

# ¿ Pueden los Biorreactores de membrana osmóticos ser una solución competitiva para la reutilización de agua ?

G. Blandin, I. Rodríguez-Roda, J. Comas  
LEQUIA-Universitat de Girona & ICRA



1º Jornada técnica en tratamiento de aguas:  
Aplicaciones de las tecnologías de membrana en el ciclo integral del agua  
Castelló de la Plana, 14 y 15 de diciembre de 2017

# Contenidos

- ❑ **Presentación grupo de membranas de Girona**
- ❑ ¿ Qué es la ósmosis directa ?
- ❑ **Bioreactor de membrana osmótica (OMBR)**
  - ❑ **Introducción**
  - ❑ **Diseño de OMBR**
  - ❑ **Operación de OMBR**
- ❑ **Otras aplicaciones de FO**
- ❑ **Conclusiones y próximos pasos**

# Investigación en membranas Lequia-UdG+ICRA

LEQUIA: Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental de la UdG



- Soluciones eco-innovadoras para el agua
- Equipo multidisciplinar de aprox. 30 personas



# Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA) Insituto Catalán de Investigación del Agua Catalan Institute for Water Research

- Un centro de investigación multidisciplinar sobre el agua de la red CERCA que inició su actividad en 2009



- Equipos científicos financiados por MINECO y FEDER

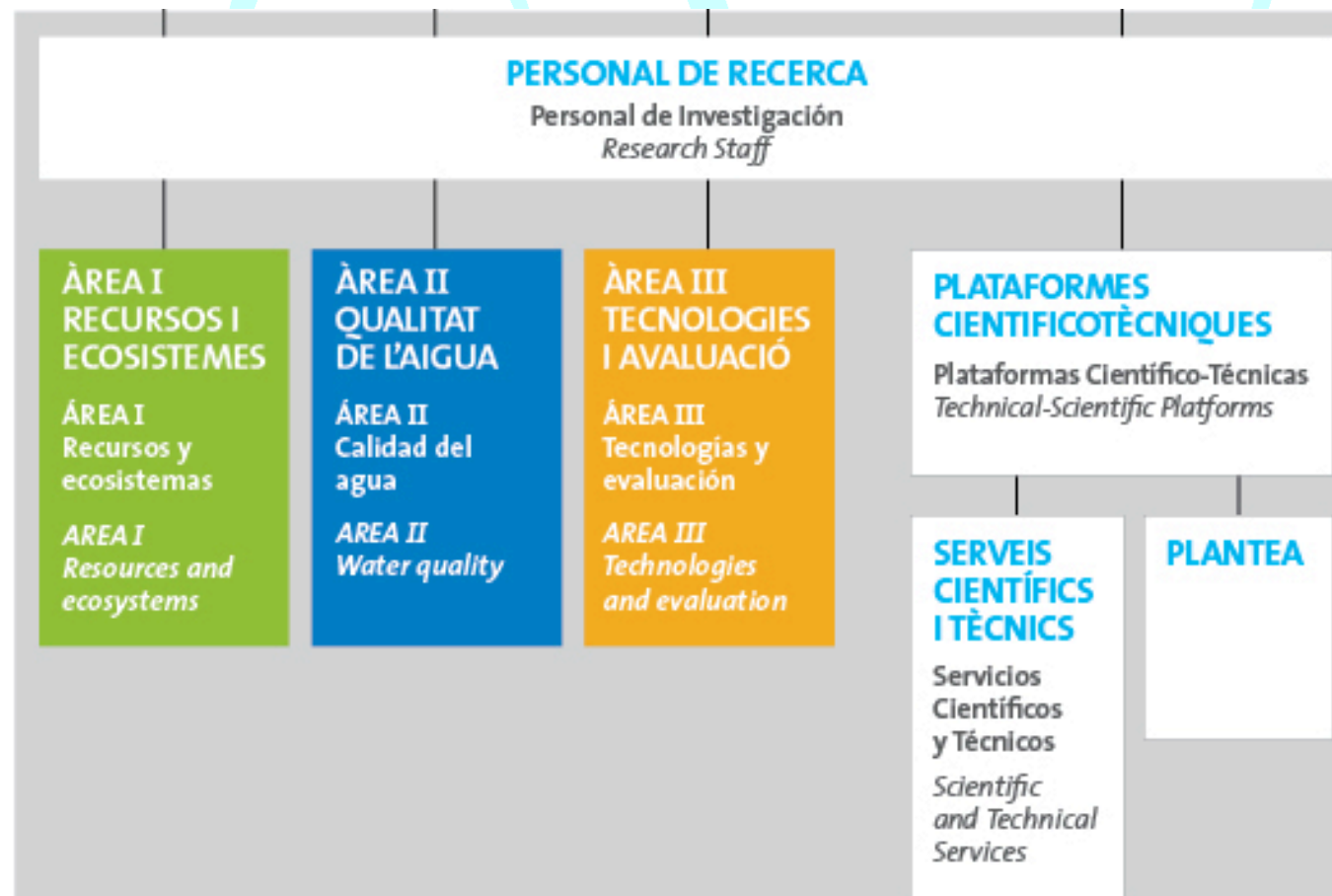


ICRA

Institut Català  
de Recerca de l'Aigua

## ¿ QUE PUEDE DISTINGUIR A ICRA ?

- Incluye las áreas de investigación en agua más estratégicas y promueve la **interdisciplinariedad**
- Perspectiva **Mediterránea**



# AIII ÀREA DE TECNOLOGIES I AVALUACIÓ

ÁREA DE TECNOLOGÍAS Y EVALUACIÓN  
TECHNOLOGIES AND EVALUATION AREA

---



Gianluigi Buttiglieri

Joaquim Comas

Lluís Corominas

Wolfgang Gernjak

Oriol Gutierrez

Maite Pijuan

Ignasi Rodriguez-Roda

2 UdG professors

1 ICREA professor

2 Ramon y Cajal fellows

2 Research scientists

3 post docs

1 visitor

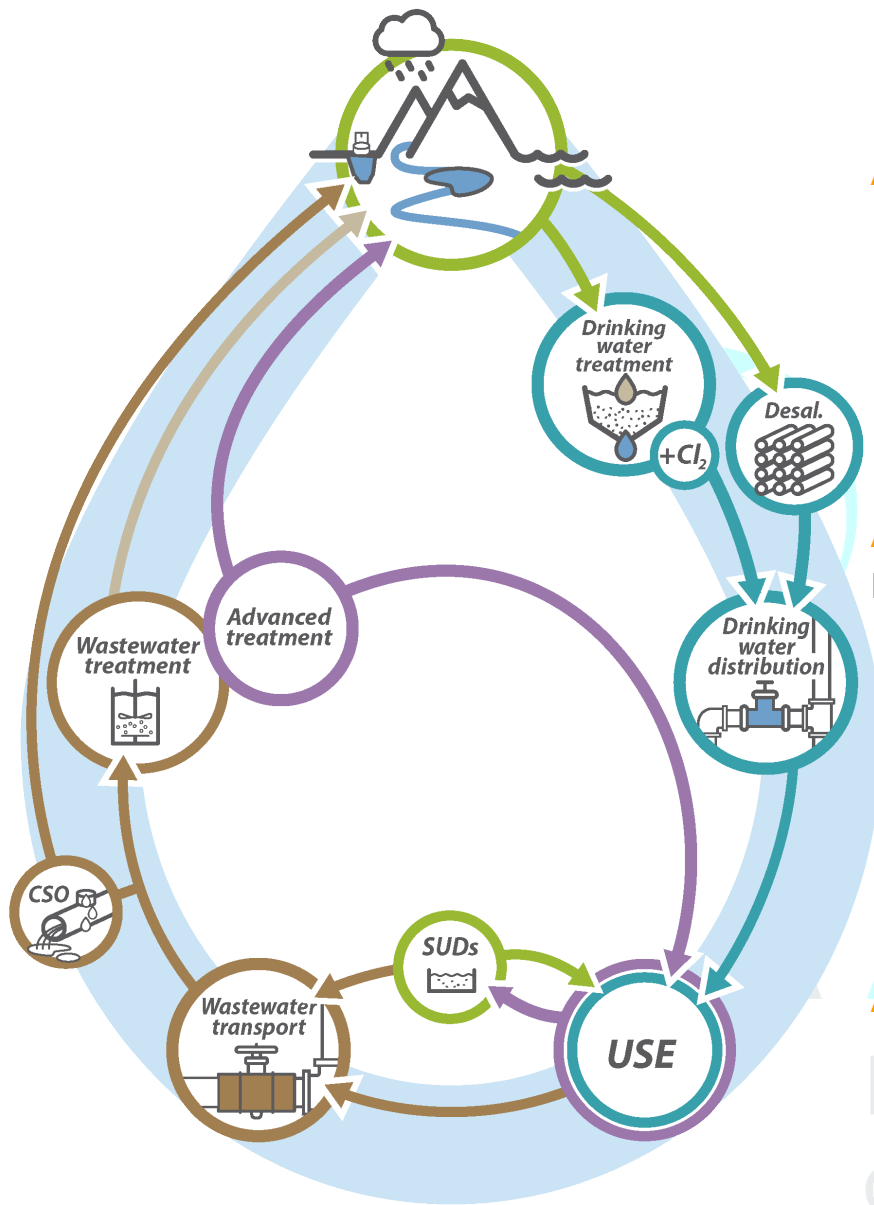
8 PhD students

4 technicians

> 30 PhDs supervised

> 300 SCI journal publications

> 20 y post-doct experience abroad



## **AIII1 Water supply and advanced water treatment**

- Novel membrane and oxidation processes
- Novel treatment trains and integration of alternative sources
- Water quality management and monitoring

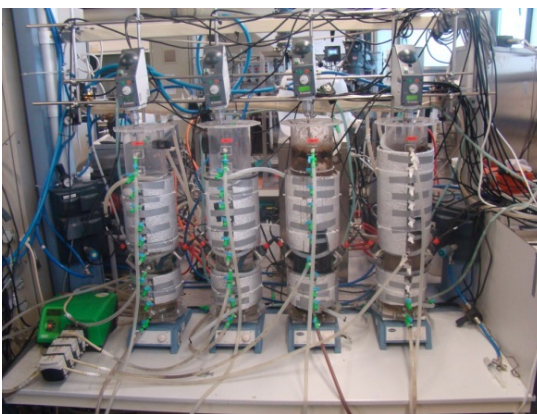
## **AIII2 Wastewater treatment, reuse and resource recovery**

- Sewer corrosion and odour control
- Strategies to reduce carbon footprint in WWTP
- MBR control and operation
- Novel sludge pre-treatment to enhance methane production

## **AIII3 Modelling and management systems**

- Integrated management of the urban water cycle
- Monitoring, modelling and control of urban water systems
- Sustainability assessment and decision support systems

# Nuestras instalaciones





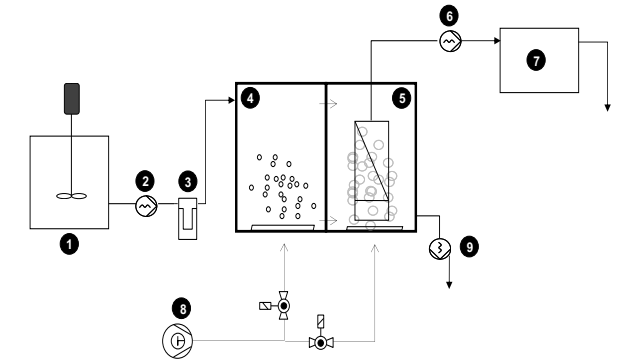
# Línea de investigación: Membrane bioreactors (MBR)



**Dr Hèctor Monclús**  
**Dr Gaëtan Blandin**  
**Dr Ignasi Rodriguez-Roda**  
**Dr Joaquim Comas**

- Membrane fouling and clogging
- MBR for grey water treatment and reuse.
- Integration of MBR and NF or RO for advanced water treatment and reuse.
- Pharmaceuticals and their transformation products in integrated membrane systems for wastewater reclamation.
- Modelling and simulation of membrane bioreactors at different scales.
- Monitoring and automatic control of MBRs to optimize biological nutrient removal, while minimizing fouling and saving energy
- Development and validation of decision support systems for the integrated and knowledge-based supervision of MBRs
- Osmotic MBR for wastewater treatment.

# Equipos: Pilotos de 20L a 2,7m<sup>3</sup>



- 1 Depósito entrada
- 2 Bomba de entrada
- 3 Filtro
- 4 Reactor aeróbico
- 5 Tanque de membranas
- 6 Bomba permeado / contralavado
- 7 Tanc contralavado
- 8 Soplante
- 9 Bomba purga lodos



# Contenidos

- ❑ Presentación grupo de membranas de Girona
- ❑ **¿ Qué es la ósmosis directa ?**
- ❑ Bioreactor de membrana osmótica (OMBR)
  - ❑ Introducción
  - ❑ Diseño de OMBR
  - ❑ Operación de OMBR
- ❑ Otras aplicaciones de FO
- ❑ Conclusiones y próximos pasos

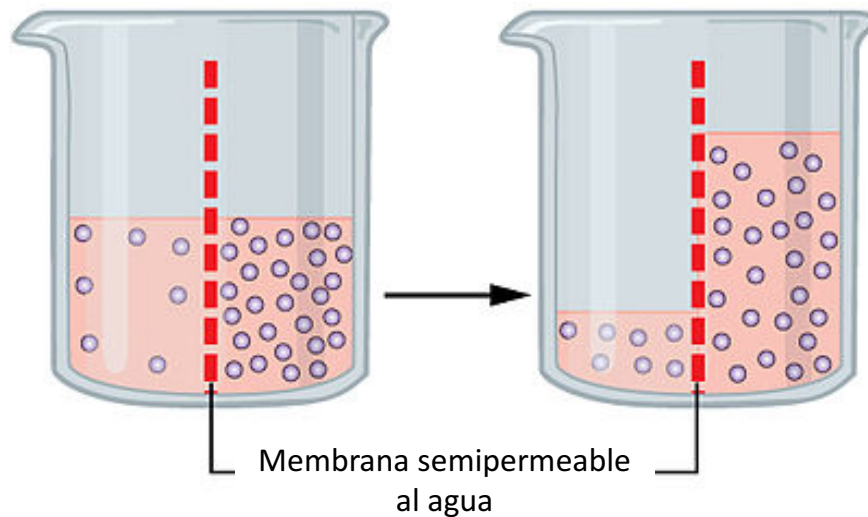
# Principios básicos de la ósmosis directa

*Feed solution*

*Draw solution*

*Feed solution*: solución de alimentación = p.e. agua residual o licor mezcla

*Draw solution*: solución extractora = p.e. agua de mar



Membrana semipermeable al agua

Gradiente de concentración de sales  
¡Sin costes de energía!

Causa concentración de la solución de alimentación y disolución de la solución extractora

Extracción y purificación del agua de la solución de alimentación

# Aplicaciones de la ósmosis directa



**Emergencia / situación extrema**



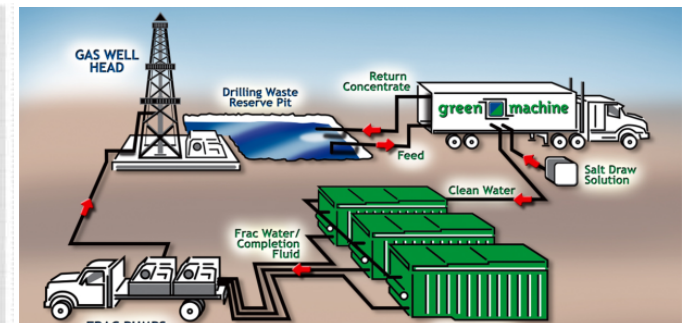
**Concentración de alimento**



**Fertirrigación**



**Producción de energía**

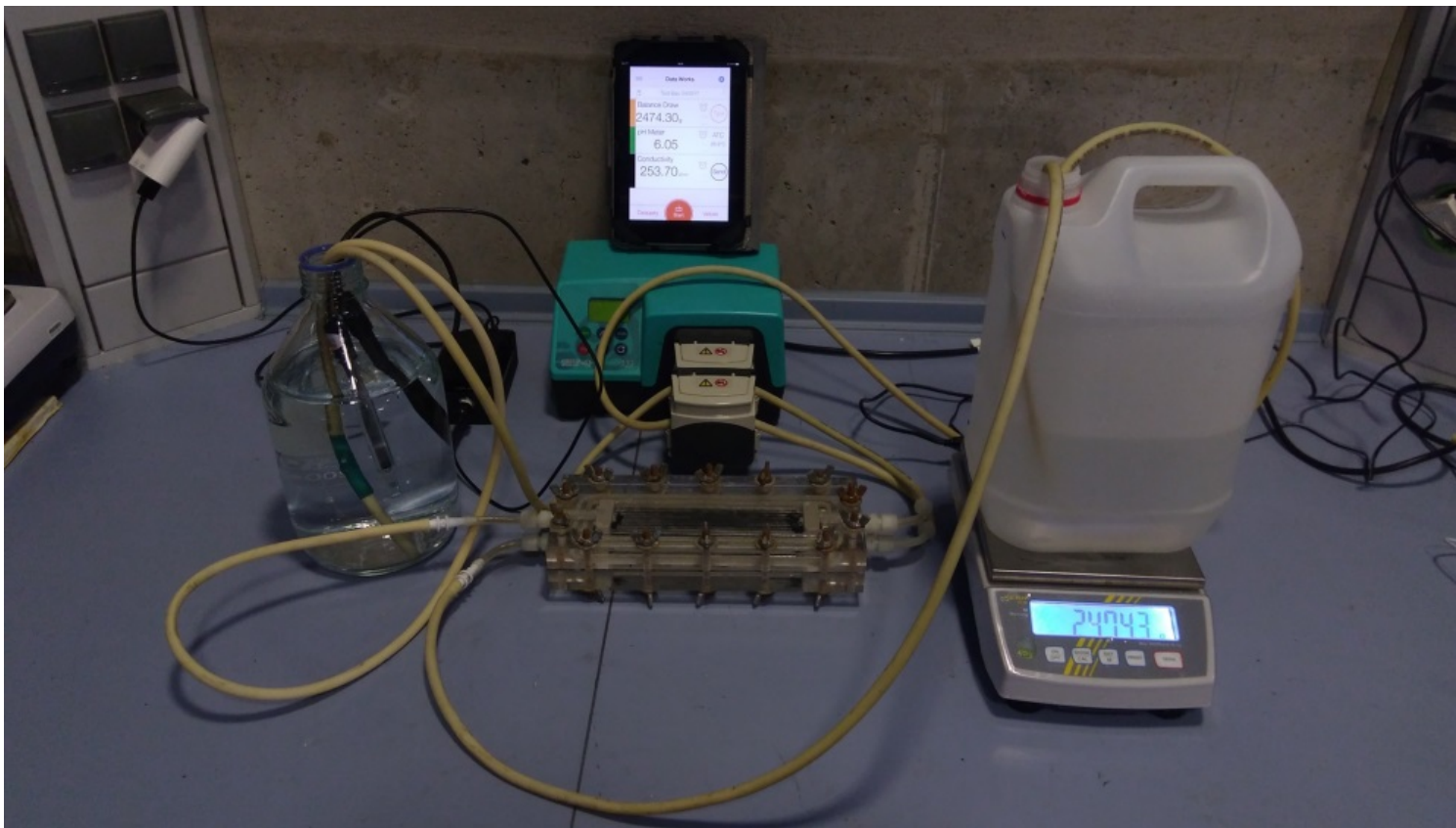


**Agua difícil de tratar**



# Equipos y experiencia en procesos osmóticos

## Celda simple de flujo cruzado

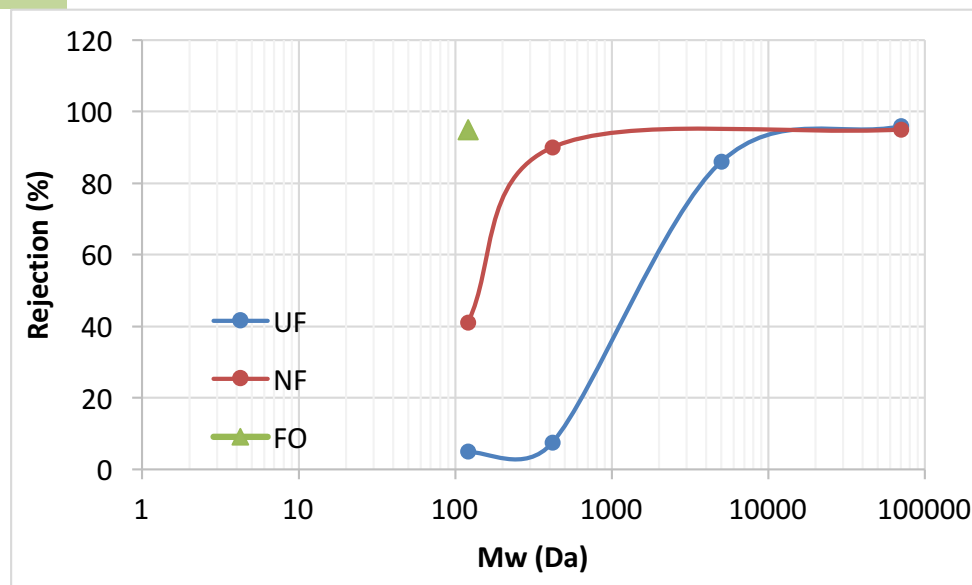


Bluetooth based  
Data monitoring

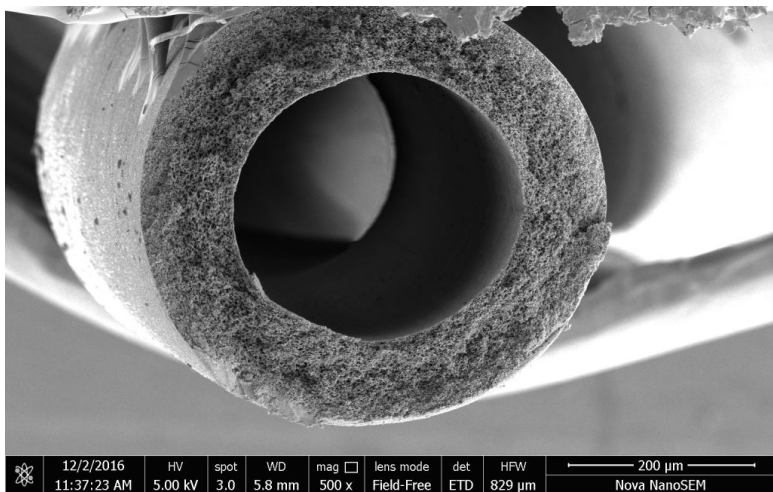
- Caracterización de membranas (permeabilidad, flujo, eliminación)
- Ensuciamiento de membranas
- Estudios de viabilidad

# Equipos y experiencia en procesos osmóticos

## Membranas/módulos fibra hueca



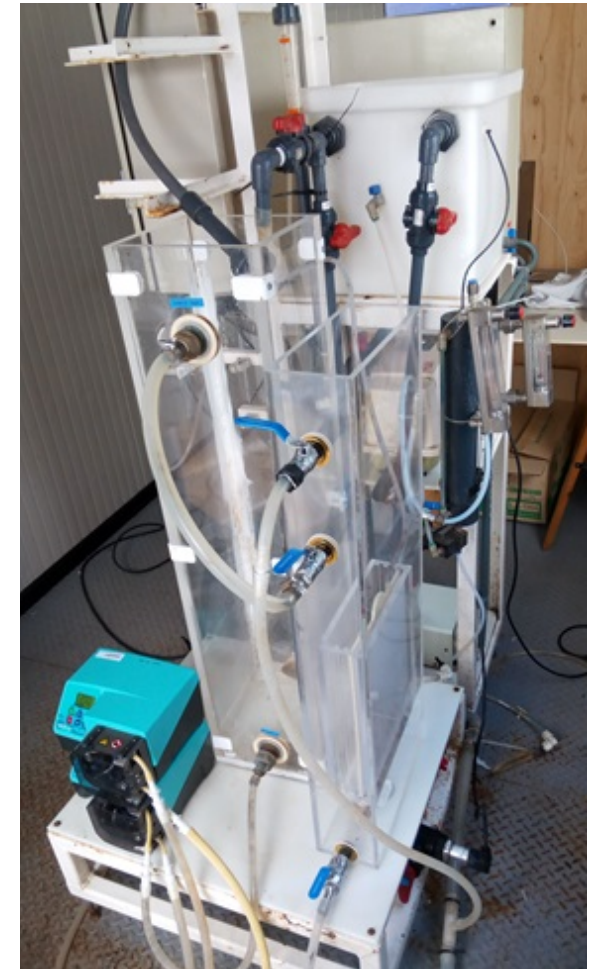
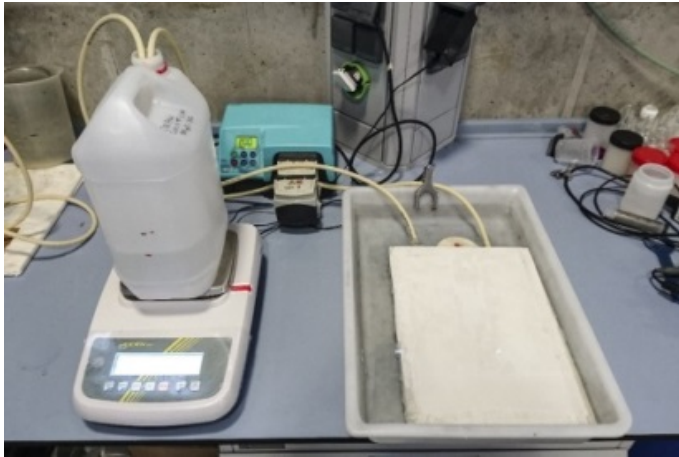
Membrana HF FO Aquaporin



Tests de membranas porosas para aplicaciones FO (usando concentrado con MW grande)

# Equipos y experiencia en procesos osmóticos

## Configuraciones sumergidas



- Desarrollo y validación de módulos
- Fundamentos de transferencia de materia
- Estudios sobre agitación mecánica (KU Leuven)
- Optimización del diseño / modelado CFD

Planta piloto OMBR de 50L



# Contenidos

- ❑ Presentación grupo de membranas de Girona
- ❑ ¿ Qué es la ósmosis directa ?
- ❑ **Bioreactor de membrana osmótica (OMBR)**
  - ❑ **Introducción**
  - ❑ **Diseño de OMBR**
  - ❑ **Operación de OMBR**
- ❑ Otras aplicaciones de FO
- ❑ Conclusiones y próximos pasos

# La regeneración del agua residual

☐ Uso excesivo y escasez ➡ Necesidad de recursos hídricos alternativos



2015: The Year Recycled Water Became Cool

[http://www.huffingtonpost.com/entry/2015-water-recycling\\_us\\_56...](http://www.huffingtonpost.com/entry/2015-water-recycling_us_56...)

HUFFPOST GREEN

Edition: US

FRONT PAGE POLITICS BUSINESS MEDIA WORLDPOST SCIENCE TECH HEALTHY LIVING HUFFPOST LIVE ALL SEC

no apta para menores de 50 años

¡Regístrate ahora!

AdChoices

## 2015: The Year Recycled Water Became Cool

01/22/2016 06:14 pm ET



Matt Weiser  
Water Deeply



ASSOCIATED PRESS  
Water diverted from the Colorado River runs along the irrigation canal in Blythe, Calif. California's current drought may well be remembered as the crisis that introduced people to recycled water.

Dozens of California water agencies in 2015 opened recycled water "fill stations," allowing customers to collect treated wastewater in jugs and tanks for free. It helped drought-weary residents maintain parched landscaping, and it also eased recycled water's ill-deserved "yuck factor"

California's current drought may well be remembered as the crisis that introduced people to recycled water.

All over the state, water agencies in 2015 began offering customers free recycled water at designated "fill stations." Bring a container – even a big tank in a pickup bed – and take all you want at no charge.

FOLLOW HUFFPOST



HuffPost Like (5.9K)

Green Like (30K)

HUFFPOST NEWSLETTE

Get top stories and blog posts emailed to me each week. Newsletters may offer personalized content and advertisements. [Learn More](#)

SUGGESTED FOR YOU

1 de 5

16/02/2016 12:09

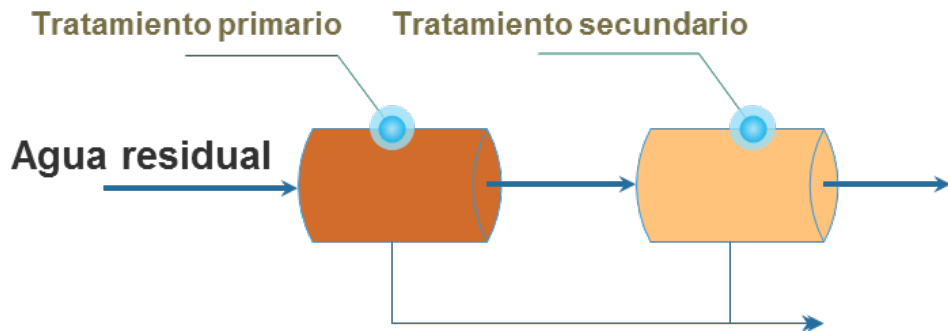
Todavía pocas instalaciones existentes pero nuevos grandes proyectos (Singapur, California, Australia, Bélgica ...)

Obstáculos para la implementación:

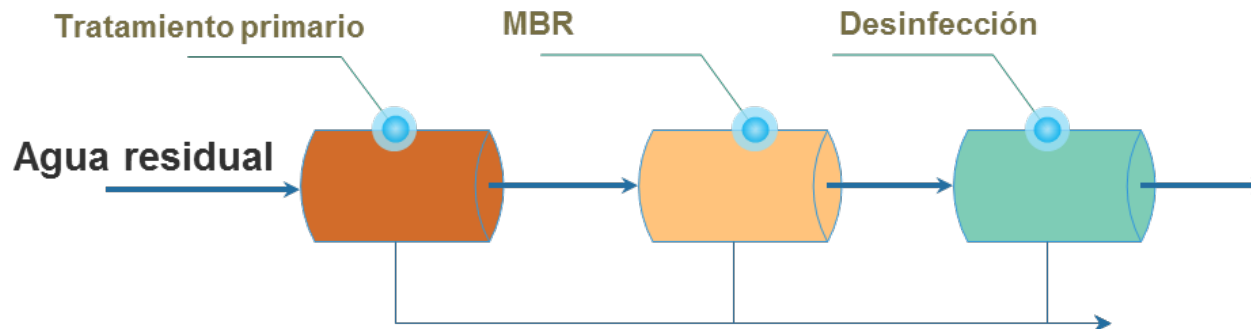
- La percepción del público
- Los costes de tratamiento del agua

# Tratamiento de aguas residuales

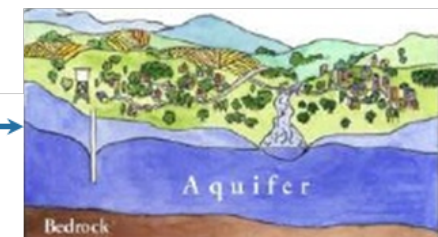
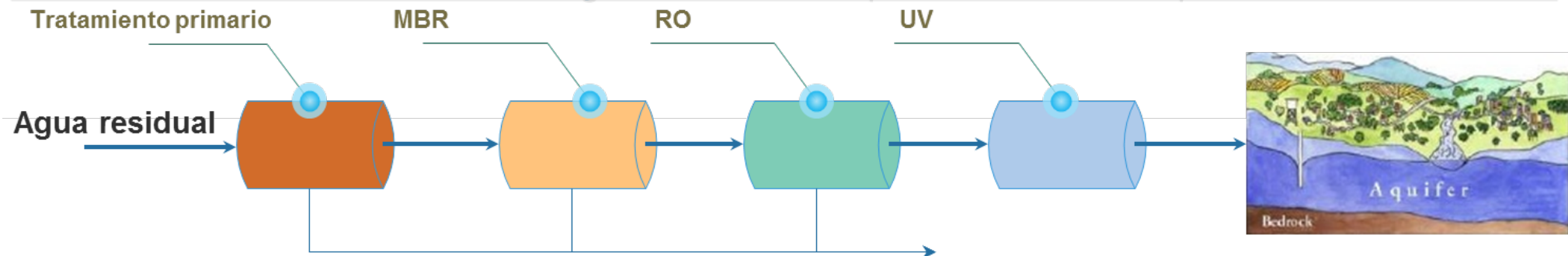
## Tratamiento de aguas residuales clásico/simple



## Tratamiento avanzado de aguas residuales para reutilización de agua no potable

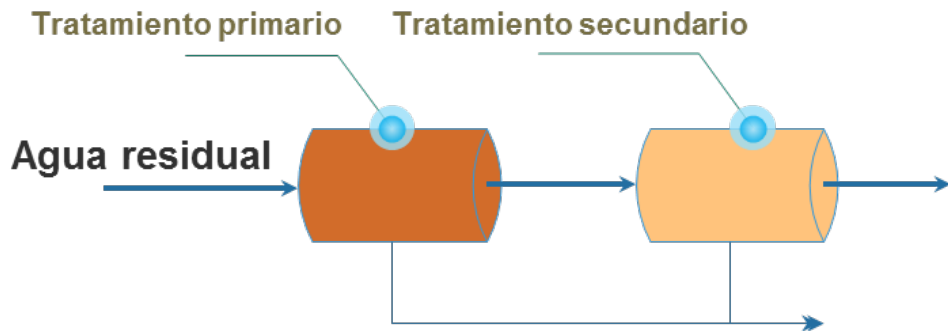


## Tratamiento avanzado de aguas residuales para reutilización potable indirecta

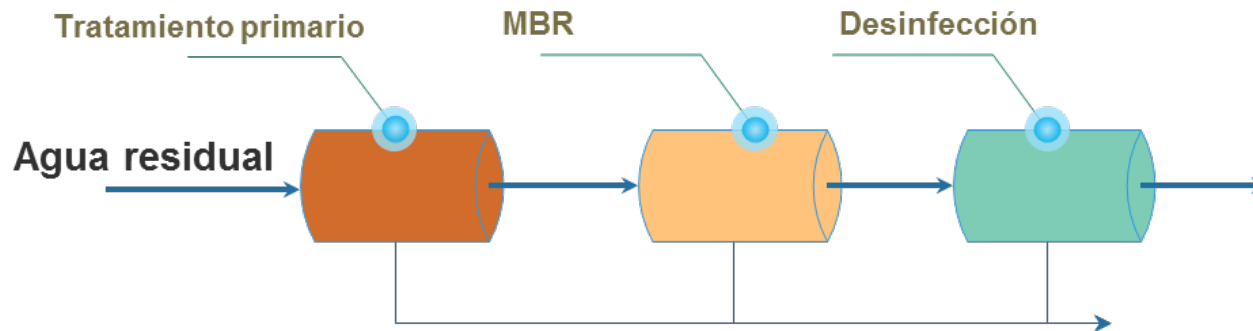


# Tratamiento de aguas residuales

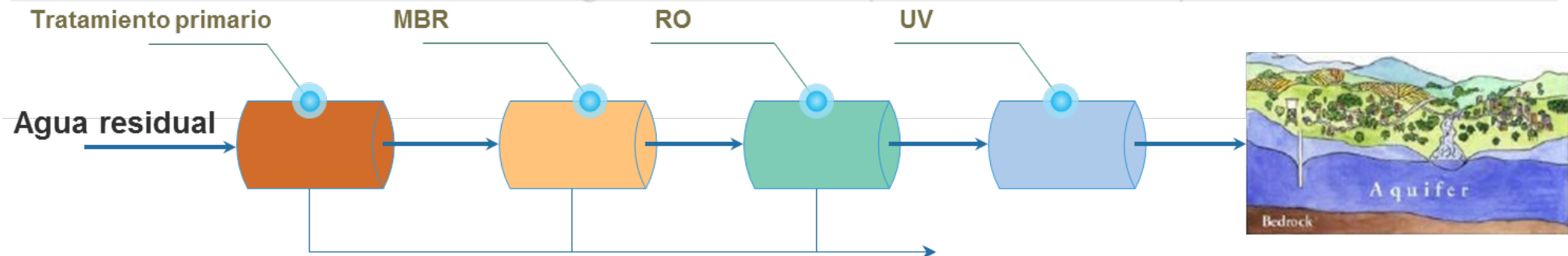
## Tratamiento de aguas residuales clásico/simple



## Tratamiento avanzado de aguas residuales para reutilización de agua no potable



## Tratamiento avanzado de aguas residuales para reutilización potable indirecta



# Reutilización potable directa

## MBR- RO based technology

Primary treatment

MBR

RO

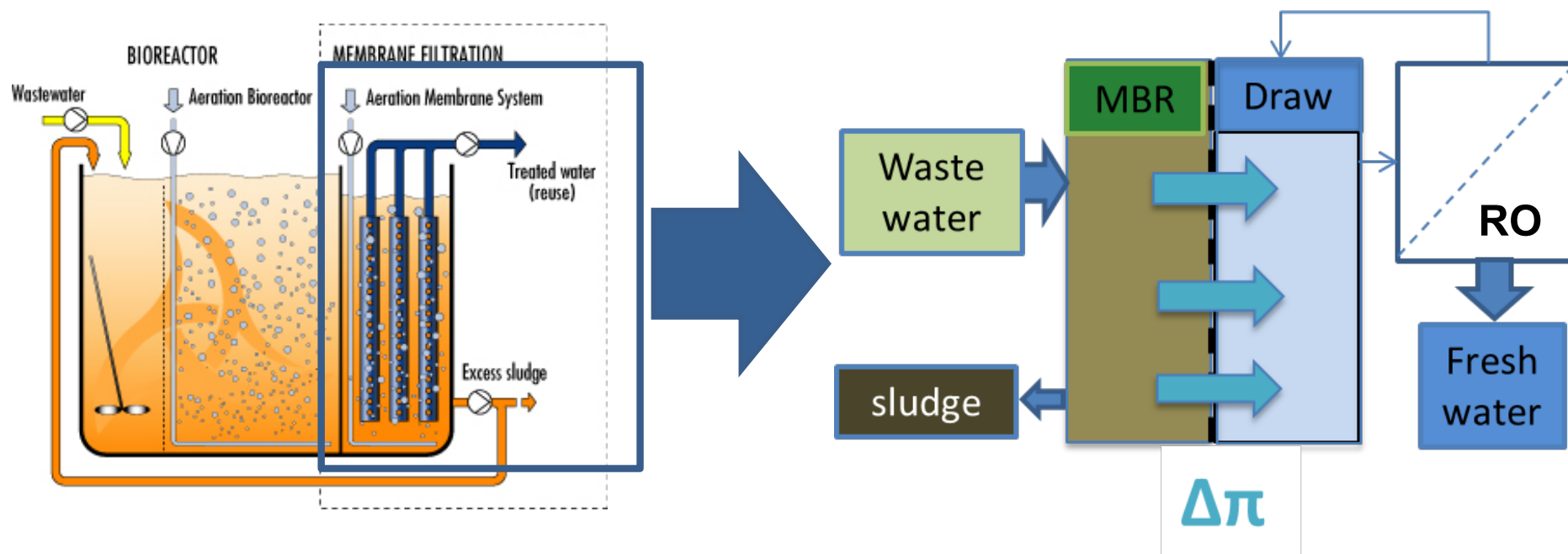
UV



Puede la ósmosis directa (o *forward osmosis*, FO) ser una tecnología competitiva para regenerar el agua en el contexto de la regeneración de agua residual?

# ¿ Qué es un bioreactor de membranas osmótico (OMBR) ?

Biorreactor de membranas (MBR), donde la fuerza impulsora para hacer permear el agua es un gradiente osmótico!

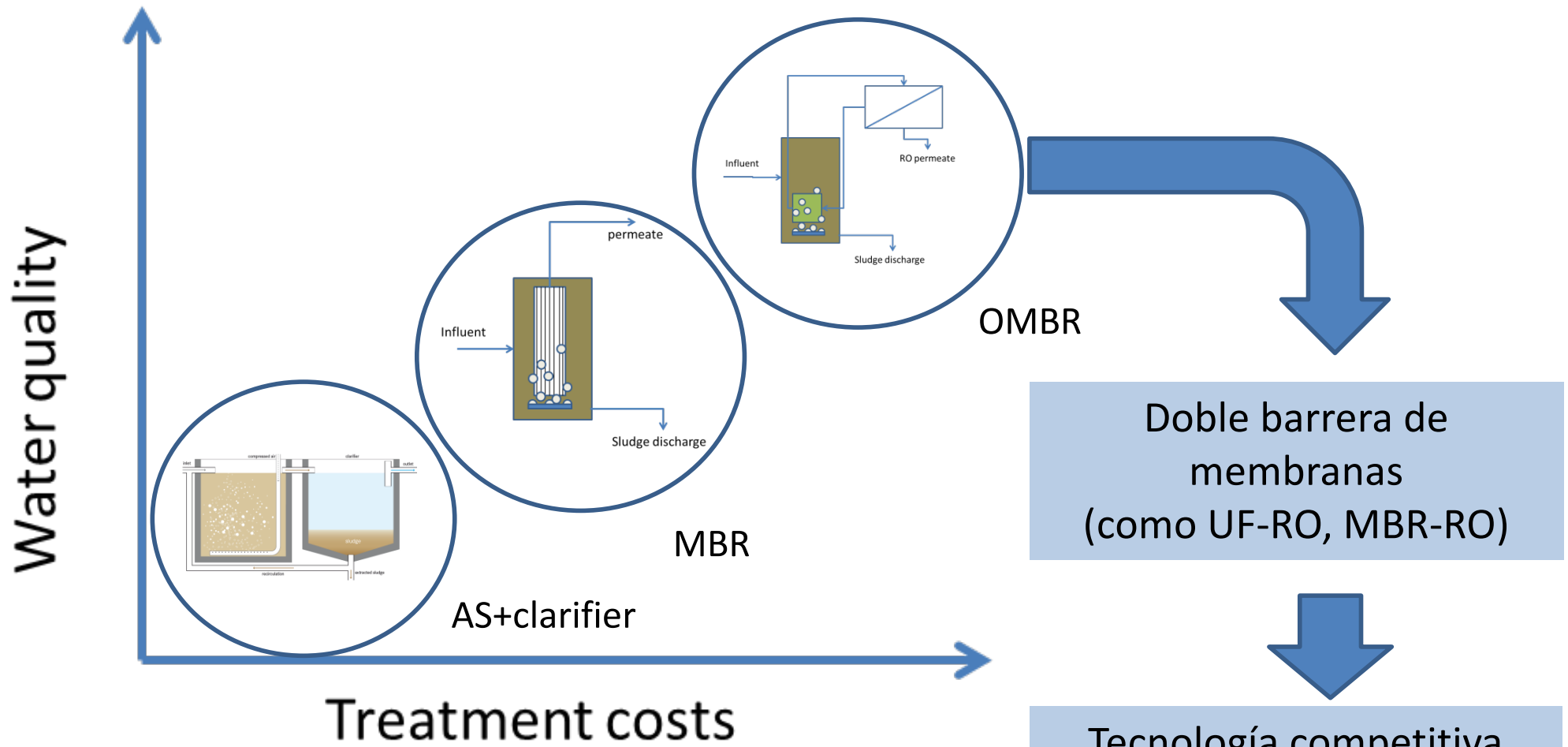


Se requiere una membrana de ósmosis directa (y módulo asociado)

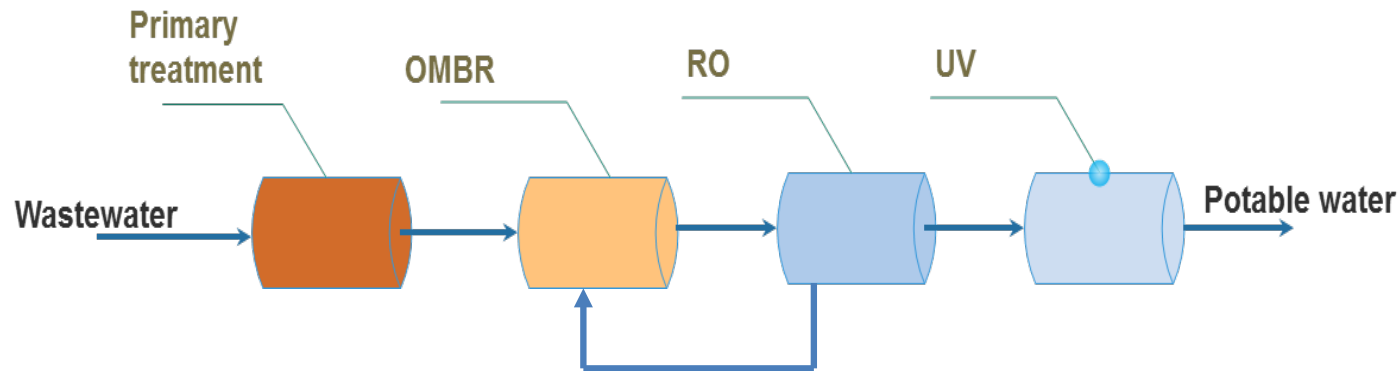


solución extractora + sistema de reconcentración (por ejemplo RO)

# ¿Porqué/cuando utilizar OMBR-RO?



# Bioreactor de membranas osmótico (OMBR) para la reutilización de agua



## Ventajas de OMBR-RO (vs. Trat.secundario-UF-RO o MBR-RO)

- 2 membranas densas: gran rechazo de contaminantes (seguridad en el agua)
- Menor ensuciamiento que en MBR (membranas UF/MF): menor limpieza
- Menores requerimientos de energía que en MBR
- Solución extractora limpia: bajo ensuciamiento en la RO
- No hay rechazo en la RO!

## Limitaciones actuales de OMBR-RO (vs. Trat.secundario-UF-RO o MBR-RO)

- Aumento de salinidad en el reactor ?
- Bajo flujo de permeado ?
- Módulos de membranas sumergidas comerciales no existen
- Presión RO para reconcentrar elevada ?
- Necesidad de validación !

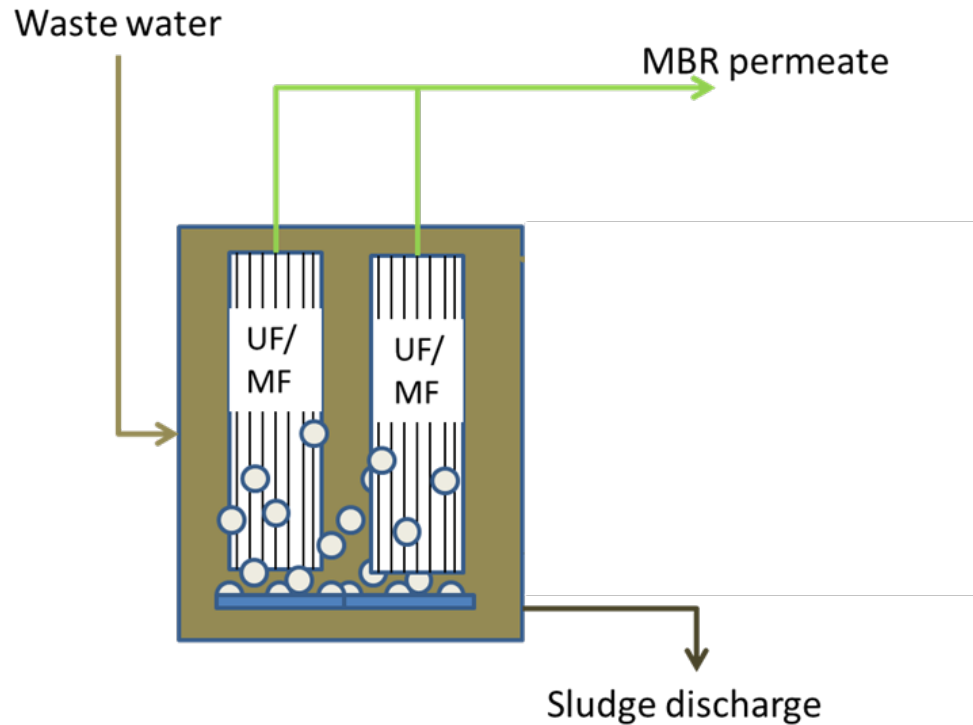


# Objetivos

- Diseño del módulo OMBR
  1. Desarrollo del módulo
  2. Prueba de concepto
- Operación del OMBR
  1. Flujo de permeado
  2. Salinidad en el reactor
  3. Ensuciamiento y limpieza
  4. Rechazo de microcontaminantes orgánicos (TrOCs)

# Retrofitting de MBR a OMBR

OMBR y MBR son de interés en contextos similares: reúso y espacio

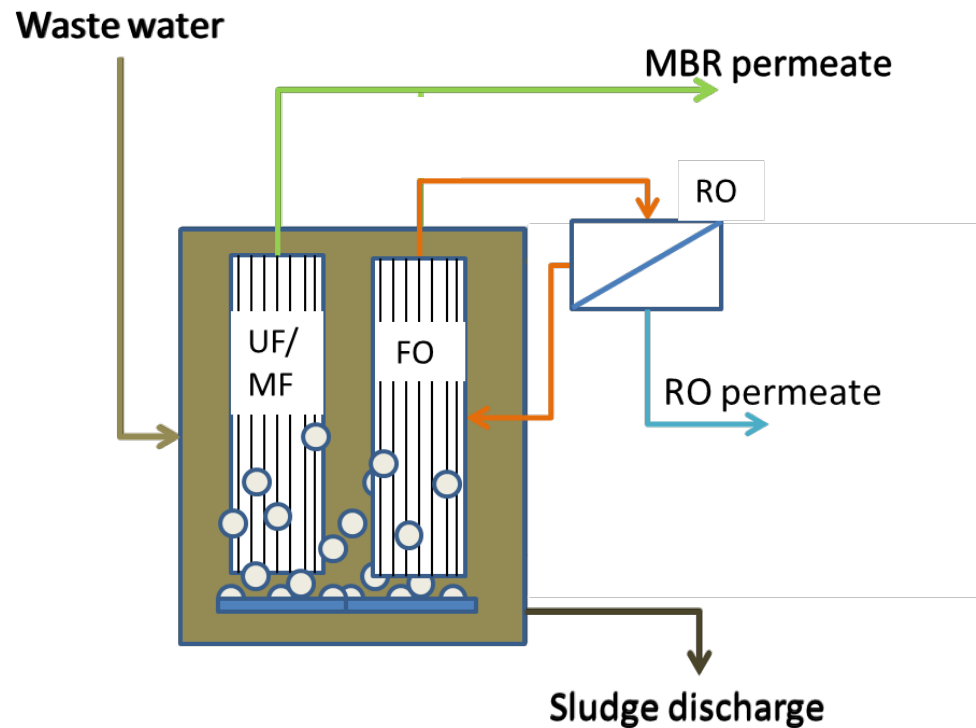


Interés para remodelar parcial o totalmente una planta de fangos activos o MBR ya existentes a OMBR:

- Para adaptarse a la demanda de mejor calidad de agua
  - Teniendo en cuenta el espacio limitado disponible

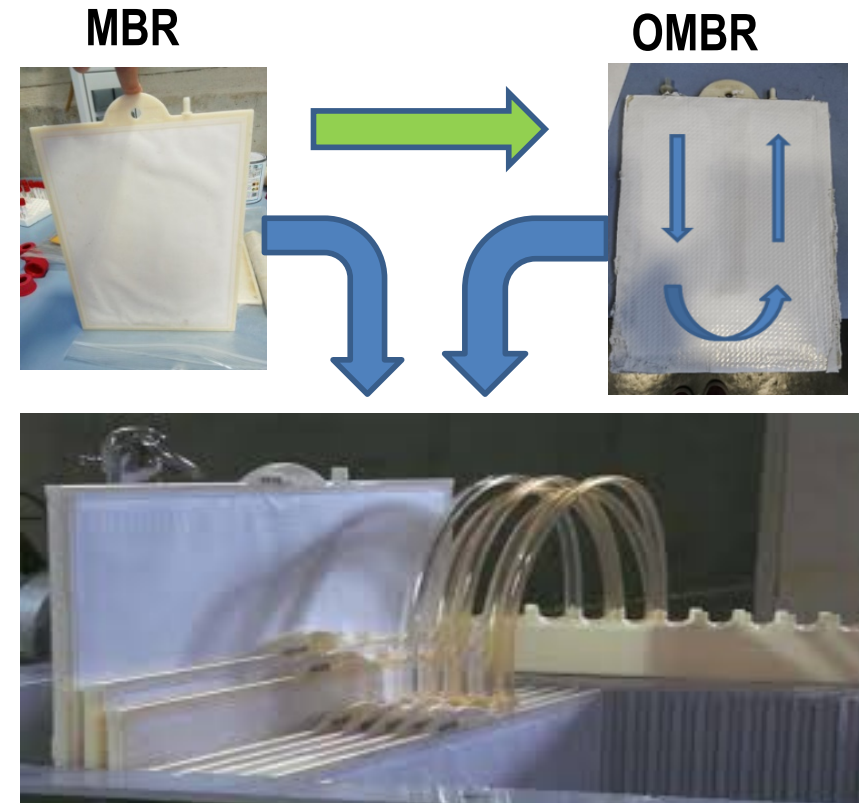
# Retrofitting de MBR a OMBR

Concepto de retrofitting: sustitución de algunos módulos UF/MF



Sistema híbrido

Basado en membranas planas (Kubota)



# Retrofitting de MBR a OMBR

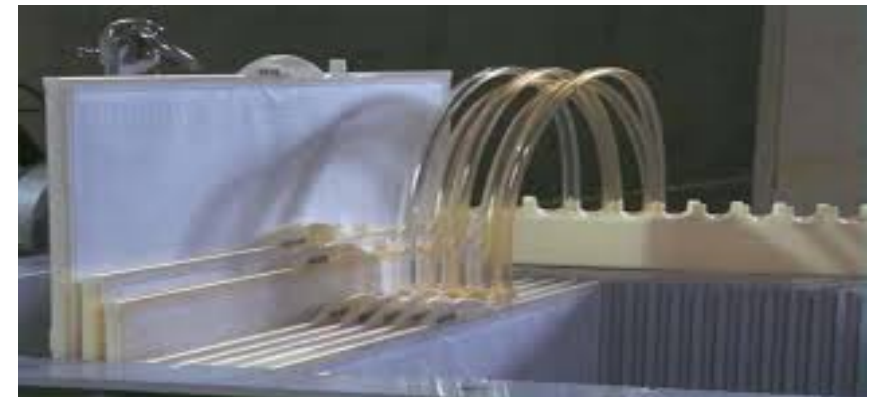
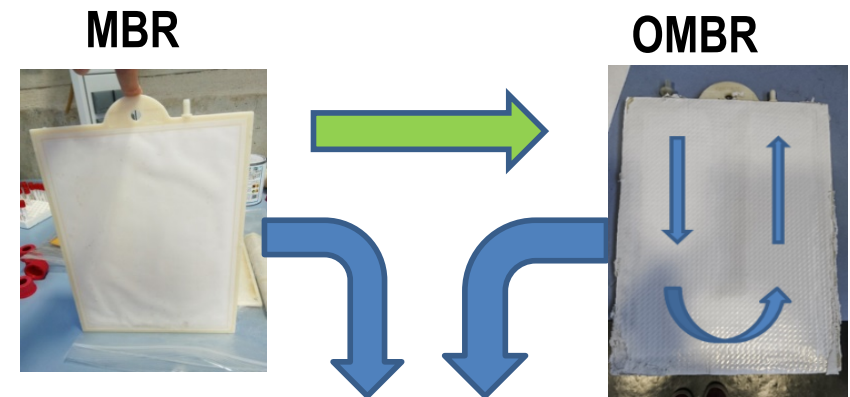
## Interés operacional

1. Posibilidad de transformar MBR existentes a OMBR
2. Posibilidad de adaptar proceso MBR/OMBR según necesidad de aguas
3. Eliminación de sales

## Interés científico

Permite comparación de funcionamiento MBR y OMBR (flujo, fouling, eliminación...)

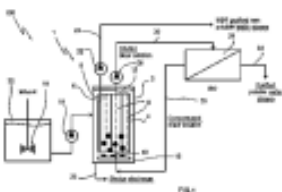
Basado en membranas planas (Kubota)



# Patente europea: presentada 29/06/2016

## Sol·licitud de Patent Europea

### Documentació aportada amb la sol·licitud

	<b>Número sol·licitud :</b> 16382307.3
	<b>Enunciat :</b> <i>"Method for operating a membrane bioreactor of a water treatment system and corresponding membrane bioreactor and water treatment system"</i>
	<b>Sol·licitud prioritària :</b> --
	<b>Organisme Oficial :</b> Oficina Española de Patentes
	<b>Titulars :</b> UNIVERSITAT DE GIRONA i FUNDACIÓ INSTITUT CATALÀ DE RECERCA DE L'AIGUA (ICRA)
	<b>Data sol·licitud :</b> 29 de juny de 2016



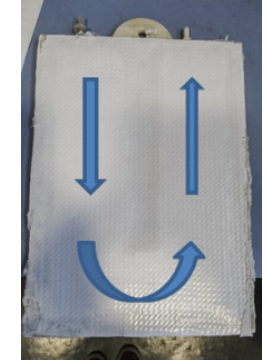
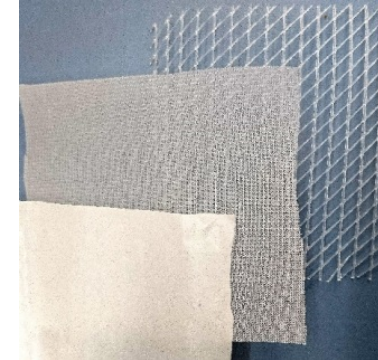
### Acknowledgement of receipt

We hereby acknowledge receipt of your request for grant of a European patent as follows:

Submission number	300198409	
Application number	EP16382307.3	
File No. to be used for priority declarations	EP16382307	
Date of receipt	29 June 2016	
Your reference	R-9675_R-601 EU	
Applicant	Universitat de Girona	
Country	ES	
Title	METHOD FOR OPERATING A MEMBRANE BIOREACTOR OF A WATER TREATMENT SYSTEM AND CORRESPONDING MEMBRANE BIOREACTOR AND WATER TREATMENT SYSTEM	
Documents submitted	package-data.xml application-body.xml SPECEPO-1.pdf;EP-UdG-ICRA-English text with drawings.pdf.pdf (36 p.)	ep-request.xml ep-request.pdf (5 p.) f1002-1.pdf (1 p.)
Submitted by	CN=Nèstor Corominas Macias 25488	
Method of submission	Online	
Date and time receipt generated	29 June 2016, 12:48:08 (CEST)	
Official Digest of Submission	5B:CC:29:0F:A4:64:F6:06:E7:F6:B2:EA:7F:4D:FE:E1:85:D0:9A:51	

# Desarrollo de módulo de membrana plana

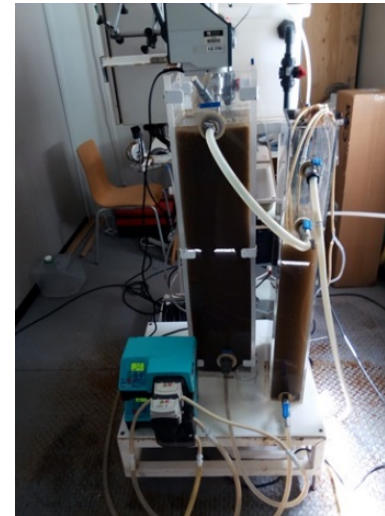
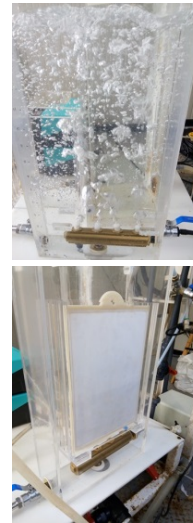
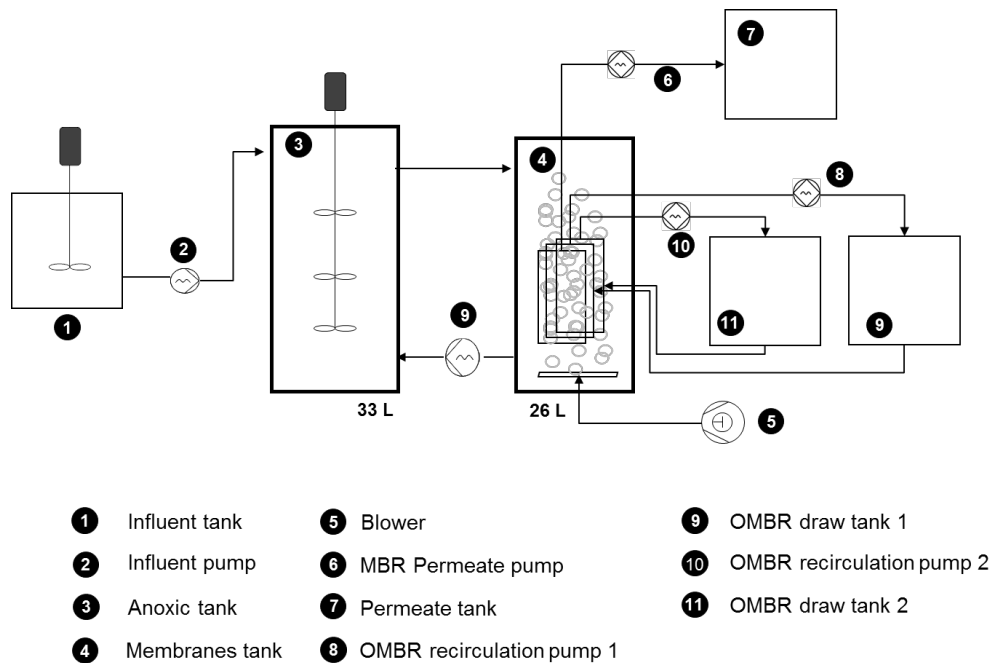
“Home made design”



Colaboraciones con  
proveedores de membranas



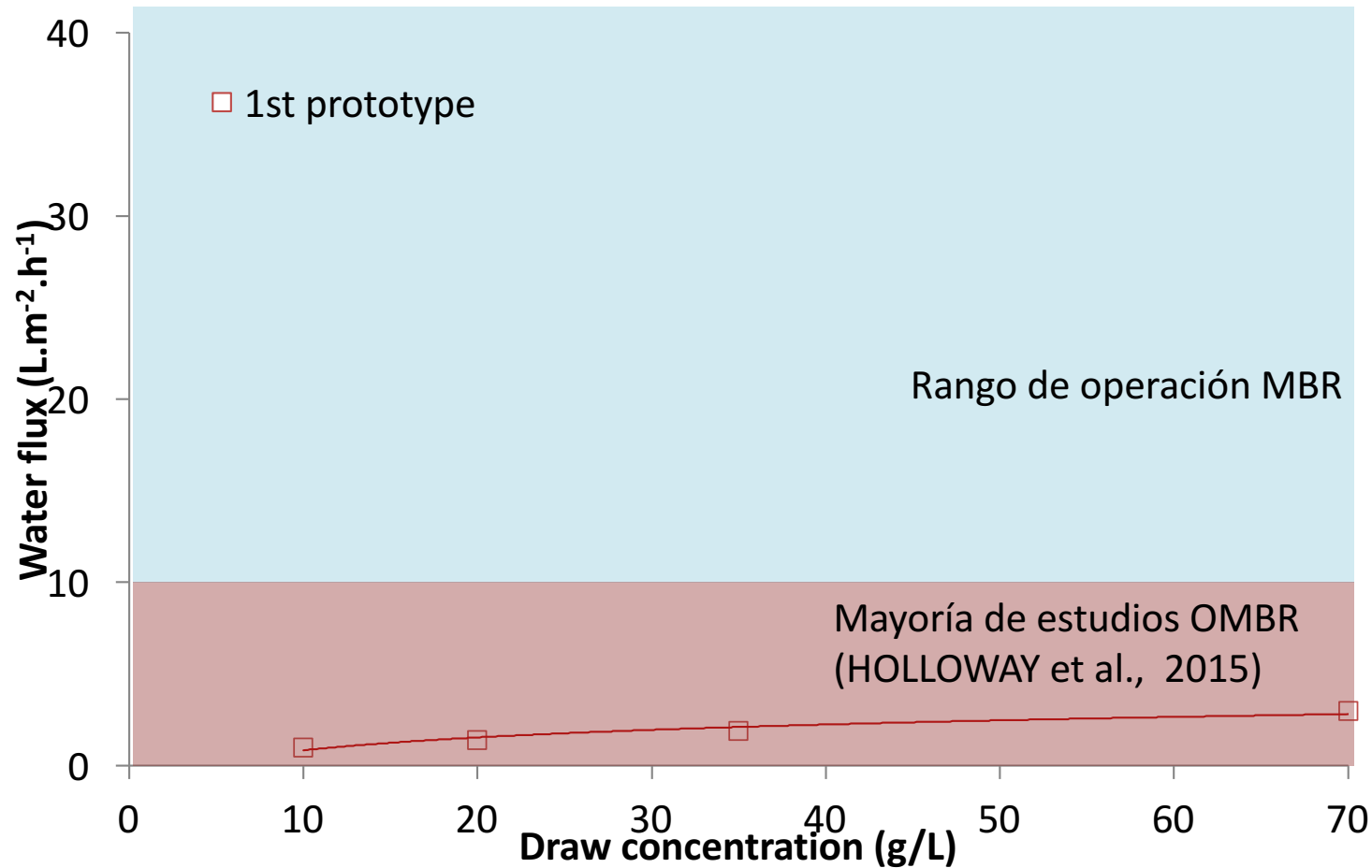
# Validación / prueba de concepto OMBR



Reactor operando desde finales 2016 (varias pruebas):

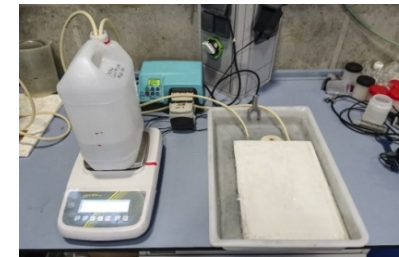
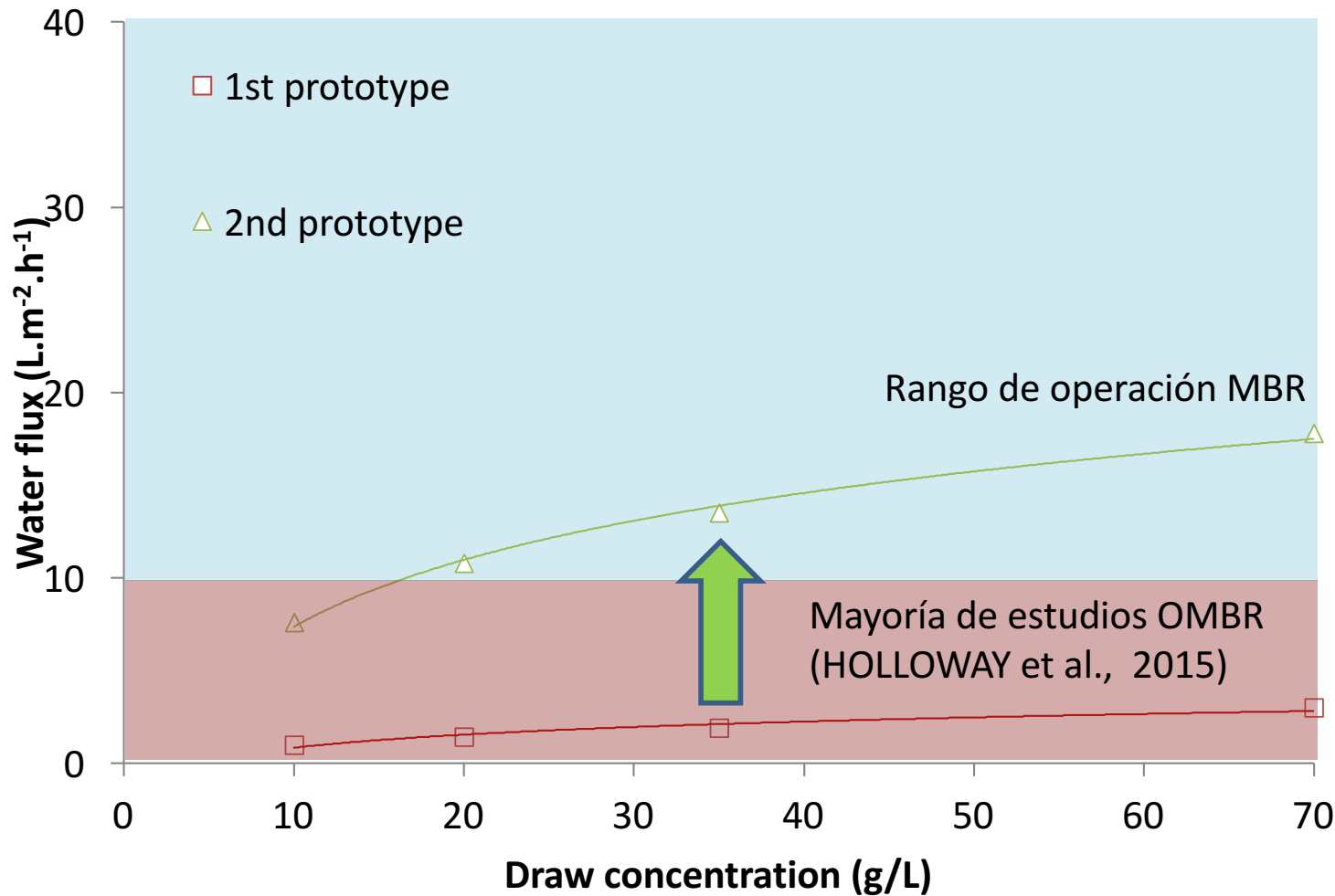
- 50L reactor (anóxico/aerobio tanques, bucle de recirculación)
- Influyente sintético
- MLSS: 8-10 g.L<sup>-1</sup>, HRT: 1 día, SRT: >30días
- Control: flujo, TMP, conductividad, pH, calidad (DQO, N, P)
- Operación MBR o OMBR o MBR/OMBR (1 MF Kubota y 2 TFC FO, flujo similar)

# Flujo de permeado



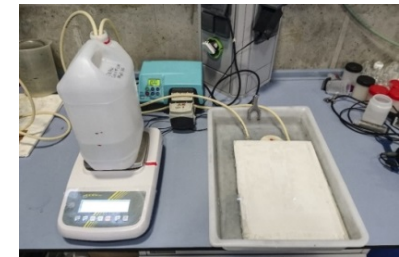
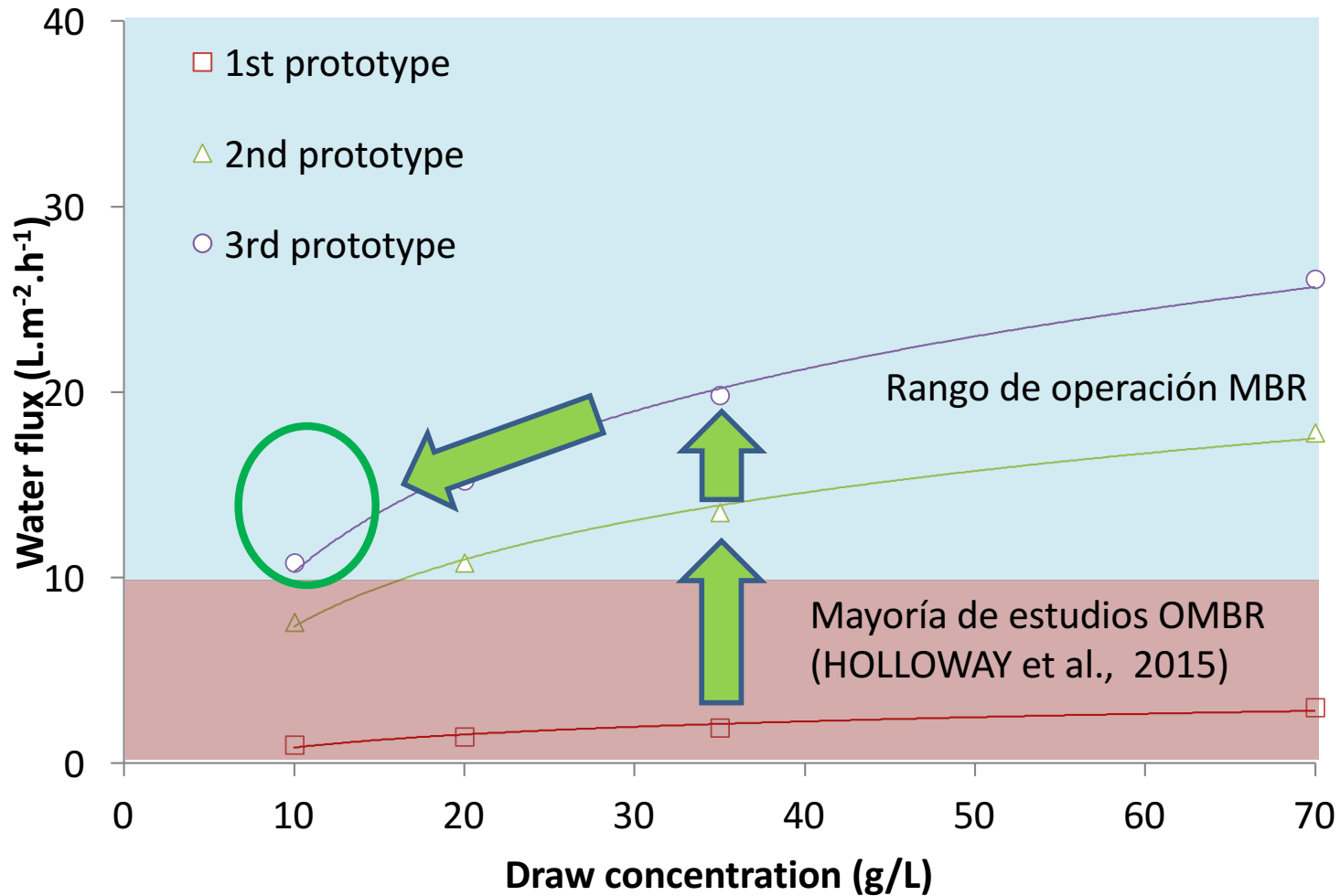


# Flujo de permeado



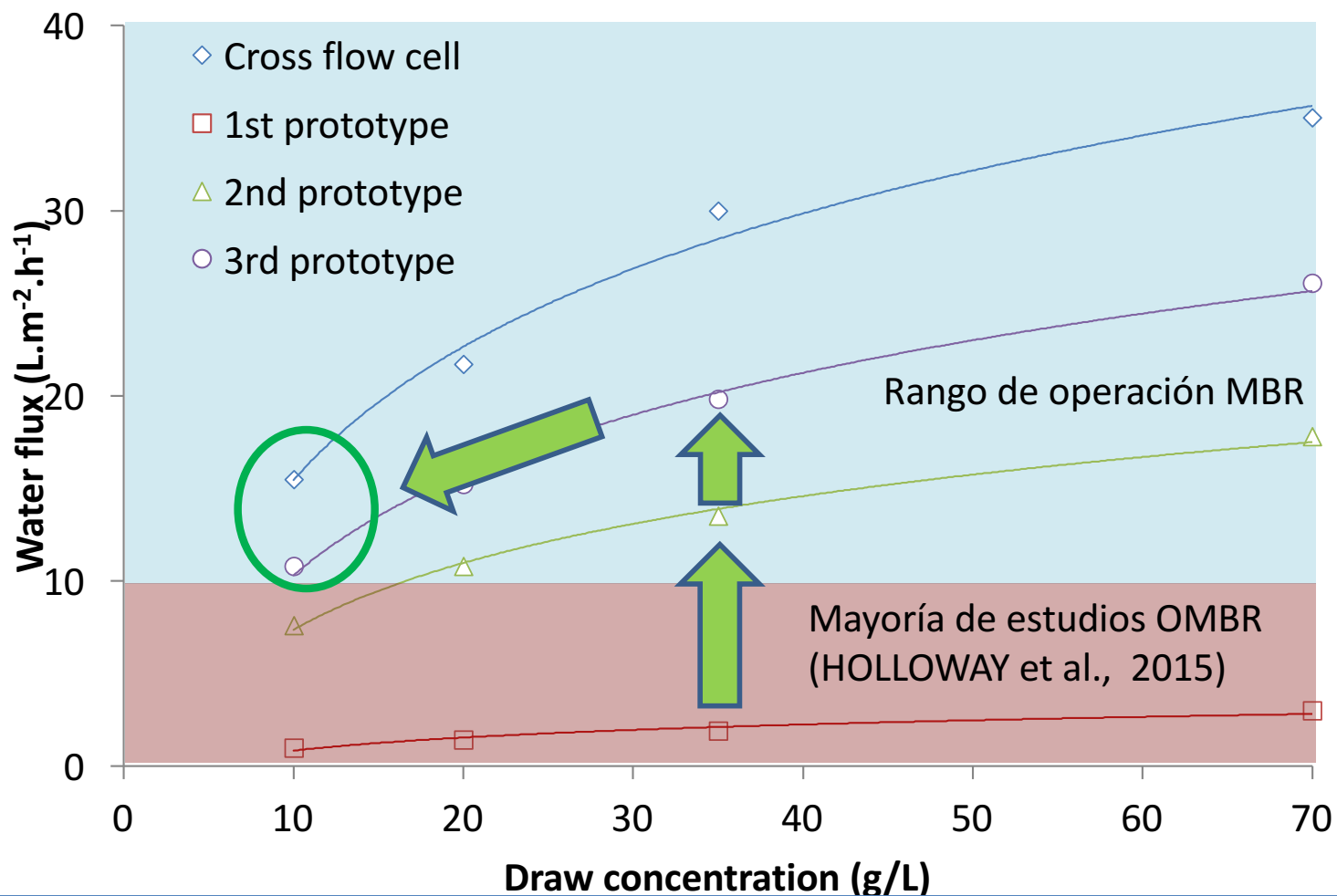
Nueva  
membrana  
TFC

# Flujo de permeado



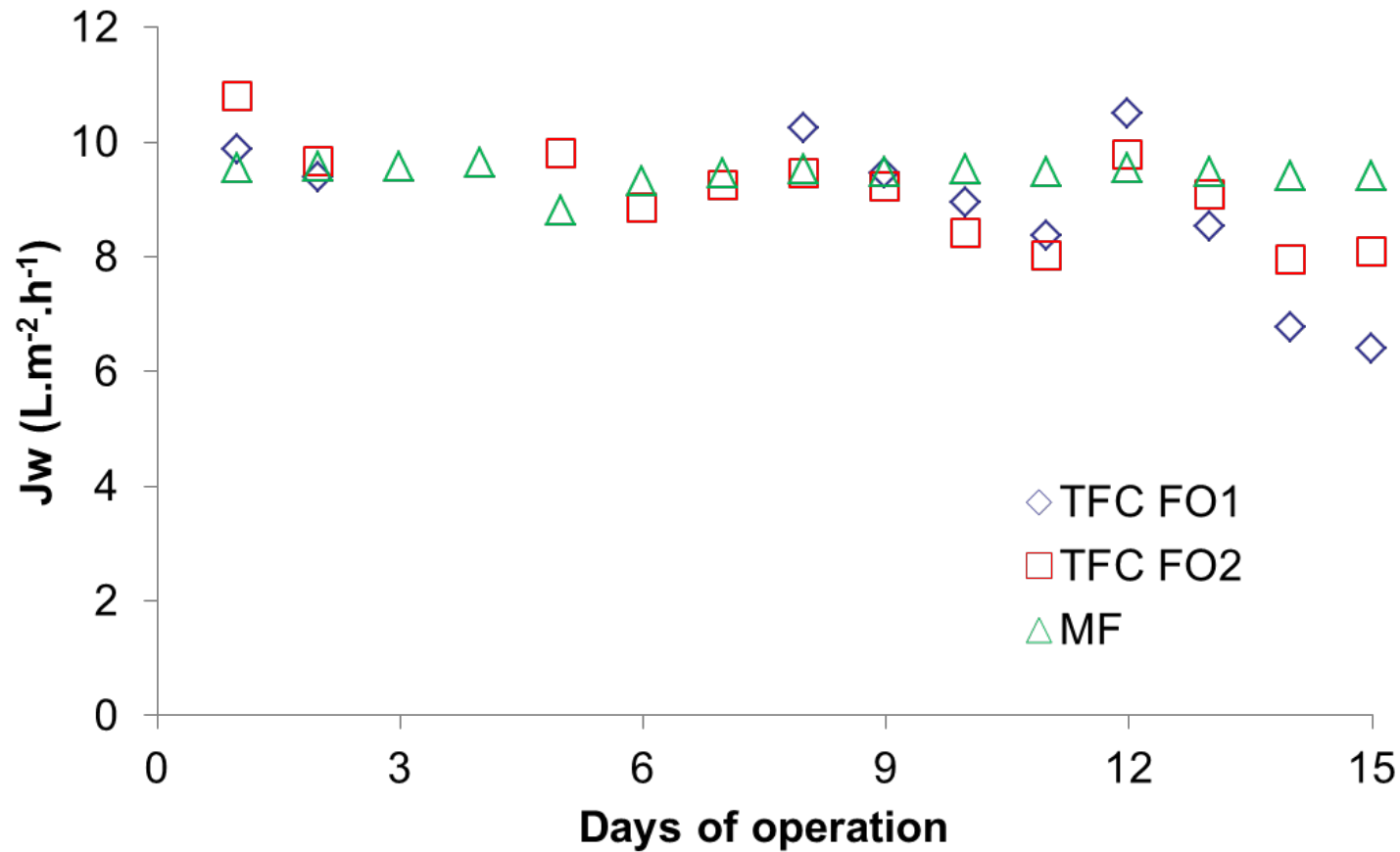
Mejora  
diseño

# Flujo de permeado



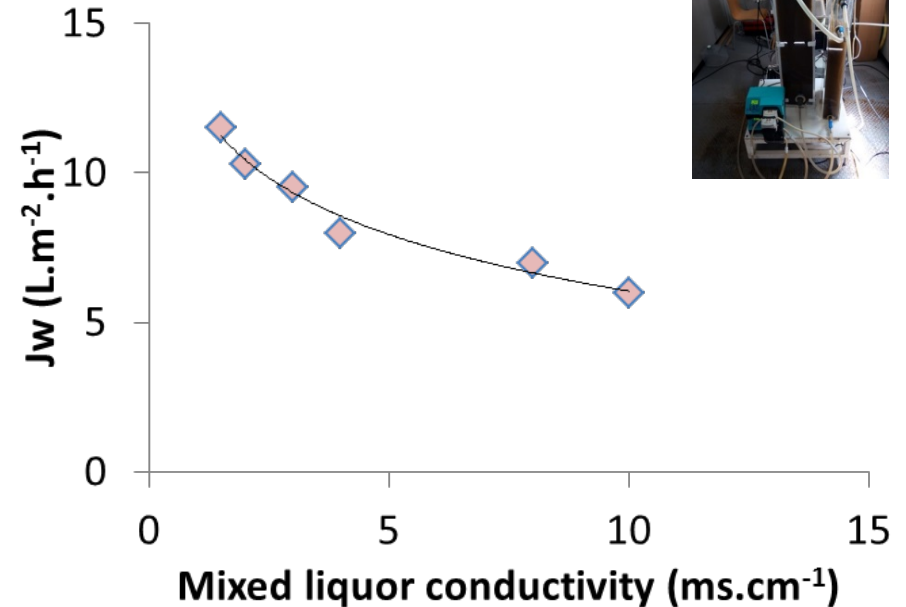
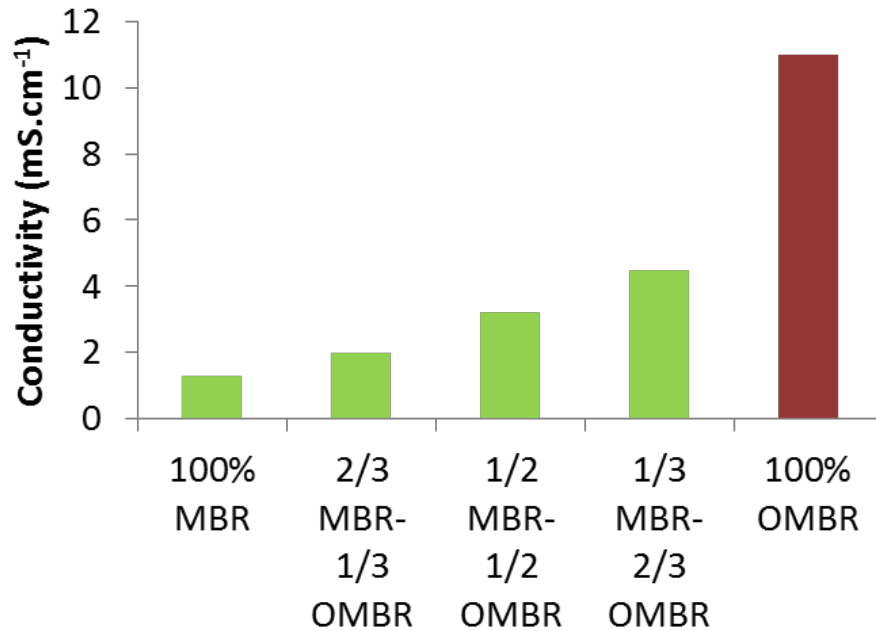
Flujo de 10 LMH con 10 g/L + optimización diseño  
...pero todavía se puede mejorar !

# Flujo de permeado



Se consiguió operar en condiciones de flujo estables durante semanas

# Salinidad



100% OMBR conduce a una salinidad muy alta en el reactor:  
¡Afectación a las bacterias!

Salinidad alta: también  
baja el flujo !

¡OMBR/MBR combinados permiten operar a salinidad y flujo aceptable!

# Ensuciamiento / limpieza

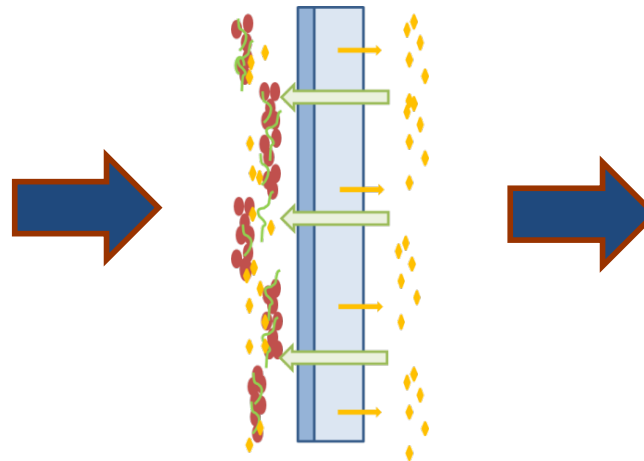
Ensuciamiento

Después de la  
limpieza

FO/OMBR



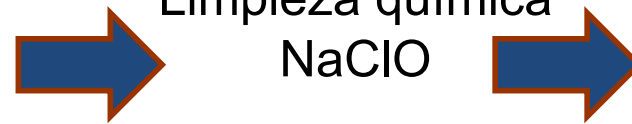
Contralavado  
osmótico



MF/ MBR

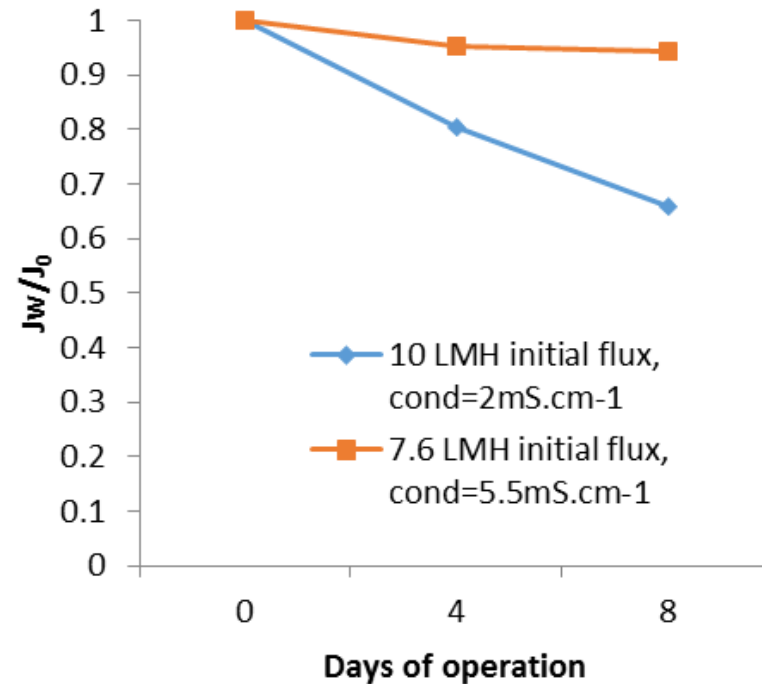
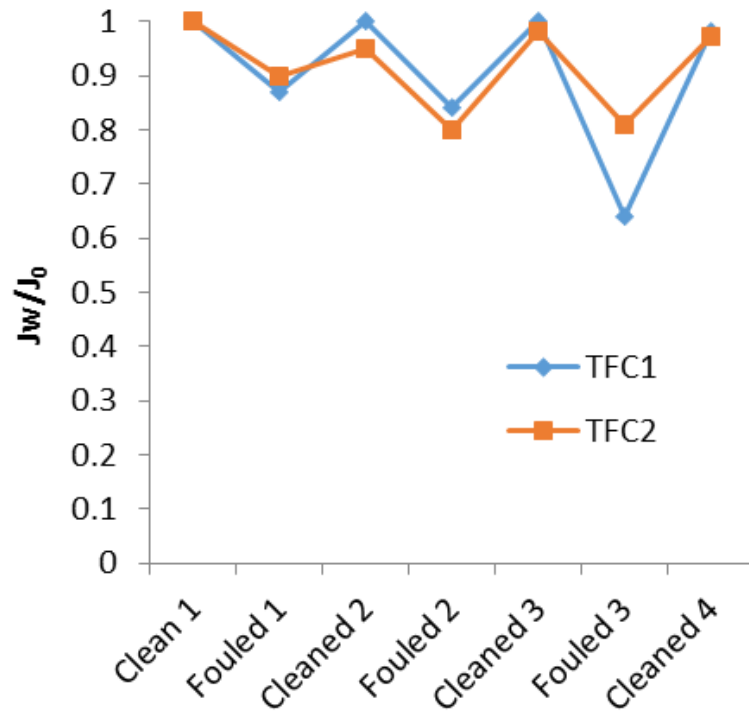


Limpieza química  
NaClO



Contralavado osmótico : reducción uso de reactivos químicos

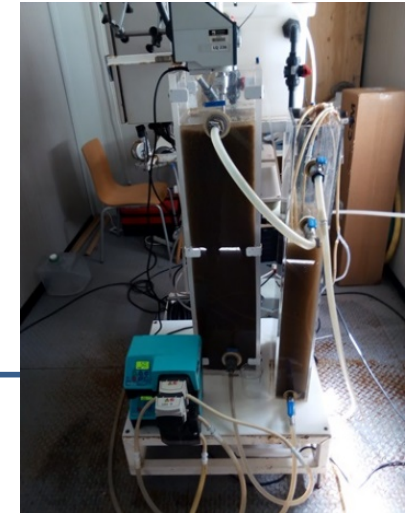
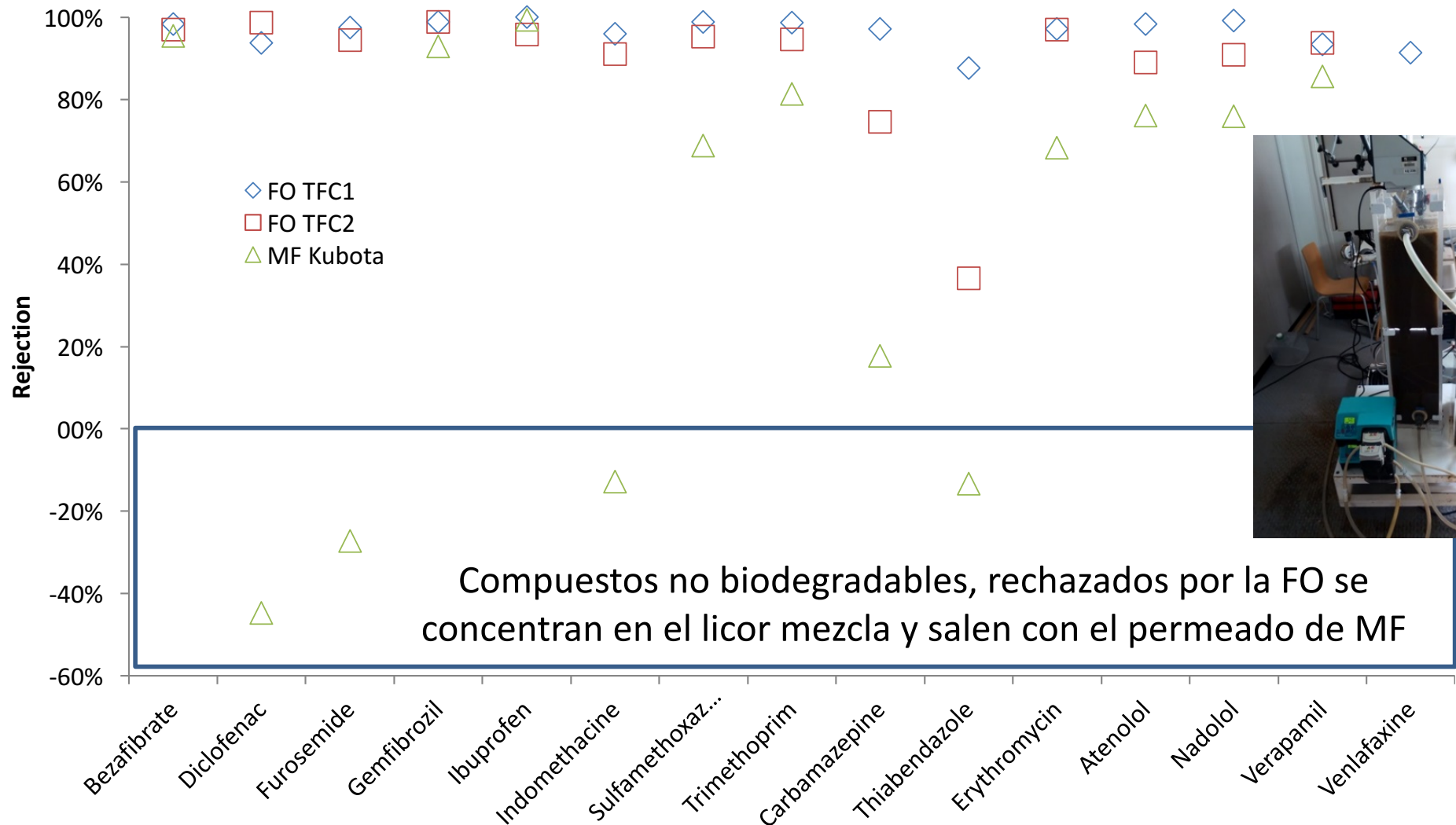
# Ensuciamiento / limpieza



Confirmación de buena recuperación del flujo después de contralavados osmóticos

Flujo menor producirá menor ensuciamiento

# Rechazo de microcontaminantes orgánicos



Alto rechazo de todos los compuestos (FO TFC1 > 90%)  
FO TFC1 > FO TFC2 >> MF

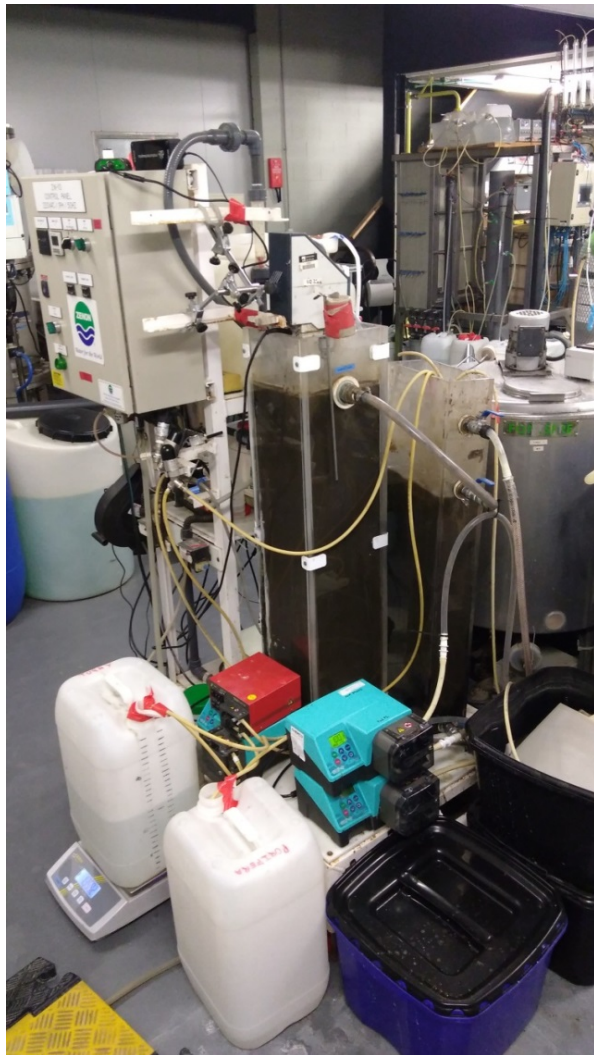


# Contenidos

- ❑ Presentación grupo de membranas de Girona
- ❑ ¿ Qué es la ósmosis directa ?
- ❑ Bioreactor de membrana osmótica (OMBR)
  - ❑ Introducción
  - ❑ Diseño de OMBR
  - ❑ Operación de OMBR
- ❑ Otras aplicaciones de FO
- ❑ Conclusiones y próximos pasos

# Otras aplicaciones de FO

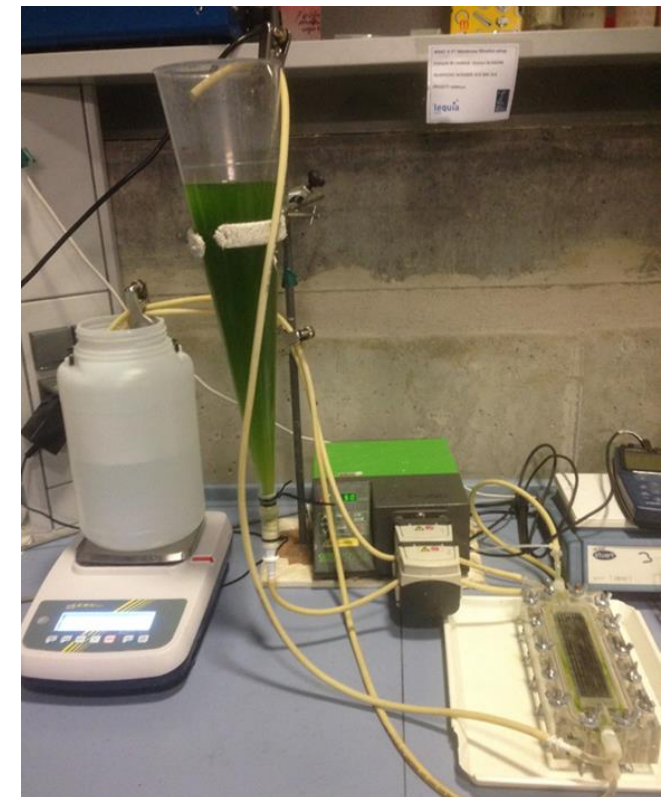
MBR/OMBR



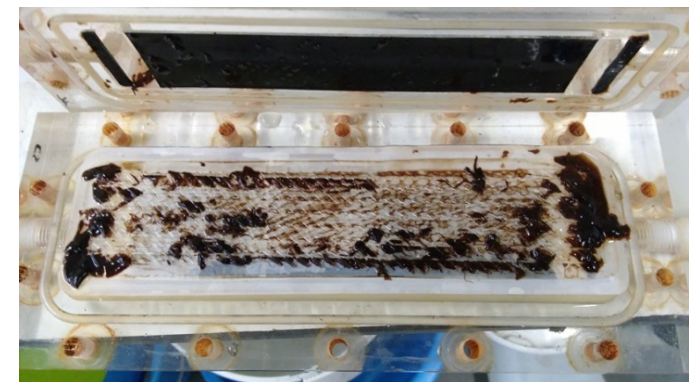
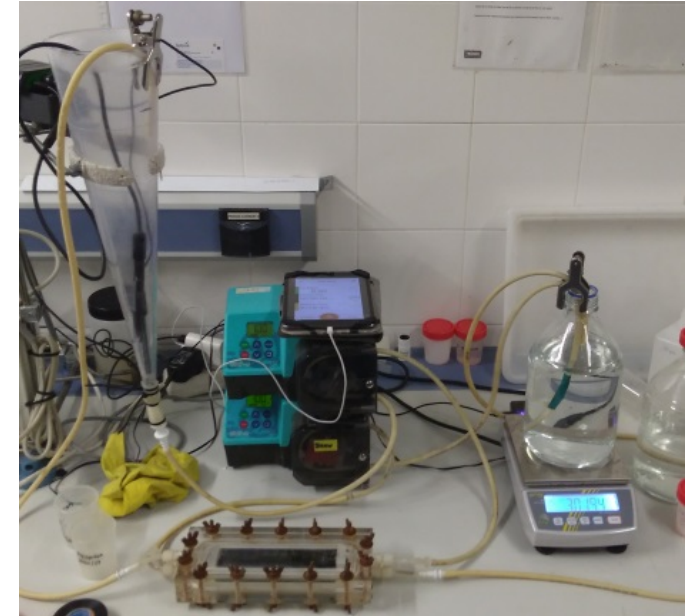
Fotobioreactor de membrana osmótica



Concentración de corrientes (agua residual, algas, alimentos...)



# Concentración de agua residual

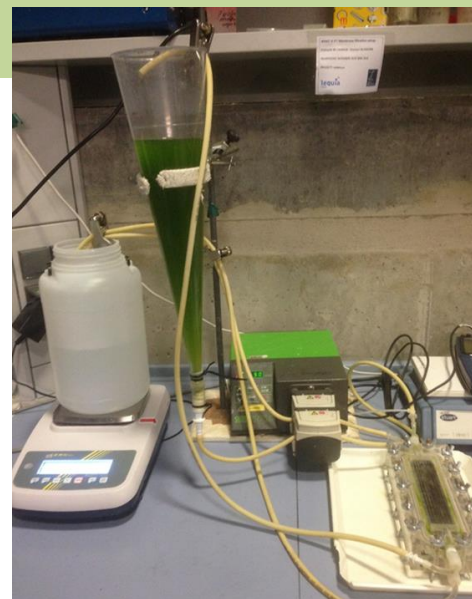
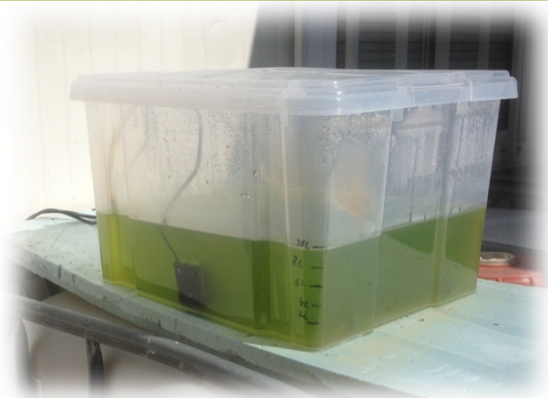


Porcentaje de concentración, eliminación/concentración de contaminantes, velocidades de ensuciamiento y procedimientos de limpieza

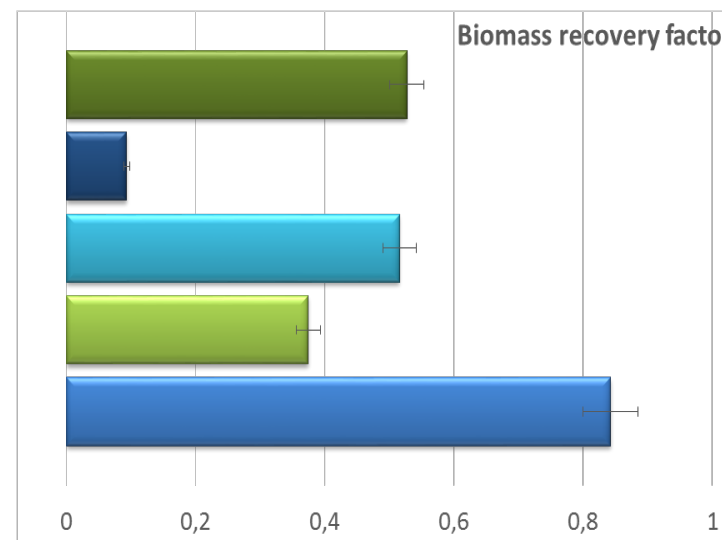
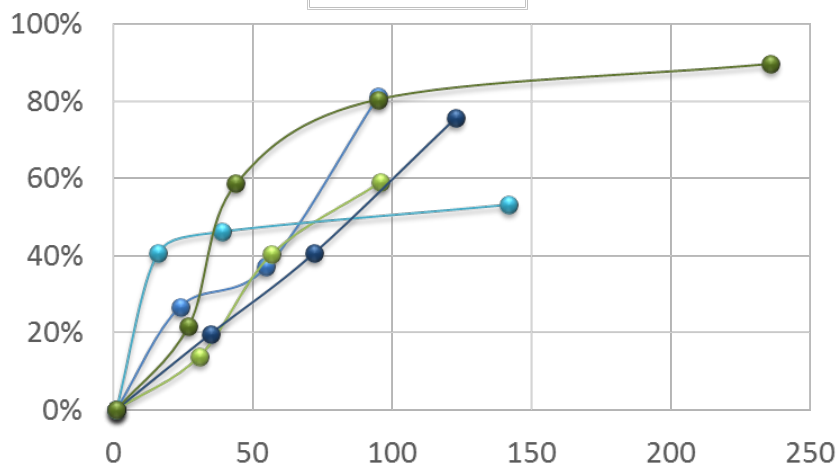
# Microalgas



## Impacto de las condiciones de cultivo en la filtración de las microalgas



COD removal



- Suboptimal residence time
- Suboptimal N:P ratio
- Optimized culturing
- Suboptimal env. conditions
- Suboptimal start density

# Fotobioreactor de membrana osmótica



Day 1



Day 11



Cultivo con éxito de microalgas en un bioreactor de membrana osmótica  
Comparación con operación sumergida y *sidestream* (ongoing)

# Contenidos

- ❑ Presentación grupo de membranas de Girona
- ❑ ¿ Qué es la ósmosis directa ?
- ❑ Bioreactor de membrana osmótica (OMBR)
  - ❑ Introducción
  - ❑ Diseño de OMBR
  - ❑ Operación de OMBR
- ❑ Otras aplicaciones de FO
- ❑ Conclusiones y próximos pasos

# Conclusiones y próximos pasos

- Principales conclusiones
  - Remodelación de MBR a OMBR es técnicamente posible!
  - OMBR-RO es prometedor para la reutilización de agua de gran calidad!
    - Alto rechazo de todos los compuestos
    - Menos problemas de ensuciamiento
    - RO sin rechazo

# Conclusiones y próximos pasos

- Principales conclusiones

- Remodelación de MBR a OMBR es técnicamente posible!
- OMBR-RO es prometedor para la reutilización de agua de gran calidad!
  - Alto rechazo de todos los compuestos
  - Menos problemas de ensuciamiento
  - RO sin rechazo



- Próximos pasos

- Colaboración con socio industrial para completar el desarrollo!
- Mejora del diseño del módulo sumergido
- Validación a largo plazo/mayor escala
  - Piloto industrial (2017)
  - Prueba en EDAR real (2018)
- Estimación económica
- 48 Evaluar otras aplicaciones





# Muchas gracias!

## Biorreactores de membrana osmóticos para la reutilización de aguas

G. Blandin, J. Comas, I. Rodríguez-Roda  
jcomas@icra.cat



Fuente: Agencia Catalana del Agua (2015)

### Agradecimientos:

**ACCIÓ**  Generalitat  
de Catalunya

**TECNIOspring**  
Tech transfer  
through researchers' mobility



Co-funded by the 7th  
Framework Programme  
of the European Union

Y a todos ustedes por su atención !