



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Generalitat de Catalunya
Departament d'Empresa i Coneixement
Secretaria d'Universitats i Recerca



Unió Europea
Fons social europeu
L'FSE inverteix en el teu futur

Estado del arte de los AnMBRs para el tratamiento de aguas residuales urbanas

Sergi Vinardell^a, María Alicia Cardete^a, Isaac Fernández^b, Joan Dosta^a, Joan Mata-Álvarez^a

^a Department of Chemical Engineering, University of Barcelona, Spain

^b CETIM Technological Centre, A Coruña, Spain

VII JORNADA *sobre*
BIOREACTORES *de*
MEMBRANA

Barcelona 16 de Mayo de 2019

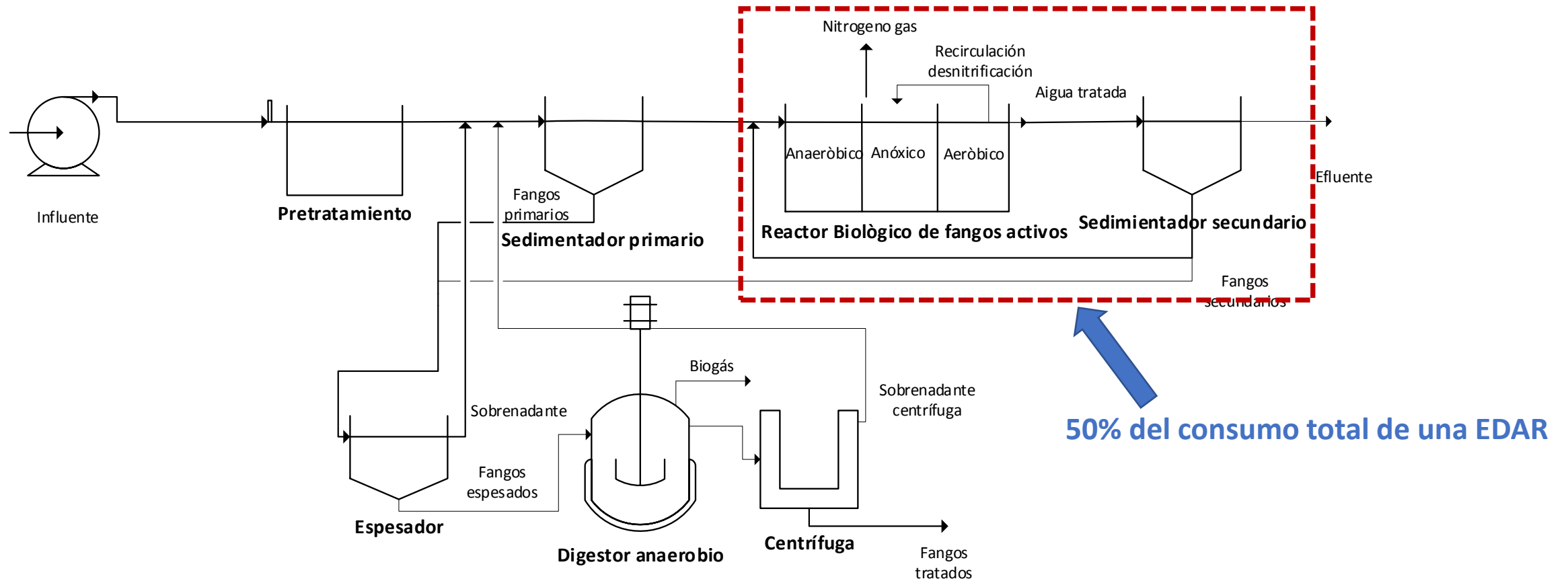


UNIVERSITAT DE
BARCELONA

ESTRUCTURA

1. ¿Por qué AnMBR? Ventajas y desafíos
2. Nuevas configuraciones AnMBR para el control del ensuciamiento
3. Nuevos horizontes de la tecnología AnMBR: integración de la osmosis directa como pretratamiento
4. Escalando la tecnología AnMBR a gran escala: futuras perspectivas

1. Paradigma actual de tratamiento



¿Por qué no tratamos el agua urbana directamente con digestión anaeróbica?

1. La transición hacia la digestión anaeróbica: retos

Caudal ↑ DQO ↓

Baja producción de biogás por m³ de agua tratada



Régimen psicrófilico (Temperatura ambiente)



Baja cinética



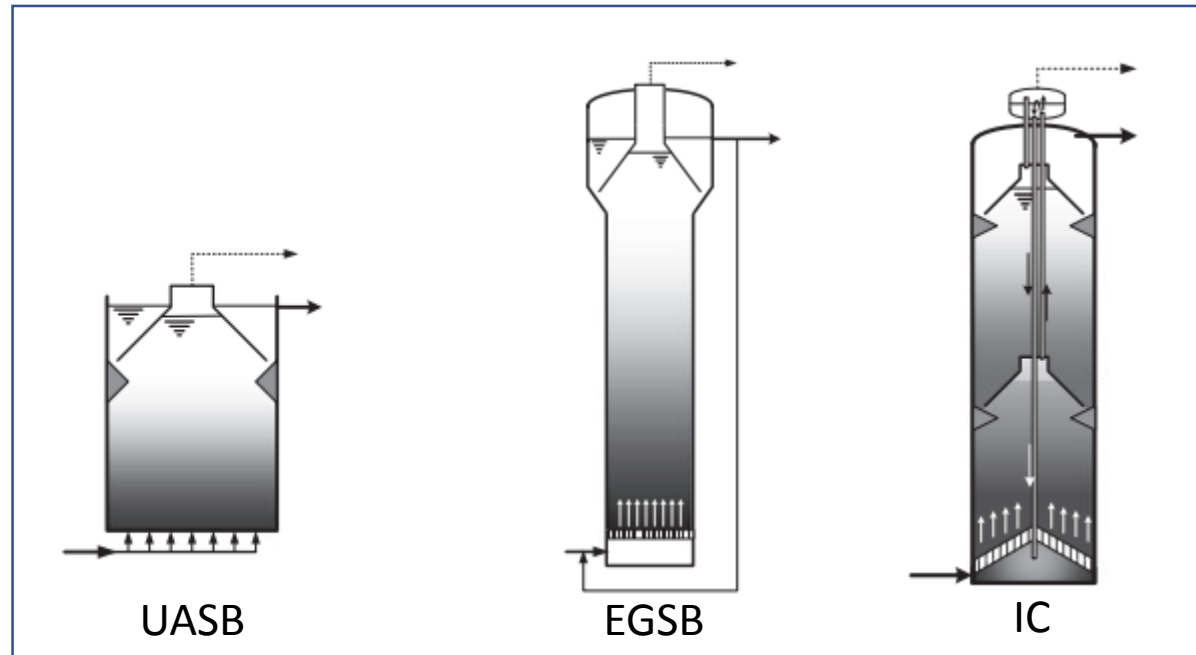
Altos tiempos de retención de sólidos



Es primordial tener una buena retención de la biomasa para desacoplar el tiempo de retención de sólidos (TRS) del tiempo de retención hidráulico (TRH)

1. Tecnologías utilizadas para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales

GRANULACIÓN DE LA BIOMASA



Fuente: Flotats (2019)

VENTAJAS

- Alta capacidad
- Relativamente buena retención de la biomasa

DESVENTAJAS

- Complejidad en la correcta granulación de la biomasa
- Tiempo de retención hidráulico elevado (>7 días por TRS=75 días)
- Pobre calidad del efluente

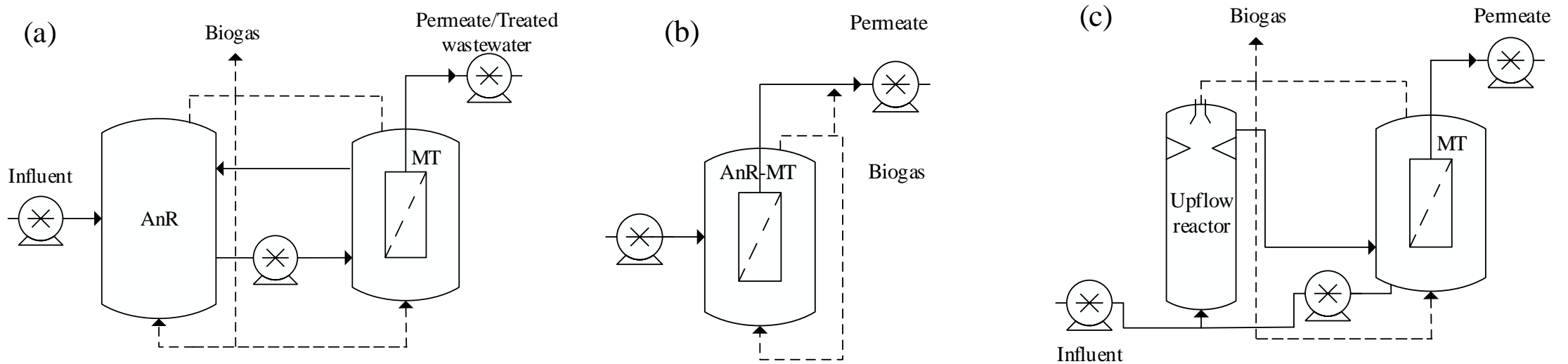
1. ¿Por qué AnMBR?

Excelente desacoplamiento del TRS y del TRH

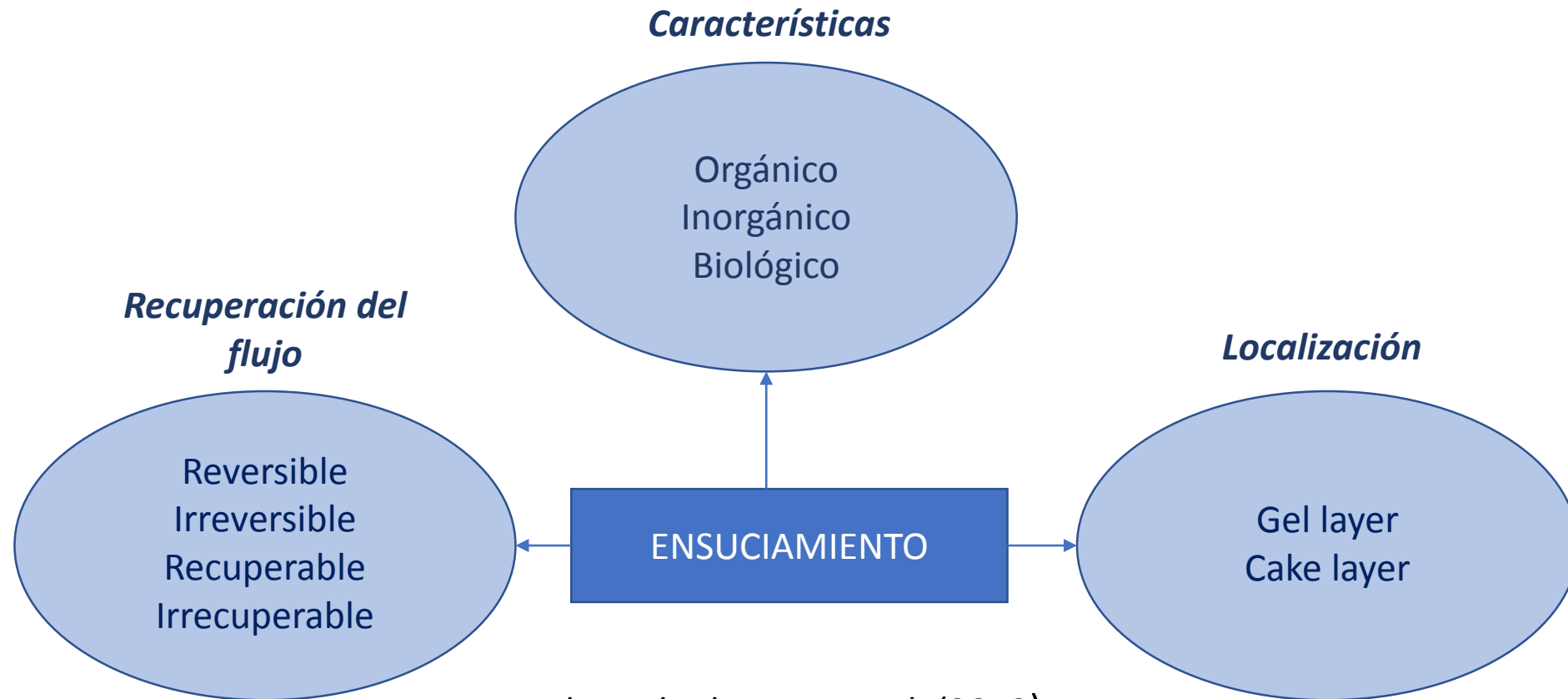
Uso de membranas de ultrafiltración (UF) o microfiltración (MF) para la separación de los sólidos

- Altas eficiencias de eliminación de DQO
- Disminución del volumen del digestor (Bajo TRH requerido)
- Excelente calidad del efluente

CONFIGURACIONES PRINCIPALES PARA AGUAS URBANAS



1. Ensuciamiento de la membrana: principal reto de la tecnología



Adaptado de Maaz et al. (2019)

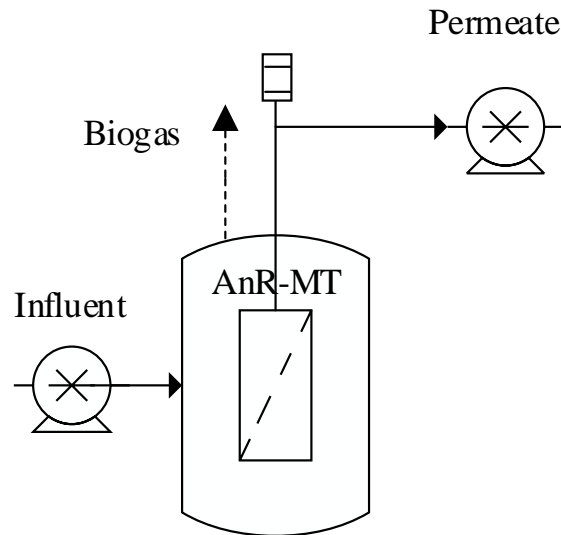
Los productos microbianos solubles (SMPs) y las sustancias poliméricas extracelulares (EPSs) juegan un rol clave en los procesos de ensuciamiento, principalmente en lo que se refiere al ensuciamiento irreversible y formación de la capa gel (gel layer)

ESTRUCTURA

1. ¿Por qué AnMBR? Ventajas y desafíos
2. Nuevas configuraciones AnMBR para el control del ensuciamiento
3. Nuevos horizontes de la tecnología AnMBR: integración de la osmosis directa como pretratamiento
4. Escalando la tecnología AnMBR a gran escala: futuras perspectivas

2. Nuevas configuraciones CSTR

Membrana rotativa



Adaptado de Ruigómez et al. (2016b)

Escala laboratorio

- Velocidad de rotación de 100-330 rpm
- Mejor control del ensuciamiento mediante la rotación, en comparación con el gas sparging

➔ Ruigómez et al. (2016a)

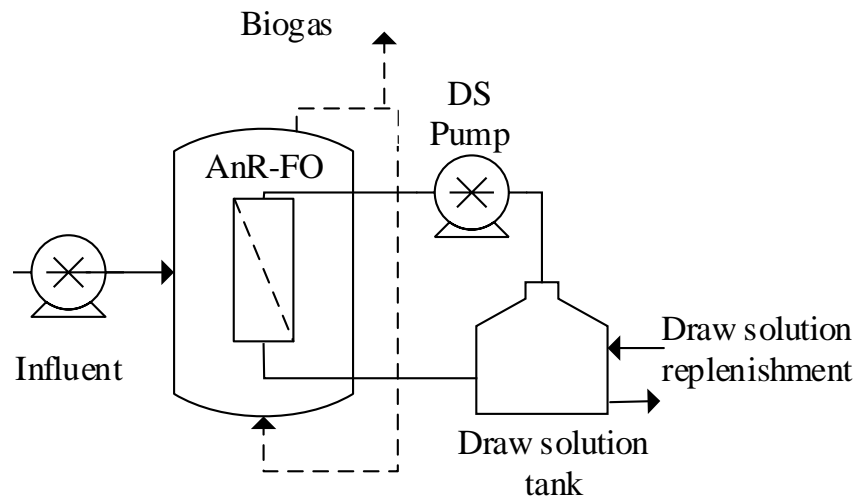
Planta piloto

- Velocidad de rotación de 100 rpm
- Mayor flujo crítico comparado con el control del ensuciamiento mediante *gas sparging* (17-20%)
- Necesidad de estudios a largo plazo

➔ Ruigómez et al. (2016b)

2. Nuevas configuraciones CSTR

Membrana de osmosis directa (FO)



Adaptado de Chen et al. (2014)

- Membrana no porosa
- Uso de una solución extractora con alta presión osmótica
- No se utiliza presión hidráulica para la obtención del permeado (menos tendencia al ensuciamiento)

Escala laboratorio

- Eliminación del 96% del carbono total.
- Disminución significativa del flujo con la acumulación de sales en el digestor

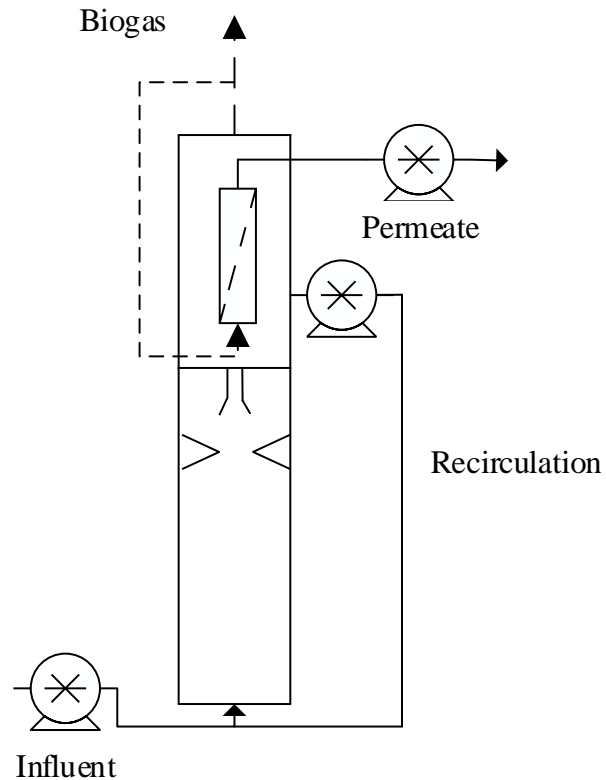
9,5 LMH → 3,5 LMH
1 ms/cm → 20 ms/cm } XDLVO

Chen et al. (2014)

Para prevenir la acumulación de sales en el sistema, Wang et al. (2017) propuso un nuevo sistema basado en la combinación de una membrana de FO con una membrana de MF

2. Nuevas configuraciones Upflow

UASB con la membrana en el parte superior del reactor



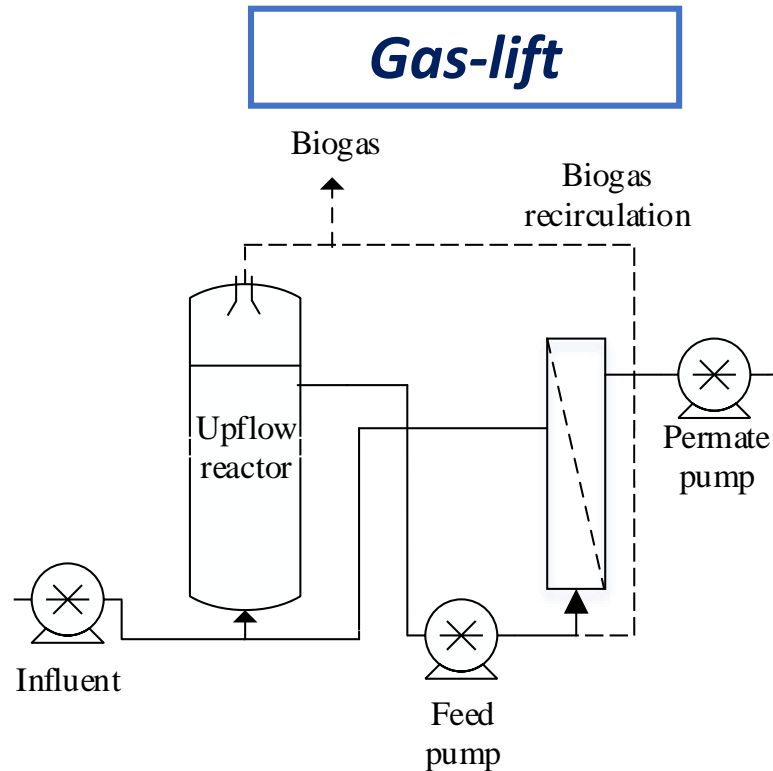
Adaptado de Gouveia et al. (2015)

Planta piloto

- Sin recirculación → 239-702 mg DQO/L/d
 - Con recirculación → 90-119 mg DQO/L/d
 - Velocidad ascensional del biogás de 9-16 m/h
 - Flujos de entre 12-14 LMH sin necesidad de limpieza química
- ↓ Acumulación de sólidos
↓ Ensuciamiento

↓
Gouveia et al. (2015)

2. Nuevas configuraciones Upflow



Adaptado de Prieto et al. (2013)

Escala laboratorio

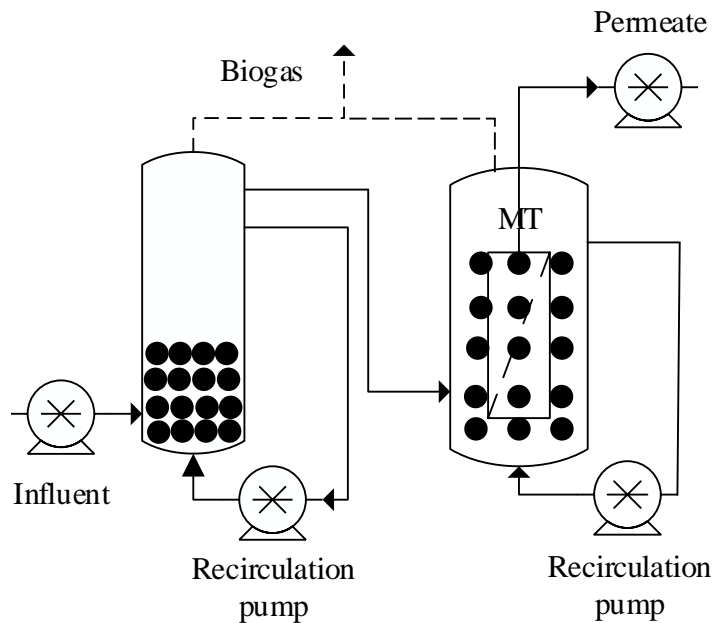
- Ratios gas/líquido (ϵ) de 0,2-0,9 → A mayor ratio no se observaron mejores flujos
- Igualmente, no se obtuvieron mejoras significativas con el aumento de la velocidad tangencial (0,52-1,08 m/s)
- Se obtuvieron flujos de 10-15 LMH con $\epsilon = 0,1$ y una velocidad tangencial = 0,5 m/s
- Necesidad de un mayor desarrollo de la tecnología



Prieto et al. (2013)

2. Nuevas configuraciones Upflow

Carbón activado



Adaptado de Shin et al. (2014)

Escala laboratorio

- Flujo estable de 10 LMH durante 40 días con un ligero aumento de 0,025 bar (de 0,075 a 0,1 bar) en la TMP (Kim et al., 2011)
- A partir de flujos de 12 LMH, incremento de la TMP hasta 0,2 bar (Yoo et al., 2012)
- Con el objetivo de aumentar la competitividad de la configuración, varios estudios han buscado la eliminación de la primera etapa (Bae et al., 2014, Gao et al., 2014). En ambos estudios, las eliminaciones de DQO y los flujos a través de la membrana estuvieron en valores similares a los obtenidos con dos etapas

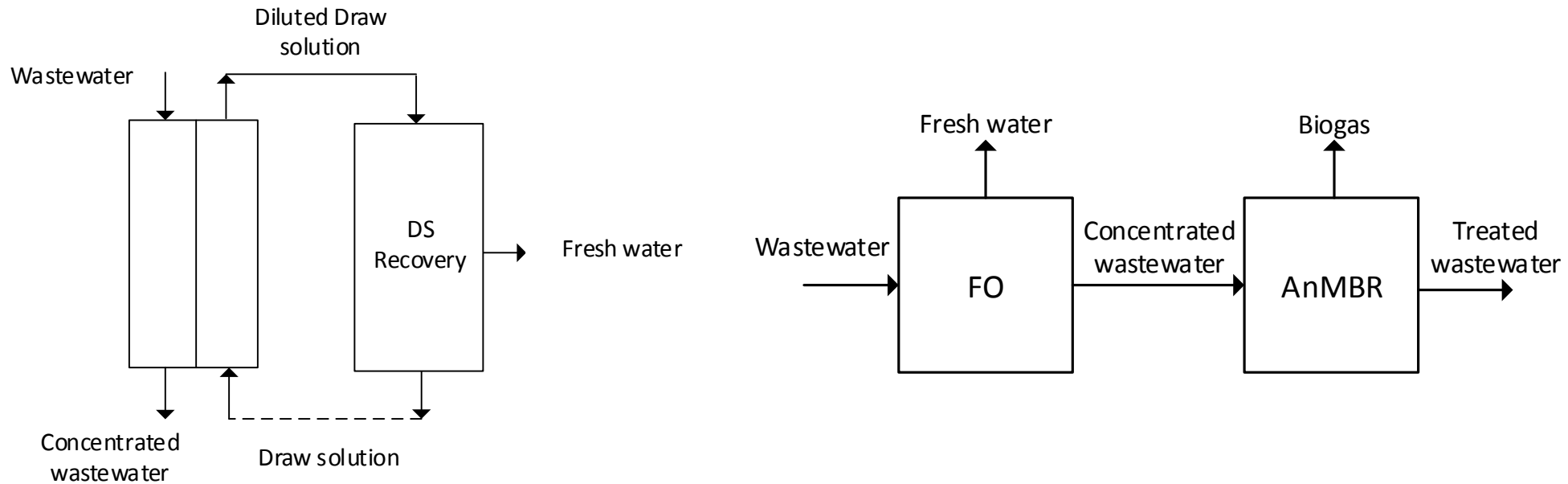
Planta piloto

- DQO efluente < 23 mg/L y flujos entre 4,1 y 7,5 LMH (Shin et al., 2014).
- Las membranas son altamente dañadas por las partículas más grandes de carbón activado (Shin et al., 2016)

ESTRUCTURA

1. ¿Por qué AnMBR? Ventajas y desafíos
2. Nuevas configuraciones AnMBR para el control del ensuciamiento
3. Nuevos horizontes de la tecnología AnMBR: integración de la osmosis directa como pretratamiento
4. Escalando la tecnología AnMBR a gran escala: futuras perspectivas

3. ¿Por qué la osmosis directa como pretratamiento?



- OBJETIVO 1: \uparrow [DOQ] \downarrow Q influente \rightarrow

- OBJETIVO 2: Recuperación de agua

- Incrementar la temperatura de trabajo (Wei et al., 2014)
- Mejorar la cinética del proceso (Ansari et al., 2016)
- Reducción del volumen del reactor y área de la membrana

3. Eficiencia de la osmosis directa como pretratamiento

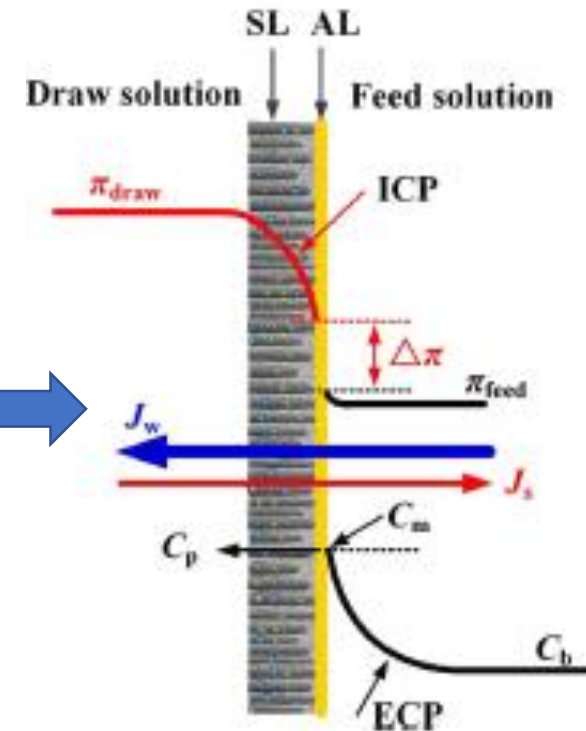
Planta piloto

- Uso de NaCl como solución extractora
- Factor de concentración de 5 con un flujo medio de 6 LMH, aunque se pueden llegar a tener factores de concentración de 8-10 (Ansari et al., 2018)
- Efecto de la retro difusión del NaCl en la disminución de la presión osmótica efectiva y, por ende, del flujo

Wang et al. (2016)

Escala laboratorio

- Ansari et al. (2015) estudió el efecto que tenía el uso de distintas soluciones extractoras a una misma presión osmótica de 30 bares
- ↑ La difusividad ↑ Flujo de agua ← Concentración interna de polarización
- RSFS importante parámetro de control (Flujo de agua/ flujo reverso de sales)
- Equilibrio entre un RSFS relativamente alto, y un flujo aceptable. Por lo tanto, soluciones orgánicas como el acetato de sodio o acetato de magnesio pueden ser la más adecuadas



Fuente: Wang et al. (2016)

3. Evaluando la digestión anaeróbica como tratamiento del efluente preconcentrado con osmosis directa

Análisis en discontinuo

- Análisis en discontinuo (BMP) para estudiar la producción de biogás en función del porcentaje de recuperación y de la retrodifusión de las soluciones extractoras (NaCl y NaOAc)
- Como mayor el % de preconcentración, mayor la producción de metano
- Mayor producción de metano en el caso de utilizar NaOAc (550 mL). Aun así, las diferencias fueron bajas respecto al NaCl (500 mL), por lo que la inhibición producida por el NaCl se consideró poco significativa

→ Ansari et al. (2018)

AnMBR

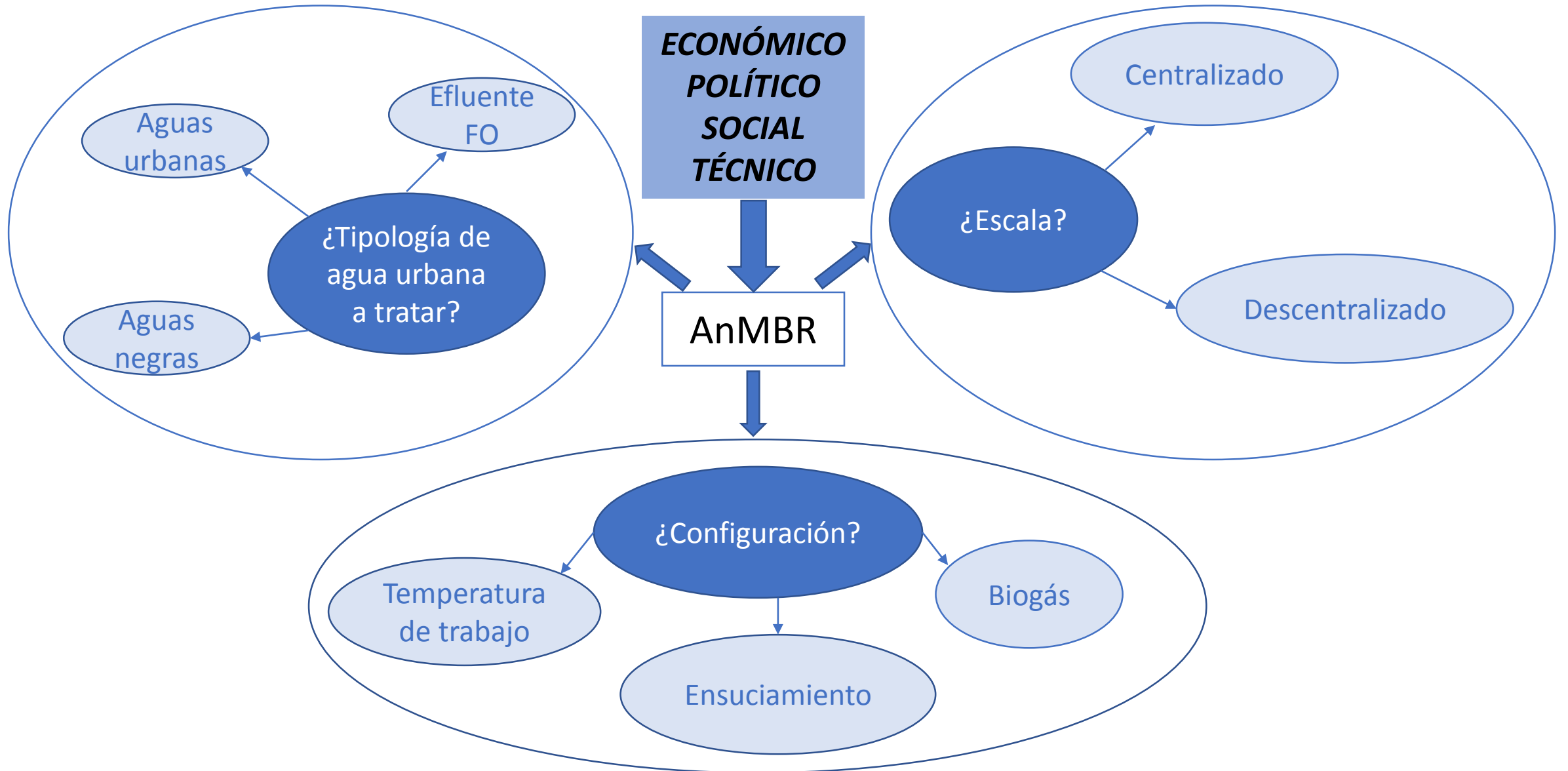
- Tratamiento de una agua residual urbana sintética preconcentrada un 80%
- Buena eliminación de DQO ($94,9 \pm 1,8\%$) a régimen mesofílico (34 °C)
- Importante disminución de la eliminación de la DQO (58,4%) a régimen psicrófilico (15 °C), debido a la acumulación de AGVs (hasta 1 g/L, con presencia de ácido n-butírico e isobutírico)
- La eficiencia de eliminación de DQO se restableció en aumentar la temperatura a 23 y 34 °C
- Los niveles de metano disuelto en el efluente (6,18 mg/L) se mantuvieron debajo del nivel de saturación

→ Ferrari et al. (2019)

ESTRUCTURA

1. ¿Por qué AnMBR? Ventajas y desafíos
2. Nuevas configuraciones AnMBR para el control del ensuciamiento
3. Nuevos horizontes de la tecnología AnMBR: integración de la osmosis directa como pretratamiento
4. Escalando la tecnología AnMBR a gran escala: futuras perspectivas

4. Enfoques



4. La economía detrás de la tecnología AnMBR

Ventajas

- No se requiere de aireación
- Producción de biogás que puede ser valorizado energéticamente
- Baja generación de fangos

Inconvenientes

- Altos CAPEX asociados a la adquisición de las membranas, debido a sus bajos flujos
- Altos OPEX asociados al control del ensuciamiento de la membrana (gas sparging), consumo de químicos o reemplazo de las membranas al final de su tiempo de vida útil
- La viabilidad económica y ambiental se puede ver afectada por la temperatura (incremento del metano disuelto a temperaturas bajas), así como la presencia de sulfatos en el influente (reducción de la producción de biogás, e incremento de la producción de ácido sulfhídrico)

4. La economía detrás de la tecnología AnMBR

Smith et al. (2014)

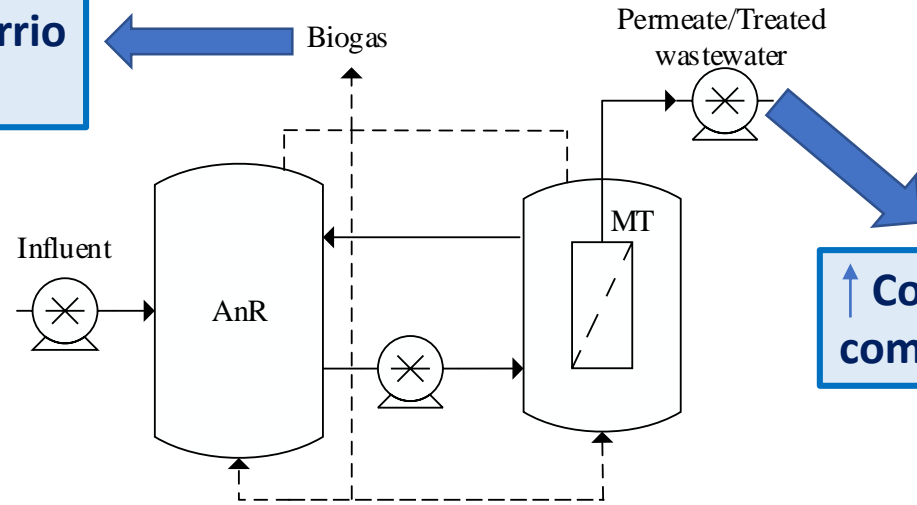
- Cuatro escenarios: (1) AnMBR; (2) CAS+AD; (3) HRAS+AD; (4) AeMBR+AD. Sin inclusión de postratamientos
- HRAS+AD y AnMBR resultaron ser las opciones más competitivas económicamente hablando
- El proceso AnMBR requiere de importantes mejoras desde un punto de vista ambiental, ya que obtuvo el mayor impacto de calentamiento global (75% causado por el metano disuelta en el efluente), así como importantes impactos relacionados con la operación de la membrana

Pretel et al. (2016)

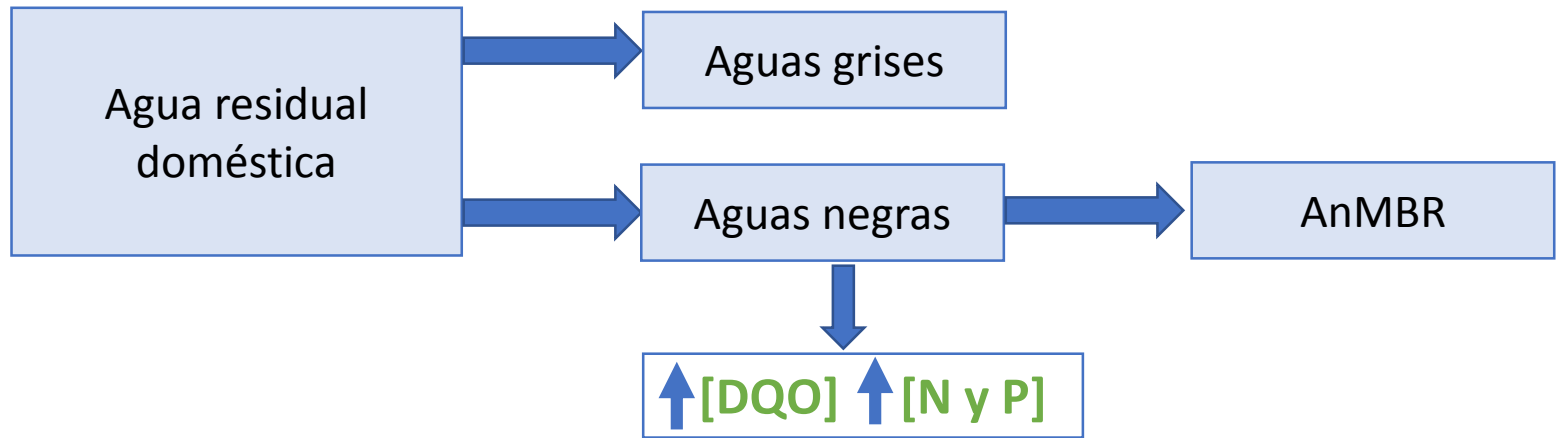
- Tres escenarios: (1) AnMBR; (2) AeMBR+AD; (3) CAS+AD. Inclusión de postratamientos
- La tecnología AnMBR a régimen psicrófilico (20 °C) tiene el potencial de obtener los menores costes y consumos energéticos (0,135 €/m³ y 0,04 KWh/m³) comparado con las otras opciones convencionales de tratamiento
- La inclusión de un tratamiento de recuperación de metano del efluente conlleva una sustancial disminución del impacto ambiental del AnMBR
- Los impactos económicos del proceso están altamente influenciados por la presencia de sulfato, la temperatura, y los aspectos relacionados con la membrana (correcto diseño, consumo de químicos, etc...)

4. AnMBR: ¿Descentralizando la tecnología?

Uso en el mismo pueblo/barrio como combustible



↑ Contenido de nutrientes (uso *on-site* como fertilizante)

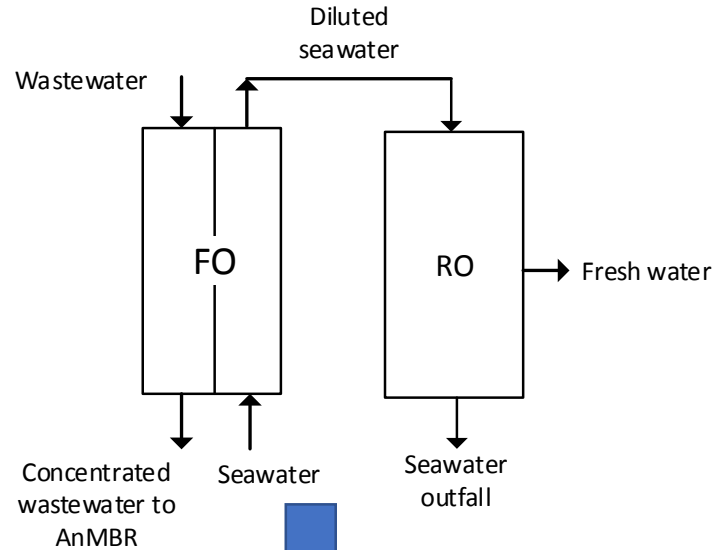


- Menor requerimiento de espacio
- Maximización de la recuperación de recursos
- Posible incremento de la temperatura de trabajo
- **Doble canalización**

Puede representar más del 60% del coste total de una nueva EDAR (Roefs et al., 2016)

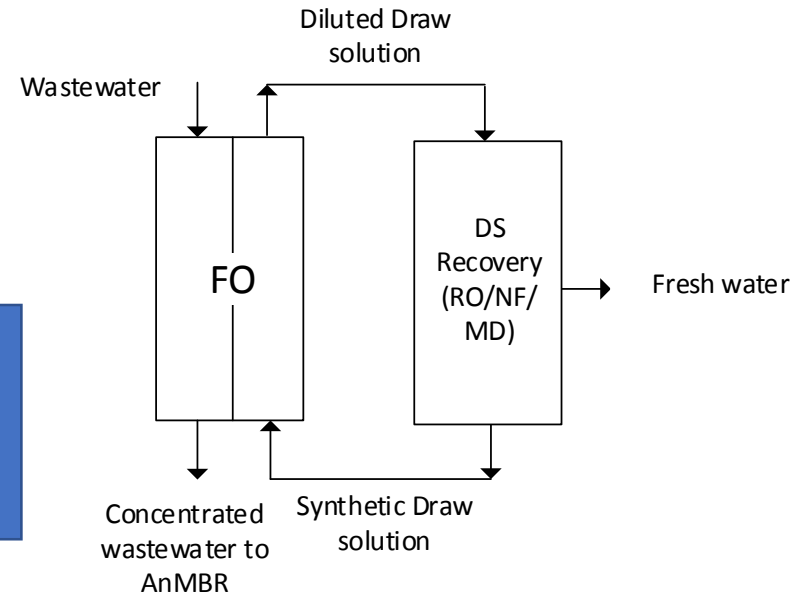
4. Osmosis directa + AnMBR: un paso más hacia el AnMBR

OPCIÓN 1



Centralizado
o
Descentralizado /sewer mining
(Hoover et al. 2011)

OPCIÓN 2

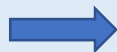


Combinación de la desalación del agua de mar con el tratamiento de aguas residuales (Blandin et al., 2016)

¿Es económicamente viable?

Blandin et al. (2015) determinó que para conseguir hacer la FO-RO competitiva en comparación a la RO convencional, se requieren flujos medios de 30 LMH que corresponden a 40 LMH de flujo inicial

4. Perspectivas en escalar la tecnología

- Los procesos anaerobios han sido reconocidos como una de las mejores tecnologías disponibles en el documento BREF
- El nivel de madurez tecnológica (TRL) del AnMBR es de 8  Requiere mayor desarrollo

¿ESTAMOS LEJOS DE ESTE CAMBIO DE PARADIGMA?

- Los actuales escenarios de cambio climático y agotamiento de recursos nos dirigen hacia un cambio de paradigma en que el agua se puede ver como una fuente de recursos y no de contaminación (McCarty et al., 2011; Guest et al., 2011; Rashidi et al., 2015)

AUN ASÍ...

- Los modelos predominantes en la gestión del agua sigue siendo los mismos. Los cambios no suceden de forma abrupta sino de forma gradual, es decir, en un proceso de “hibridación” (Marlow et al., 2013)

- En el proceso de cambio se deben involucrar no sólo aspectos técnicos y económicos, sino también políticos y sociales para poder impulsar una transición en el mundo del agua

¡Muchas gracias por su atención!

AGRADECIMIENTOS:



OTRA INFORMACIÓN

Vinardell, S; Cardete, M.A., Fernández, I; Dosta, J, Mata-Álvarez, J. Application of anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) technology to the treatment of municipal wastewater: A review. *Submitted (01/2019)*.



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Generalitat de Catalunya
Departament d'Empresa i Coneixement
Secretaria d'Universitats i Recerca



Unió Europea
Fons social europeu
L'FSE inverteix en el teu futur

Estado del arte de los AnMBRs para el tratamiento de aguas residuales urbanas

Sergi Vinardell^a, María Alicia Cardete^a, Isaac Fernández^b, Joan Dosta^a, Joan Mata-Álvarez^a

^a Department of Chemical Engineering, University of Barcelona, Spain

^b CETIM Technological Centre, A Coruña, Spain

VII JORNADA *sobre*
BIOREACTORES *de*
MEMBRANA

Barcelona 16 de Mayo de 2019



UNIVERSITAT DE
BARCELONA