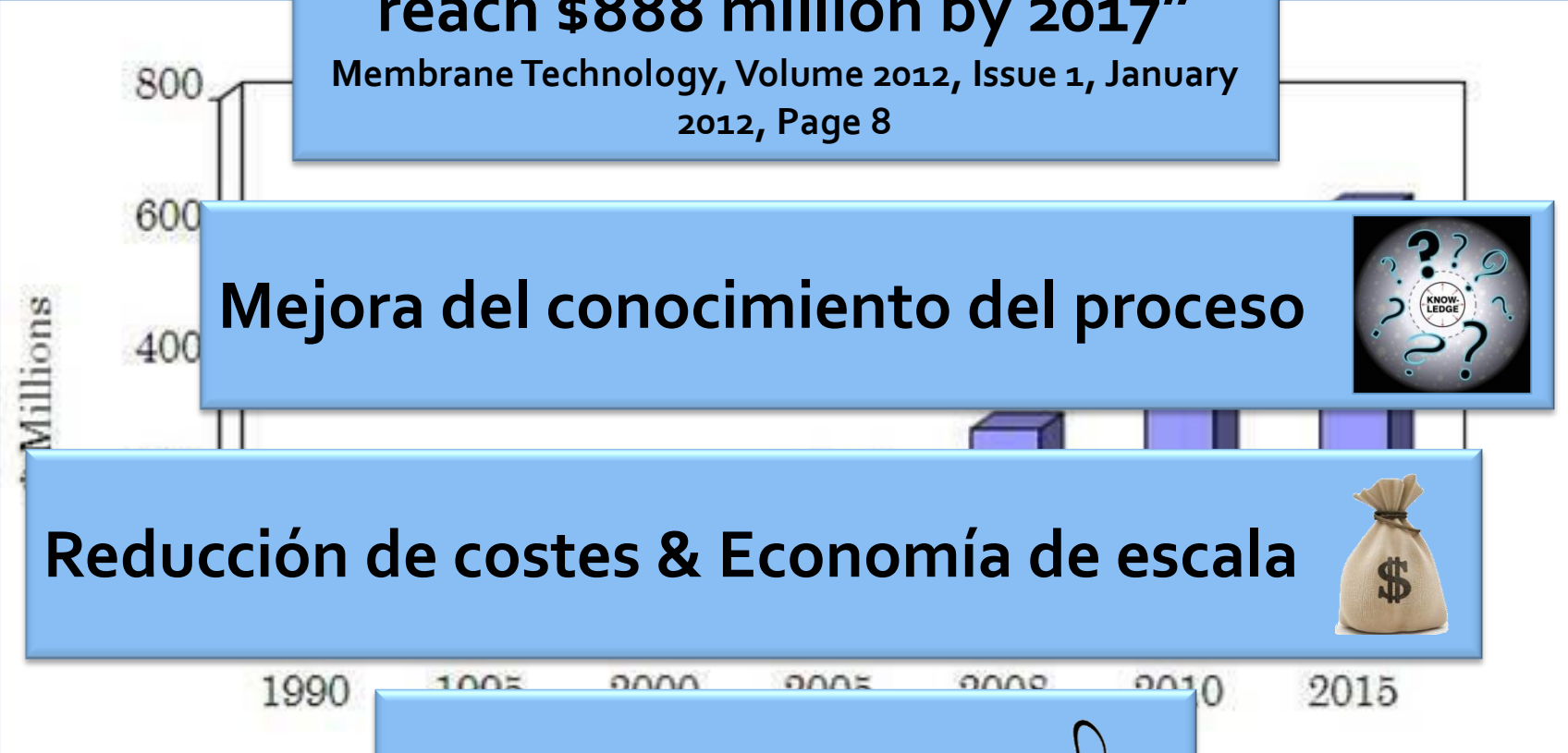
- ¿Costes de adquisición y operación de las membranas?
- Competencia entre Bacterias Sulfato-Reductoras (SRB) y Arqueas Metanogénicas (MA).
- ¿Post-tratamiento: N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub> disuelto, H<sub>2</sub>S biogás?



## EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

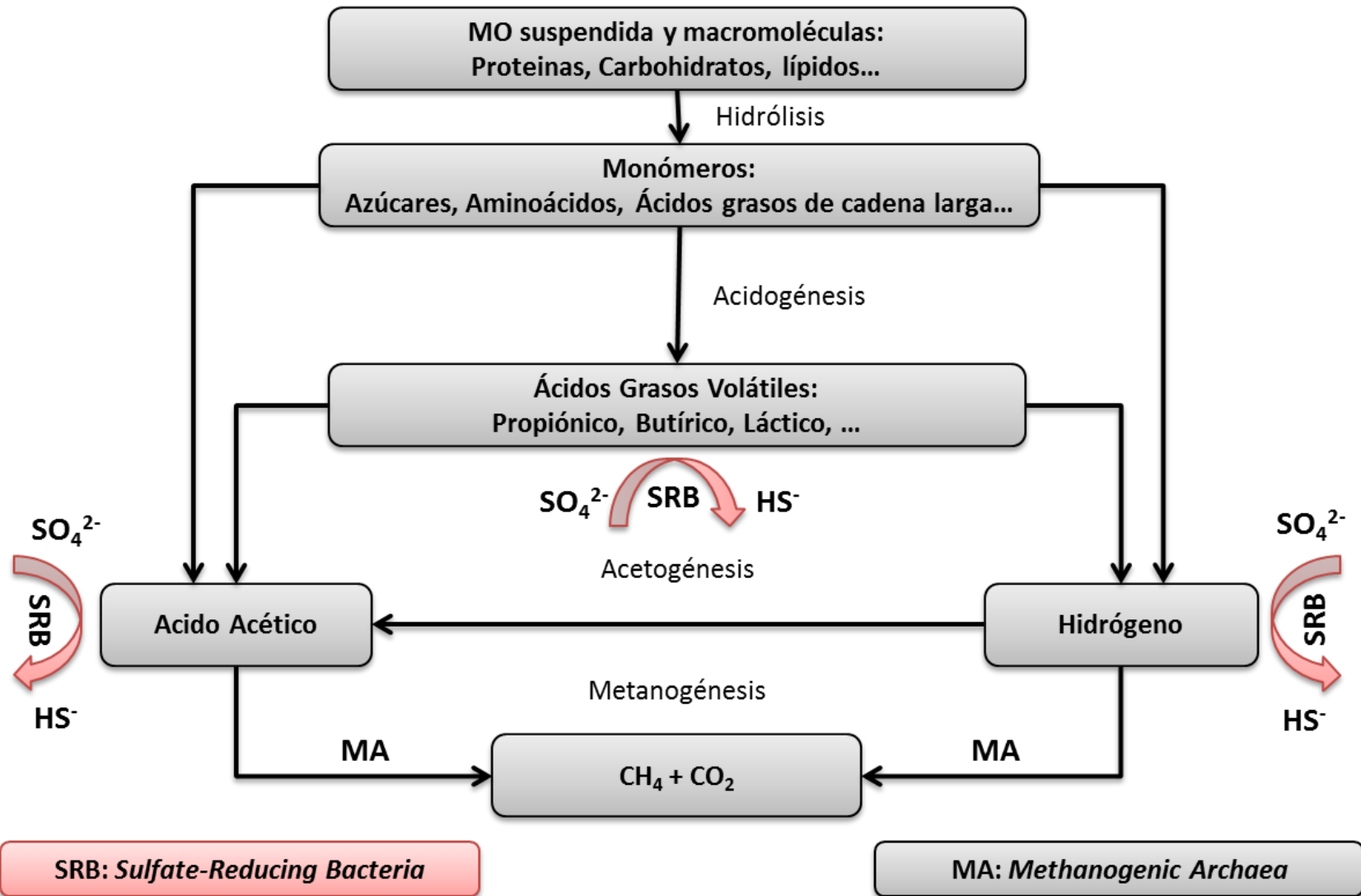
## ➤ Tendencia y perspectiva del mercado MBR

**“Global MBR market forecast to reach \$888 million by 2017”**  
Membrane Technology, Volume 2012, Issue 1, January 2012, Page 8



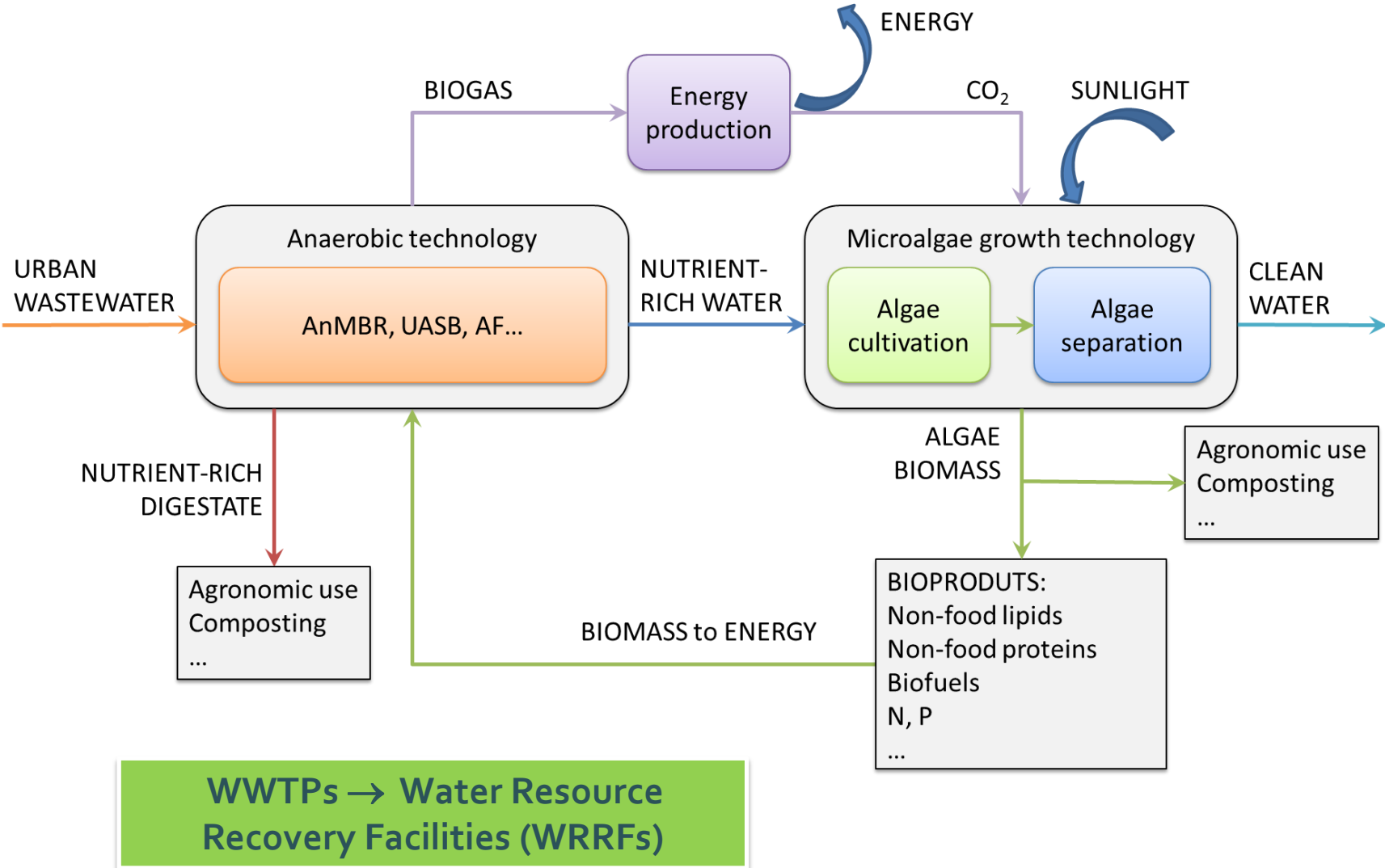
Source: BCC Research

## ➤ Competencia SRB-MA

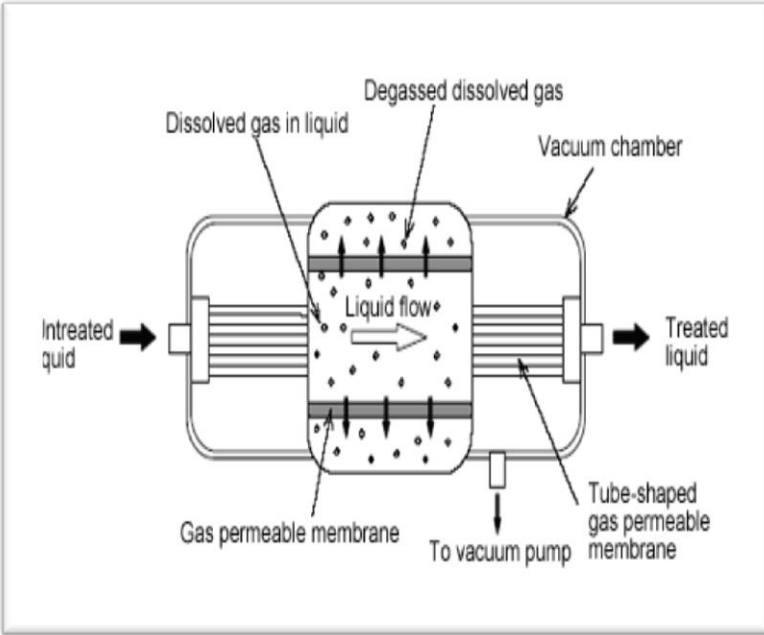




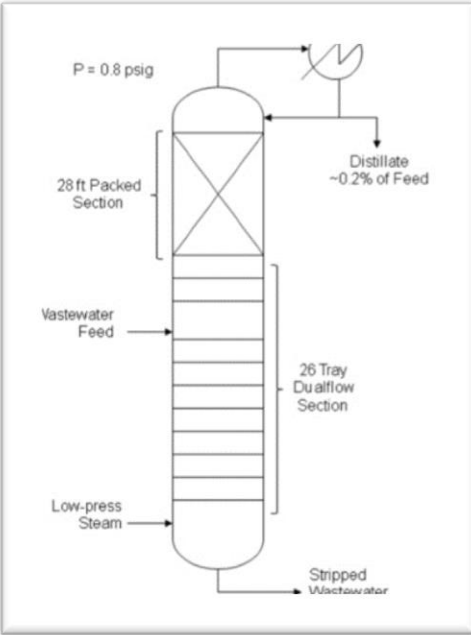
## ➤ Tecnologías para la recuperación de nutrientes



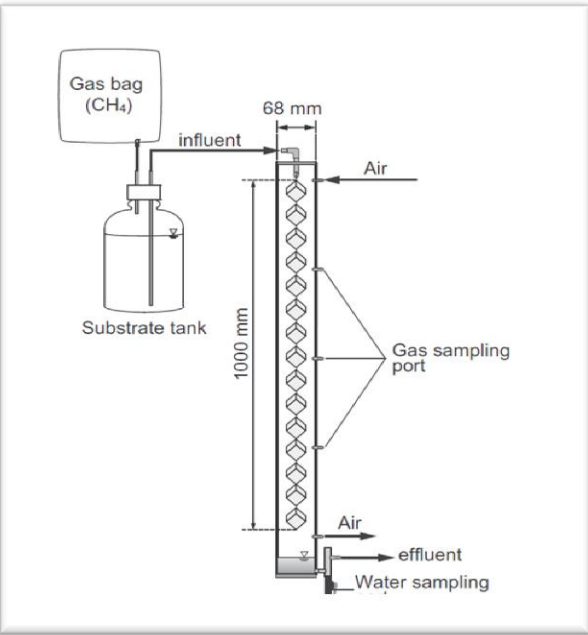
## ➤ Tecnologías para la recuperación de metano disuelto



*Down-flow hanging sponge (DHS) reactor*



*Stripping of AnMBR effluent through post-treatment aeration*



*Degassing membrane (DM) for methane recovery*

Buscando la EDAR del Siglo XXI

# AnMBR: EJEMPLO DE APLICACIÓN

CONCLUSIONES

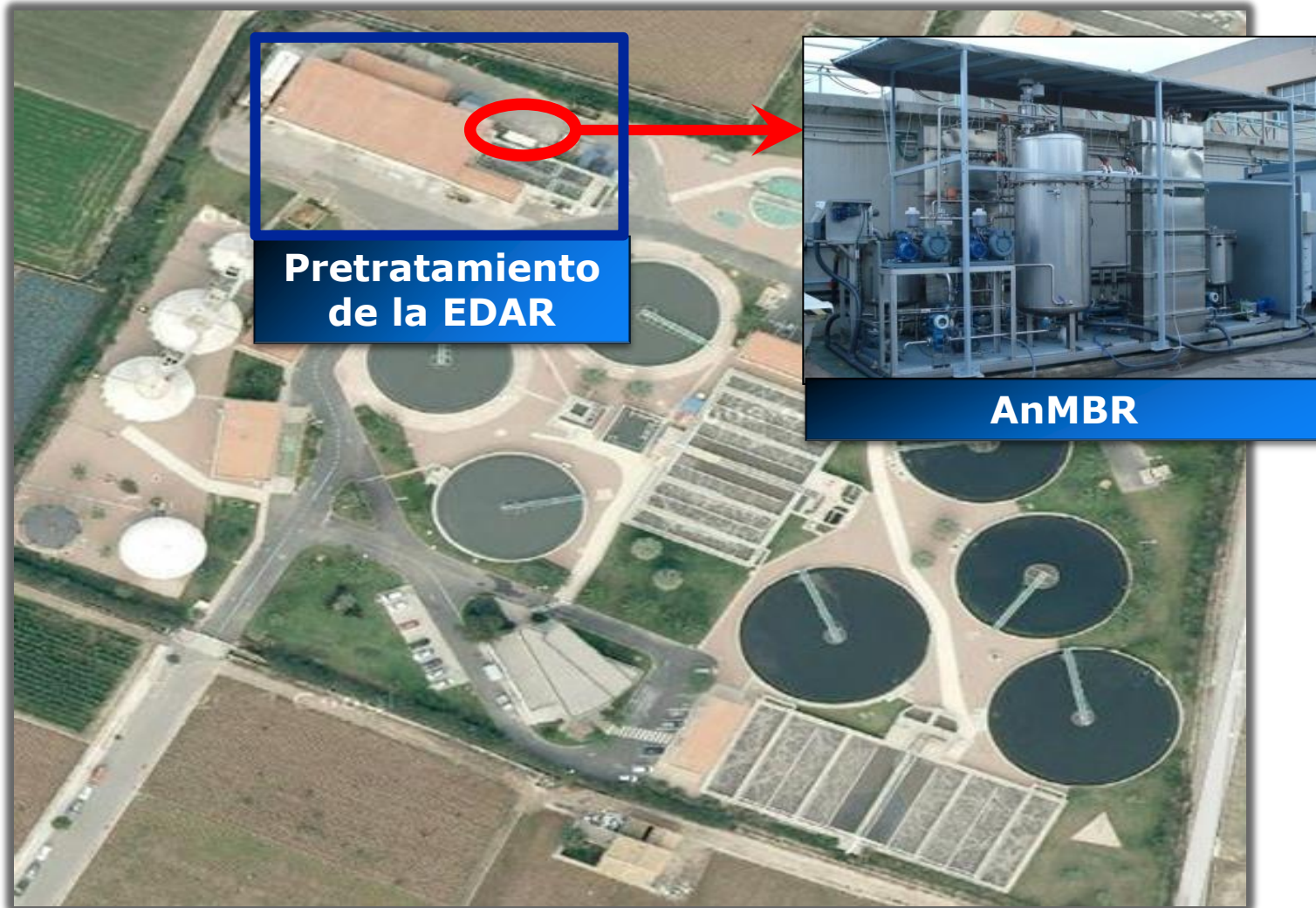


**Volumen de reacción: 2,2 m<sup>3</sup>**

**TECNOLOGÍA PURON® DE KMS**  
**Fibra hueca**  
**Filtración fuera-dentro**  
**30 m<sup>2</sup> de superficie**  
**Ultrafiltración (0,05 µm)**



## ➤ Agua residual afluyente



## ➤ Características del agua residual afluyente

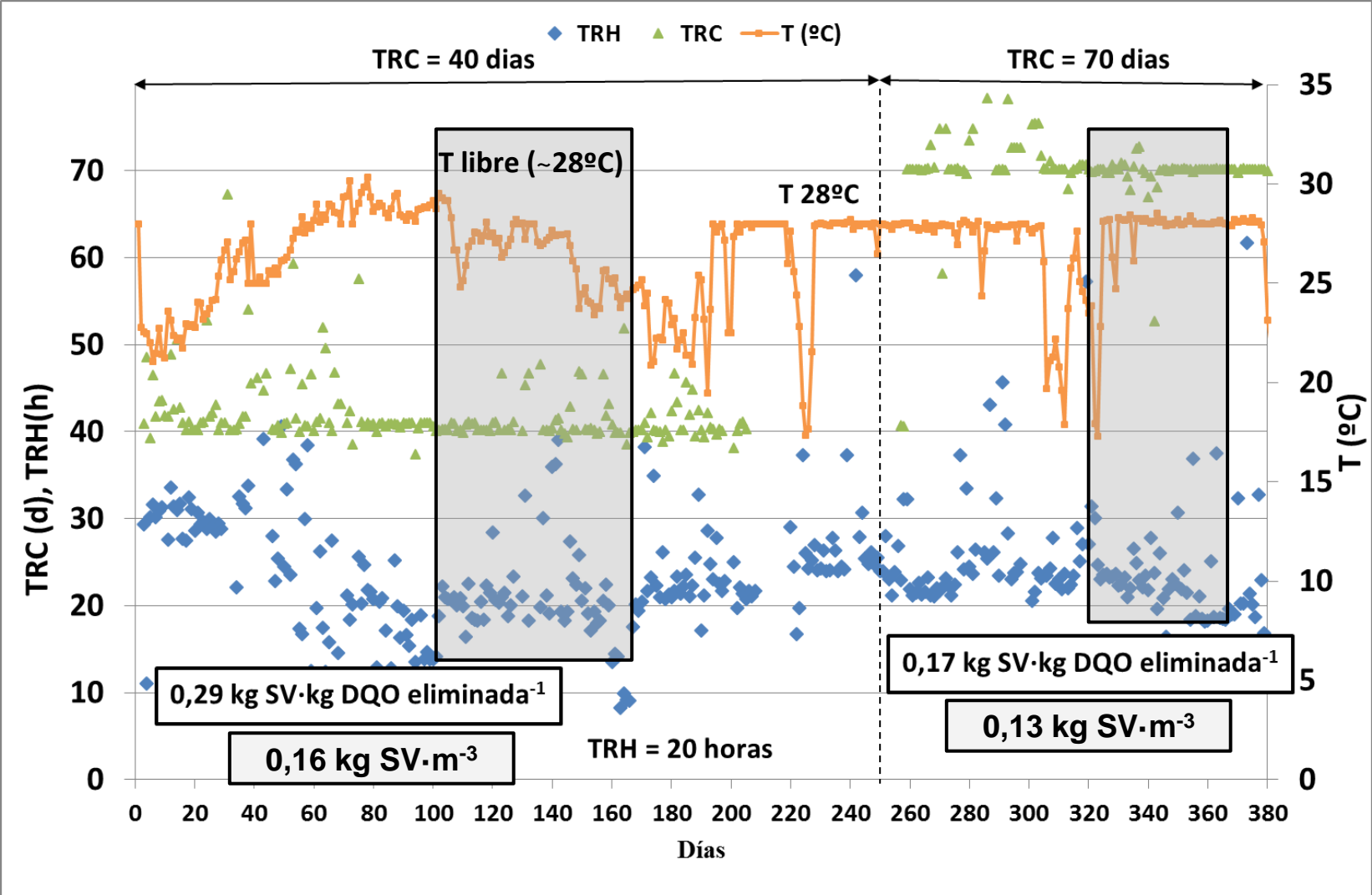
**Carga del influente muy variable**

| Variable                                      | Media $\pm$ SD*  |
|---|------------------|
| SST (mg SS·l <sup>-1</sup> )                  | 186 $\pm$ 61     |
| SSV (mg SS·l <sup>-1</sup> )                  | 150 $\pm$ 54     |
| DQO <sub>T</sub> (mg DQO·l <sup>-1</sup> )    | 388 $\pm$ 95     |
| DQO <sub>S</sub> (mg DQO·l <sup>-1</sup> )    | 79 $\pm$ 25      |
| AGV (mg DQO·l <sup>-1</sup> )                 | 11 $\pm$ 7       |
| S-SO <sub>4</sub> (mg S·l <sup>-1</sup> )     | 99 $\pm$ 18      |
| N-NH <sub>4</sub> (mg N·l <sup>-1</sup> )     | 27,0 $\pm$ 8,1   |
| P-PO <sub>4</sub> (mg P·l <sup>-1</sup> )     | 2,7 $\pm$ 0,9    |
| Alk. (mg CaCO <sub>3</sub> ·l <sup>-1</sup> ) | 292,5 $\pm$ 37,2 |

**Baja DQO**

**Concentración de sulfato importante**

# Producción de fangos

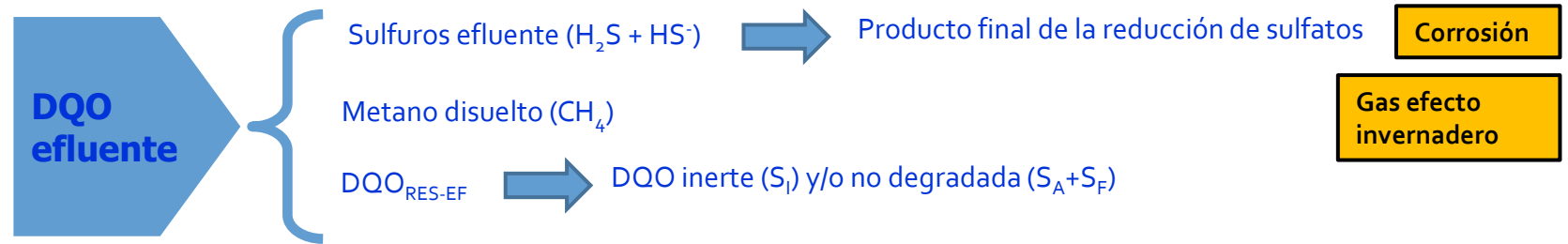


| Parámetro   | Unidades                  | TRC 40 días  | TRC 70 días  |
|-------------|---------------------------|--------------|--------------|
|             |                           | Media ± SD   | Media ± SD   |
| $DQO_T$     | $mg\ DQO \cdot L^{-1}$    | 260 ± 57     | 274 ± 24     |
| $DQO_S$     | $mg\ DQO \cdot L^{-1}$    | 260 ± 57     | 274 ± 24     |
| $N-NH_4$    | $mg\ N \cdot L^{-1}$      | 42,9 ± 7,9   | 57,1 ± 8,5   |
| $P-PO_4$    | $mg\ P \cdot L^{-1}$      | 5,7 ± 0,9    | 8,4 ± 0,7    |
| $S-SO_4$    | $mg\ S \cdot L^{-1}$      | 15,2 ± 10,7  | 11,4 ± 3,8   |
| $pH$        |                           | 7,03 ± 0,02  | 7,03 ± 0,04  |
| Alcalinidad | $mg\ CaCO_3 \cdot L^{-1}$ | 613,7 ± 55,5 | 769,2 ± 37,4 |
| AGV         | $mg\ HAc \cdot L^{-1}$    | 1,7 ± 2,6    | 0,5 ± 1,0    |

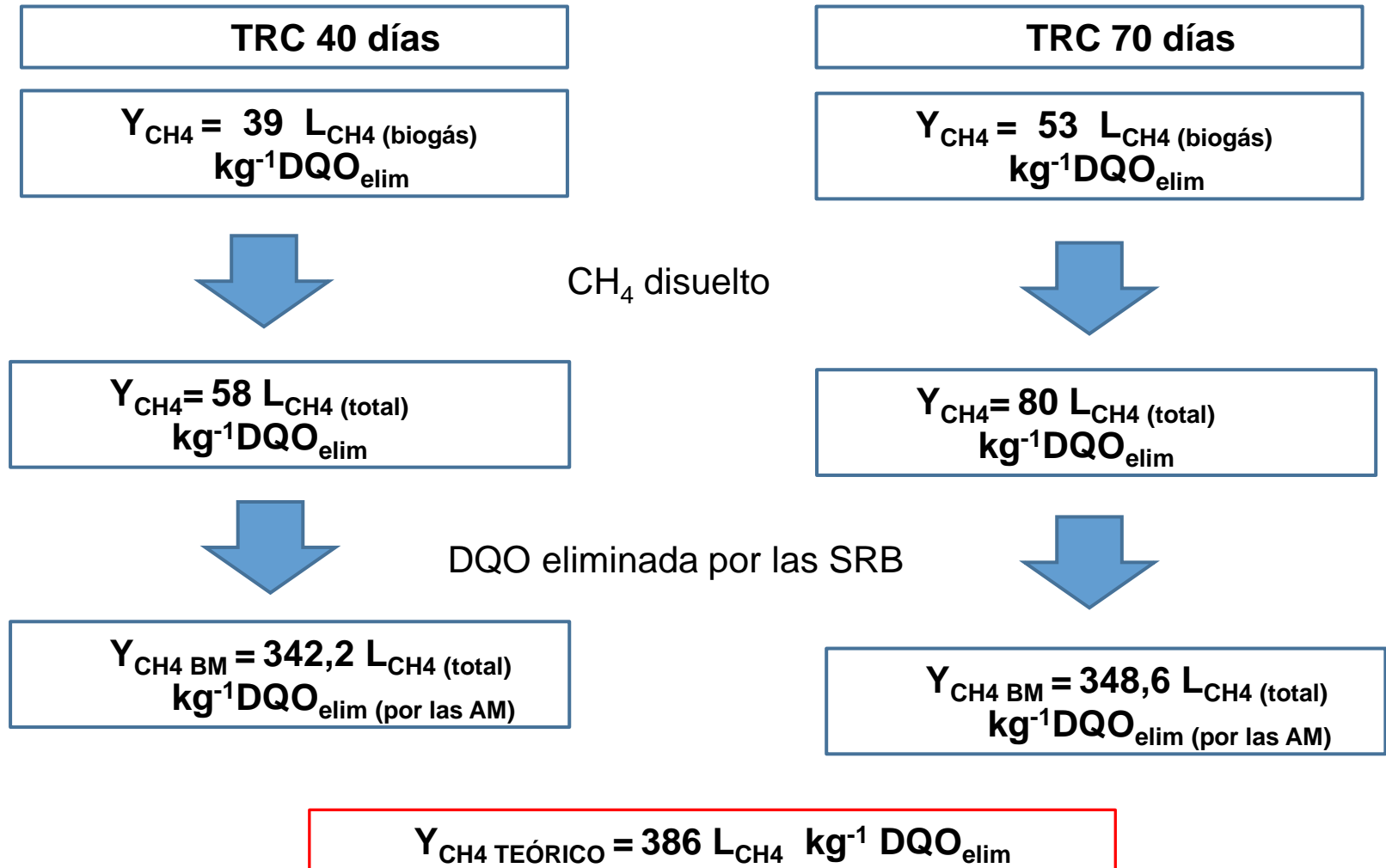
**$DQO_{S^{2-}} =$**   
 189  $mg\ L^{-1}$  (40 días)  
 187  $mg\ L^{-1}$  (70 días)

**$DQO_{CH_4} =$**   
 37  $mg\ L^{-1}$  (40 días)  
 57  $mg\ L^{-1}$  (70 días)

**$DQO_{RES-EF} =$**   
 34  $mg\ L^{-1}$  (40 días)  
 30  $mg\ L^{-1}$  (70 días)



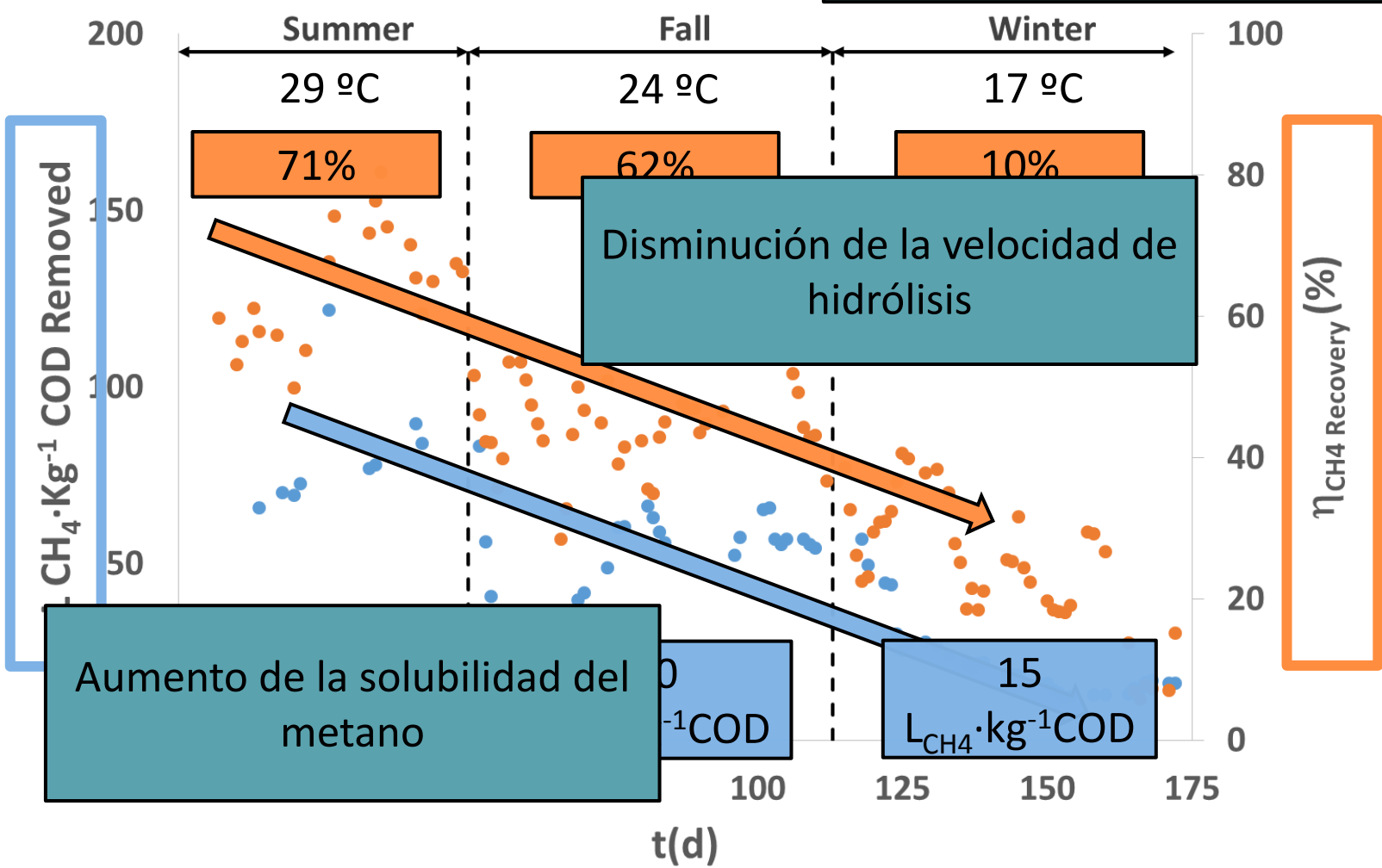




# Potencial recuperación metano ( $\eta_{\text{Recovery}}^{\text{CH}_4}$ )

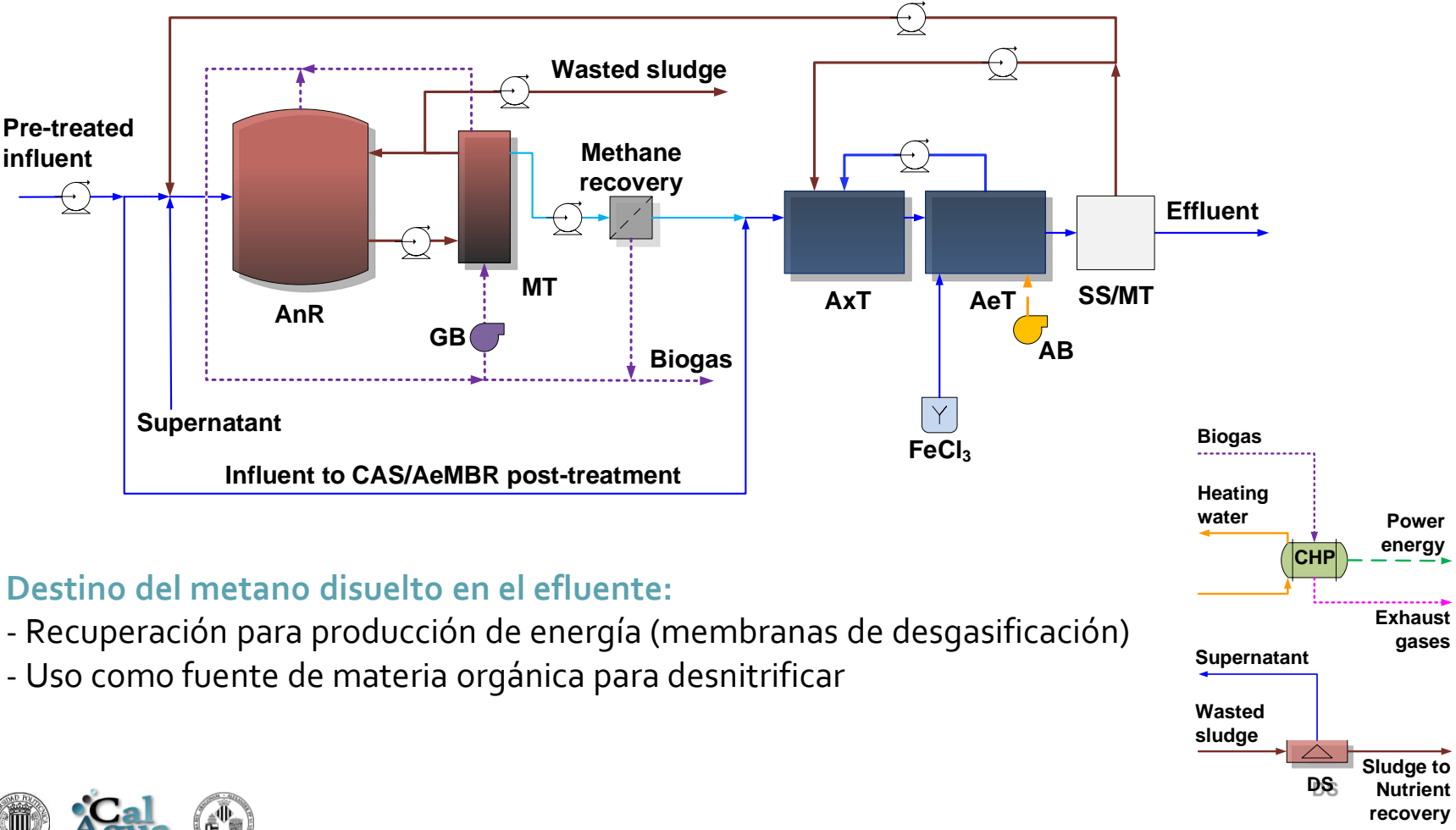


$$\eta_{\text{Recovery}}^{\text{CH}_4} = \frac{\text{CH}_4^{\text{Biogas}}}{\text{CH}_4^{\text{Biogas}} + \text{CH}_4^{\text{Dissolved}}} \cdot 100$$



Producción  $\text{CH}_4$  (●) y Potencial recuperación metano (●)

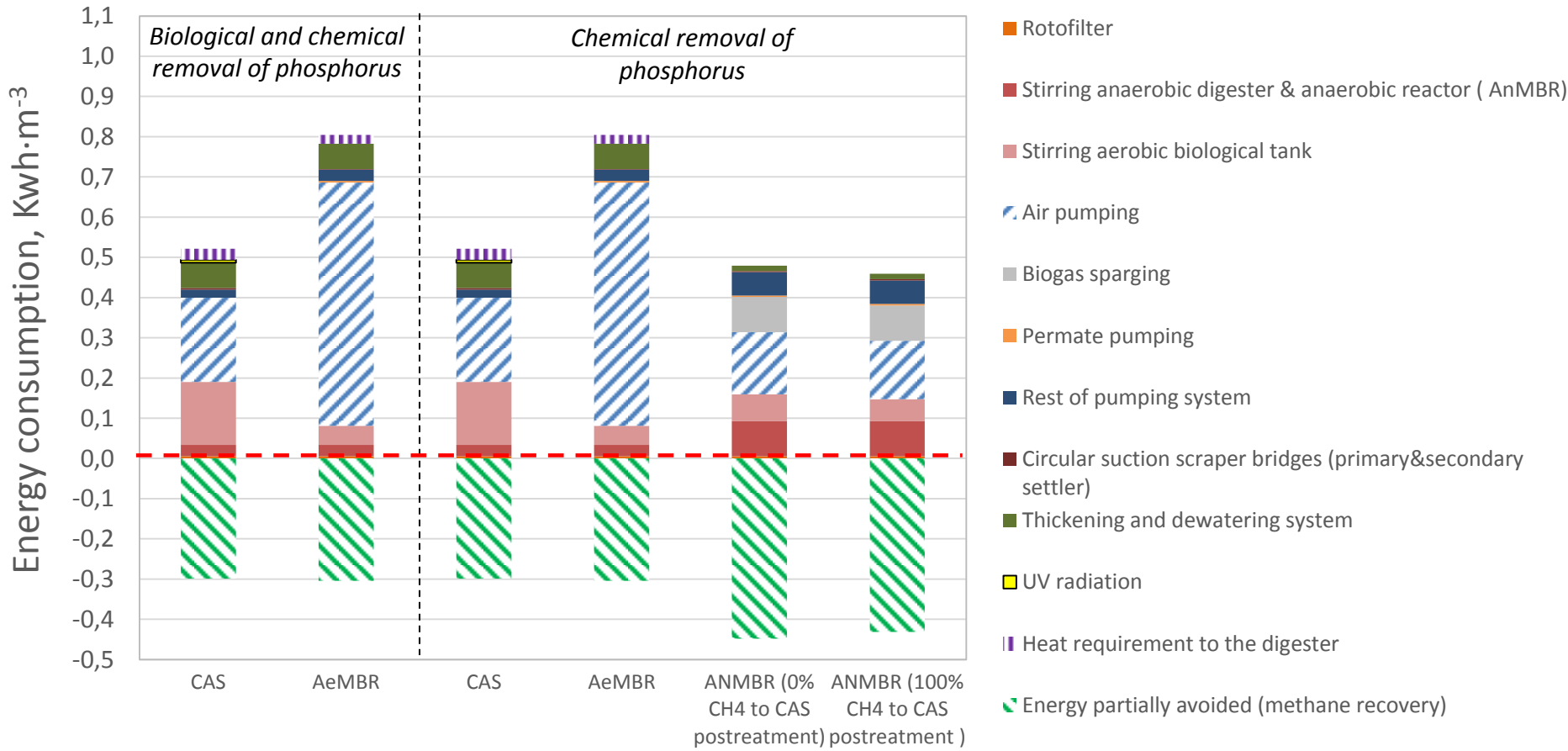
## AnMBR (+ post-tratamiento aerobio para eliminación de nutrientes)



### Destino del metano disuelto en el efluente:

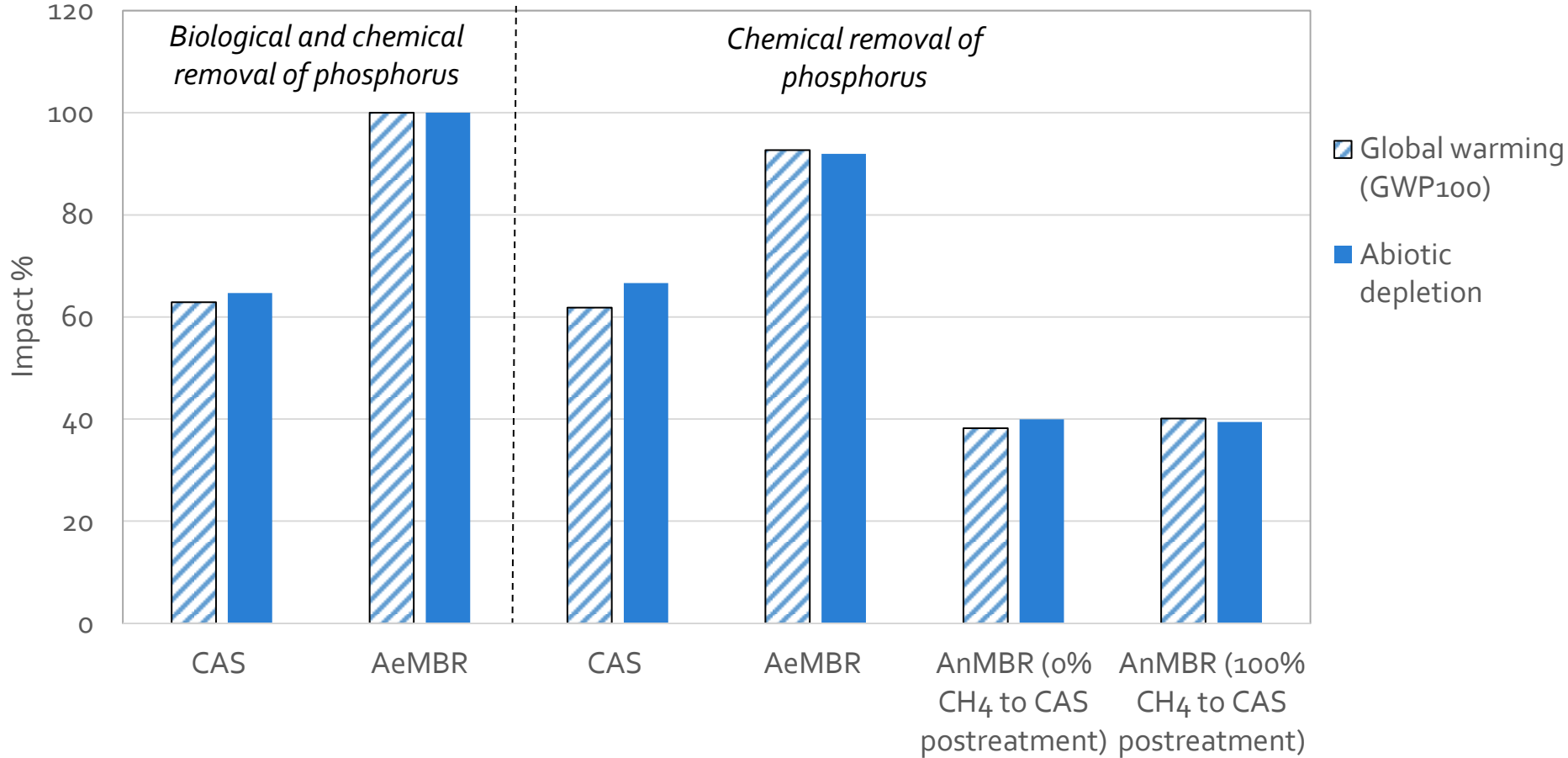
- Recuperación para producción de energía (membranas de desgasificación)
- Uso como fuente de materia orgánica para desnitrificar

## ➤ Consumo de energía



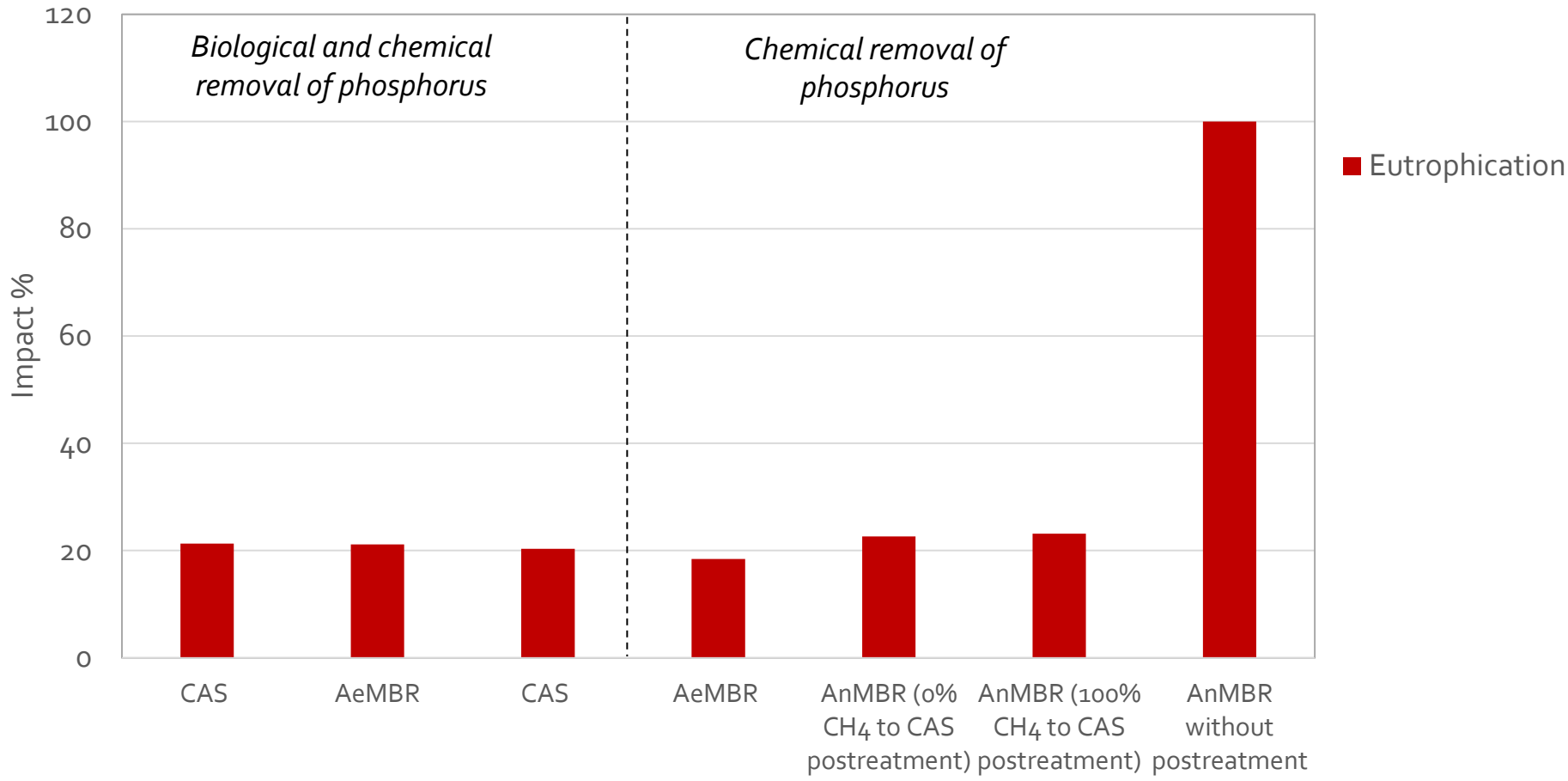
Consumo neto de energía AnMBR: 0,03  $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$

## ➤ Impactos medioambientales (LCA, en valores de normalización)

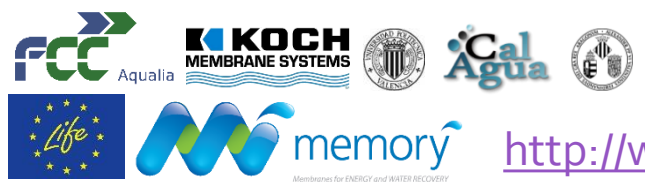
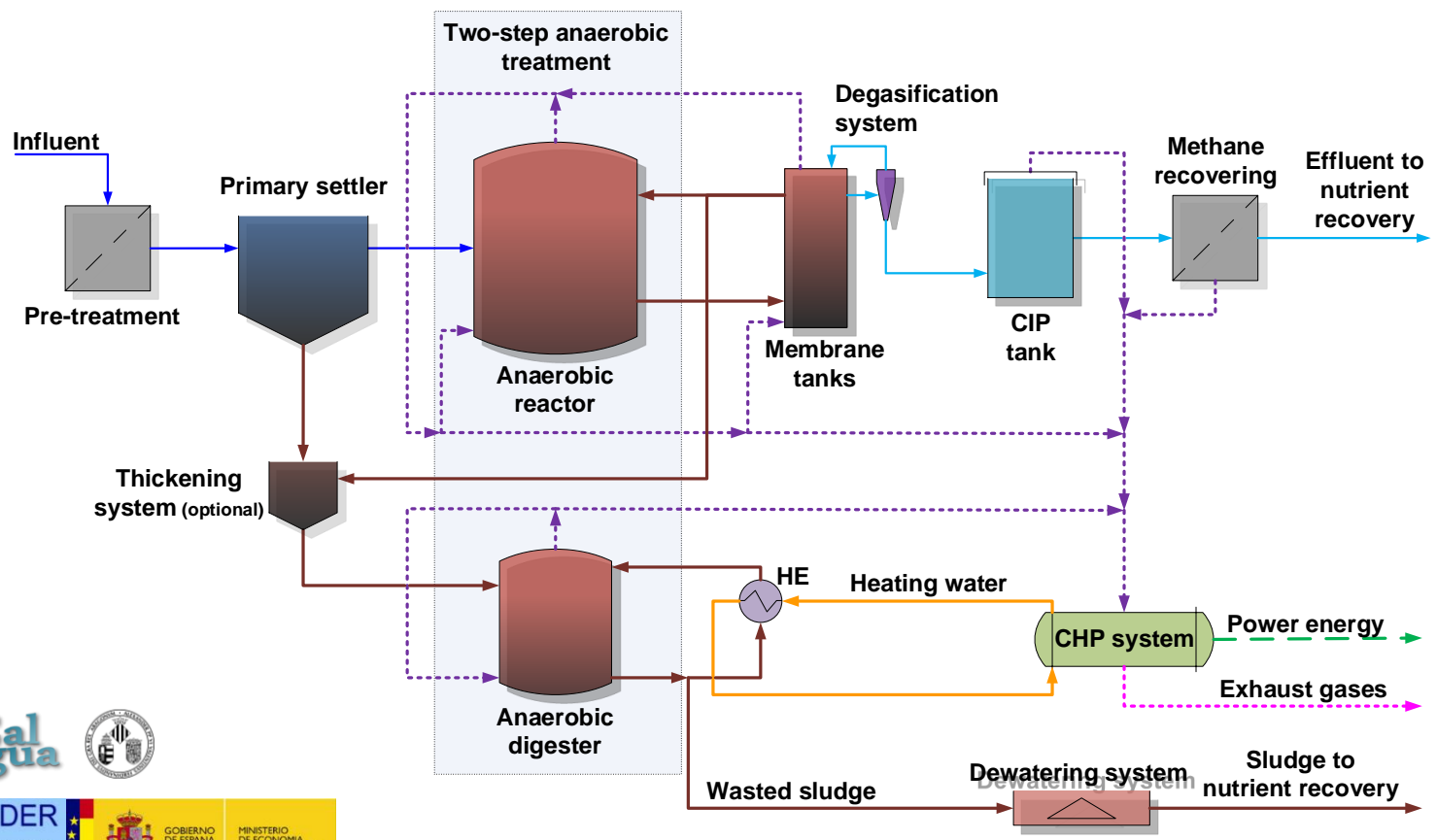


## ➤ Impactos medioambientales (LCA, en valores de normalización)

**¡EFLUENTE SUSCEPTIBLE DE REUTILIZACIÓN!**



## ➤ AnMBR (+ decantación primaria + digestión anaerobia)

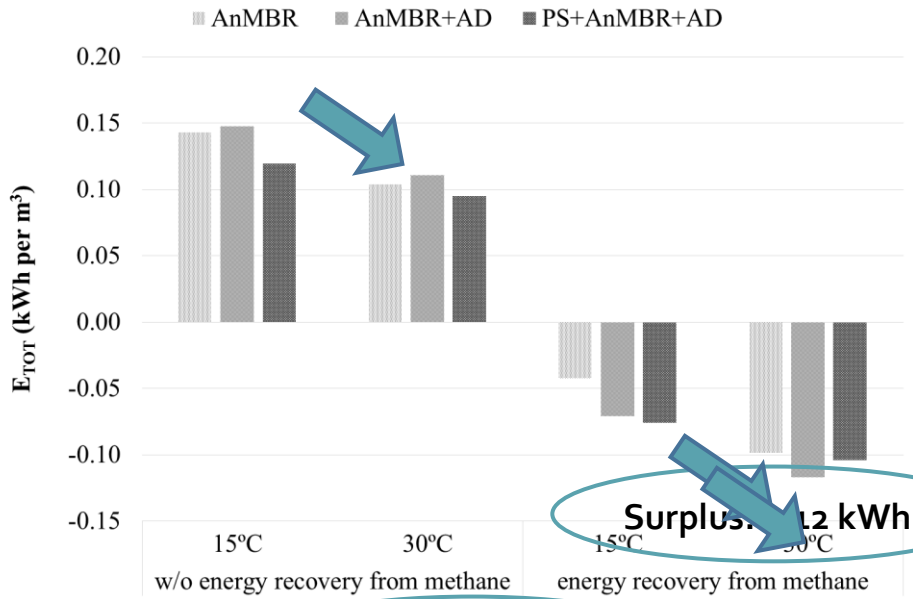


<http://www.life-memory.eu/>

**Treatment issues:**

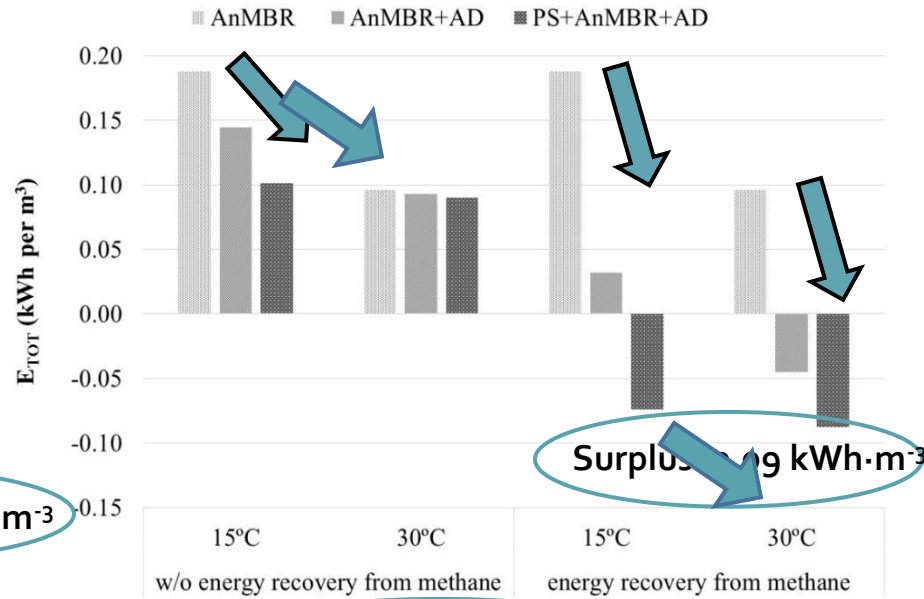
- Low temperature
- High-sulphate UWW

## ➤ AnMBR (+ decantación primaria + digestión anaerobia)



Low-sulphate UWW

Surplus 0.12 kWh·m<sup>-3</sup>

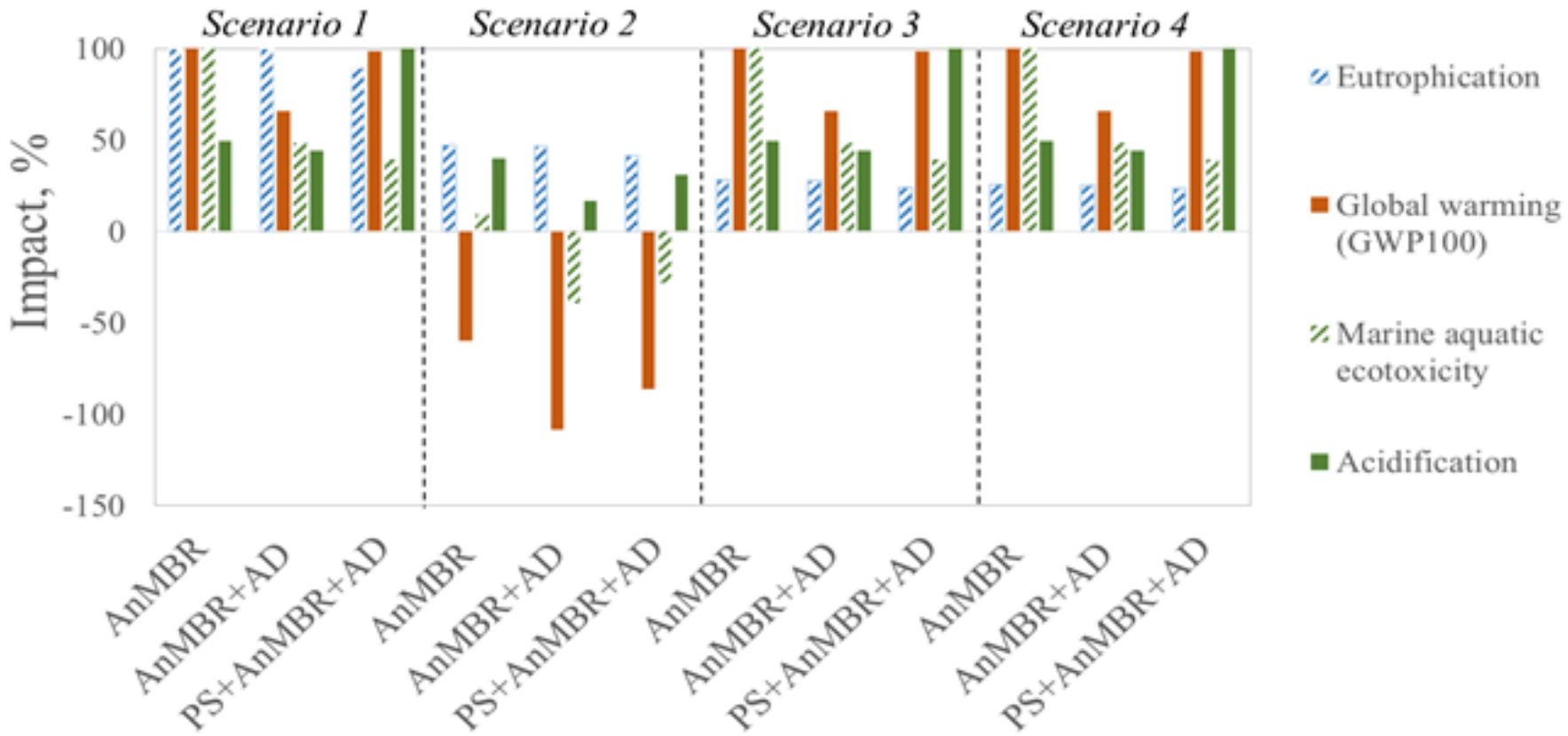


Sulphate-rich UWW

Surplus 0.09 kWh·m<sup>-3</sup>



## ➤ AnMBR (+ decantación primaria + digestión anaerobia)



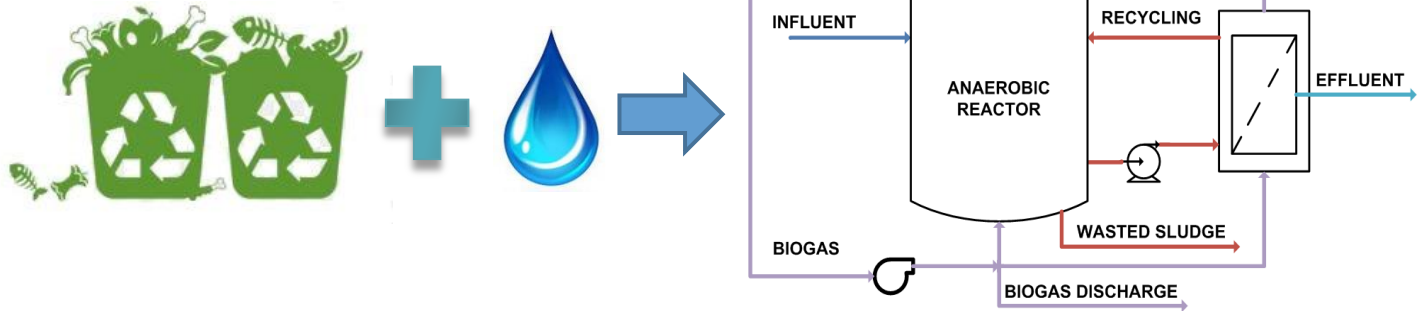
Scenario 1: effluent discharge to natural water courses without nutrient recovery.

Scenario 2: effluent reuse for farmland irrigation recovering 50 and 70% of the effluent nitrogen (N) and phosphorous (P), respectively, as fertiliser (Bengtsson et al., 1997).

Scenario 3: effluent nutrient uptake using microalgae cultivation, capturing 65 and 100% of the effluent ammonium and phosphate, respectively, according to the stoichiometric N/P ratio (Lyovo et al., 2010).

Scenario 4: effluent nutrient uptake using ionic exchange, capturing around 85% of the effluent ammonium and phosphate (Acelas et al., 2014).

## ➤ AnMBR (+ FORSU )



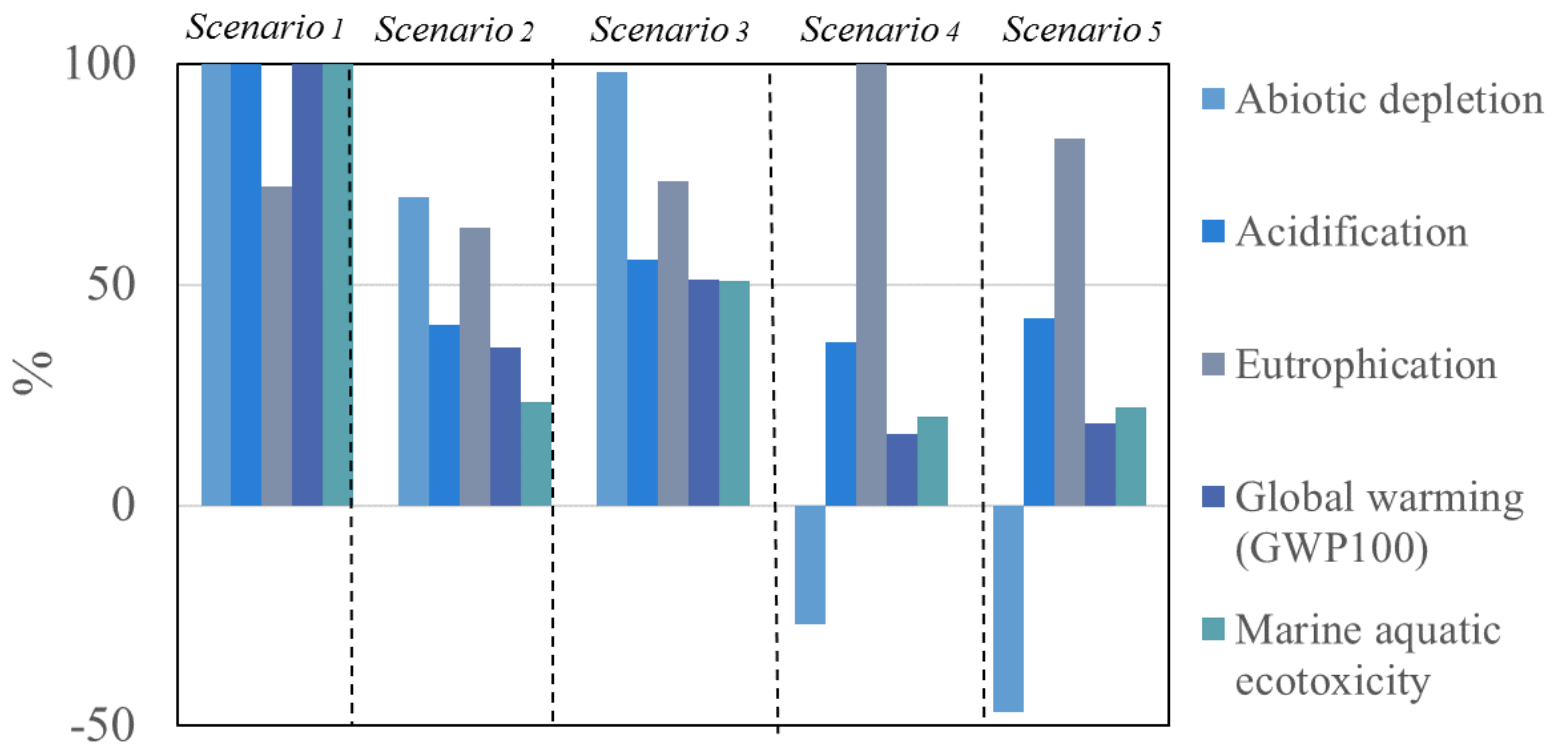
### Ventajas del proceso

- Mayor producción de biogás
- Sinergias positivas de la mezcla

### Ventajas de la Gestión de residuos

- Reducción de volumen a vertedero
- Reducción costas transporte
- Reducción del consumo de combustibles fósiles

## ➤ AnMBR (+ FORSU )



|            | SRT<br>(days) | HRT<br>(hours) | T<br>(°C) | PF<br>(%) | OLR<br>(kg COD·m <sup>-3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |
|------------|---------------|----------------|-----------|-----------|---|
| Scenario 1 | 40            |                |           | 0         | 0.537   |
| Scenario 2 | 70            |                |           | 0         | 0.717   |
| Scenario 3 | 40            | ≈20            | ≈25       | 40        | 0.871   |
| Scenario 4 | 70            |                |           | 40        | 1.045   |
| Scenario 5 | 70            |                |           | 80        | 1.014   |

**Buscando la EDAR del Siglo XXI**

**AnMBR: EJEMPLO DE APLICACIÓN**

**CONCLUSIONES**



- La tecnología AnMBR permite reducir:
  - la producción de fangos asociada al tratamiento de ARU. La producción de fangos es de aproximadamente **0.13-0.16 kg SV·m<sup>-3</sup>**.
  - el consumo energético asociado al tratamiento de ARU (incluyendo eliminación de nutrientes). El consumo neto de energía de esta tecnología es de aproximadamente **0.03 kWh·m<sup>-3</sup>**.
- Desde un punto de vista ambiental, la tecnología AnMBR presenta un menor impacto en cuanto a cambio climático, agotamiento de recursos, acidificación y ecotoxicidad marina.
  - No ocurre lo mismo con la eutrofización debido a la generación de un efluente rico en nutrientes, por lo que es necesario un postratamiento o reutilización del efluente generado.

# AnMBR: Alternativa tecnológica para transformar las actuales estaciones depuradoras de agua residual urbana en factorías de recuperación de recursos

**Ángel Robles**

*CALAGUA – Unidad Mixta UV-UPV*

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)  
Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Unidad Mixta UV-UPV



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA

**Ruth Pretel<sup>1</sup>, Patricia Moñino<sup>1</sup>, Silvia Greses<sup>2</sup>, Juan Bautista Giménez<sup>2</sup>,  
Victoria Ruano<sup>2</sup>, Nuria Martí<sup>2</sup>, Aurora Seco<sup>2</sup>, José Ferrer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) - Universitat Politècnica de València

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química - Universitat de València