Análisis comparativo de CAPEX y OPEX para la tecnología BRM

Ignasi Rodríguez-Roda, irodriguezroda@icra.cat

J. Comas, H. Monclús, A. Galizia, J. Suquet, G. Blandin, J. Mamo, S. Gabarrón, G. Buttiglieri, E Mendoza…

S. Judd, F. Turan

R. Iglesias, E. Ortega, A. Martínez, P. Simón, L. Moragas, J. Robusté, E. Belén García, A. Arce

lequia UdG ECO-INNOVATIVE WATER SOLUTIONS

25 25

ICRA Institut Català de Recerca de l'Aigua

Cranfield Water

Contenido

I Contexto en España (MBR vs AP + terciario)

WS&T, tesis, MBRblog, guia

II MBR sumergido vs externo (500-5000 m^3/d)

WEFTEC 2018

Cost comparison of full-scale water reclamation technologies*

CEDEX, ACA, ESAMUR, CYII, UPM, UdG, ICRA

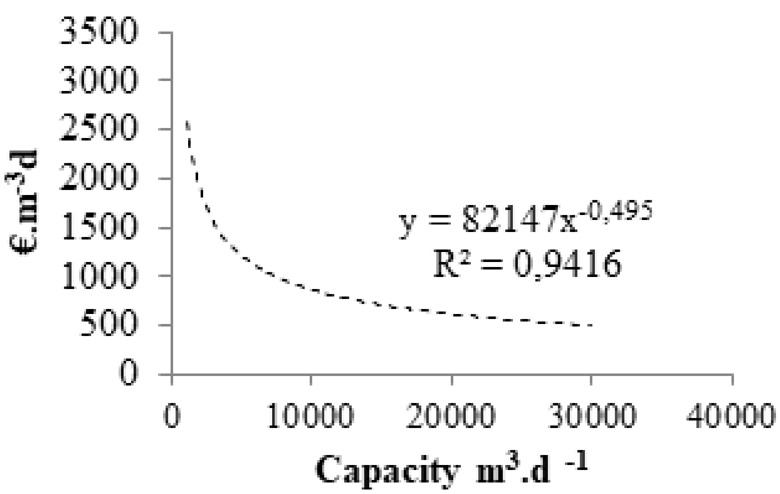
14 MBR (2002-2009) en Murcia (Aledo*, Calasparra*, El Valle, Los Cañares*, Mar Menor**, Riquelme**, San Pedro**) y en Catalunya (La Bisbal d'Empordà*, Riells Viabrea, Sabadell, Terrassa, Vacarisses**, Viladecans i Vallvidrera**)**

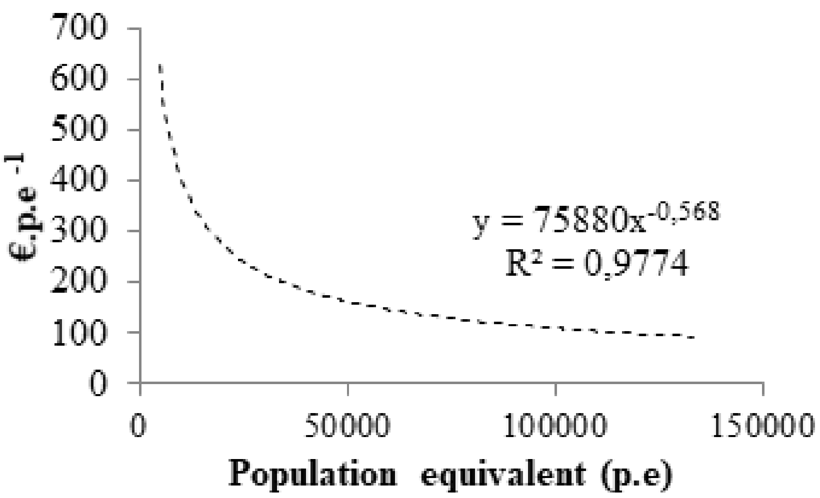
75 EDAR aeración prolongada y eliminación nutrientes (1993-2007), con terciario convencional (CRT: coagulación, filtro arena y desinfección) y terciario avanzado (ART: membranas)

* WS&T, tesis, MBRblog, guia

I Contexto: experiencia / datos en España

CAPEX*



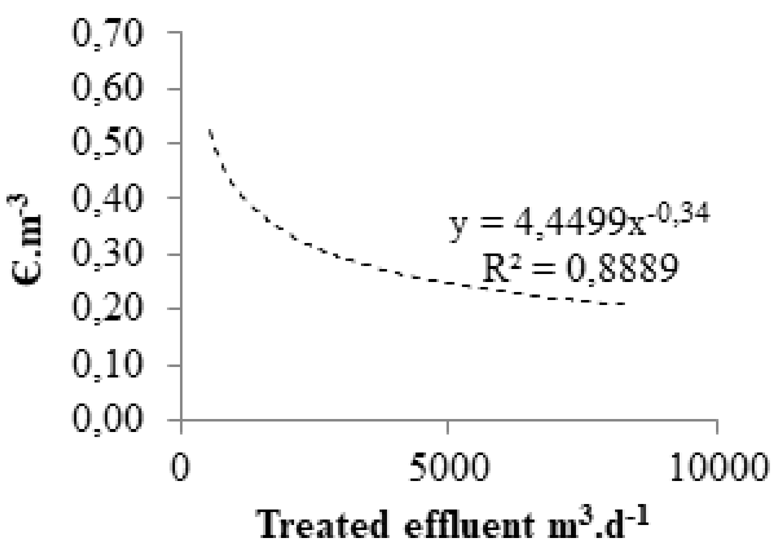


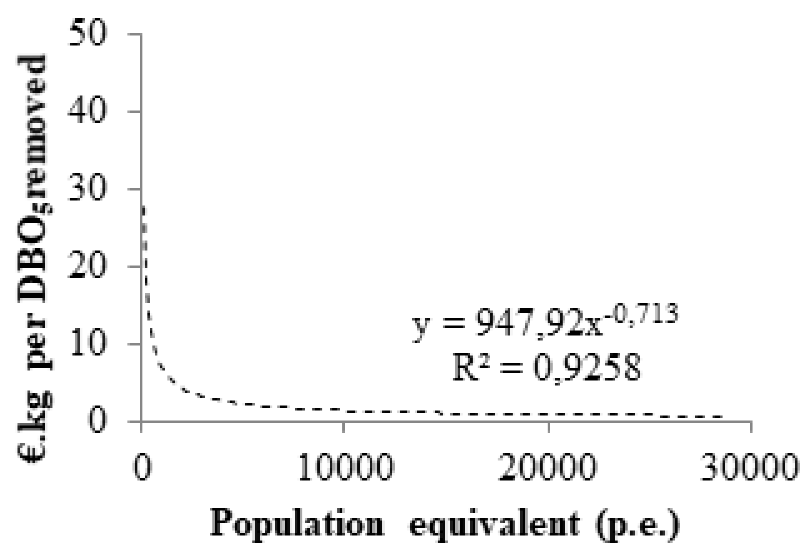
* Costes de la licitación (sin overheads ni beneficio industrial) actualizados a 2011 (IPC)
No incluye precio de terreno ni obras de acondicionamiento

I Contexto: experiencia / datos en España

OPEX

A. Fixed costs, € year $^{-1}$	Items included
Operators	Annual salary/maintenance engineer
General expenses	Accounting, fees, insurance, supplies
Maintenance and repairs	Equipment and infrastructures
Energy	Potential term (€ kW^{-1} year)
Chemical analysis	Royal Decree 11/1995
B. Variable cost, € year $^{-1}$	
Overall energy consumption	Pre-treatment, membrane, biological and sludge
Waste and sludge	Disposal management
Chemicals	Membrane cleaning



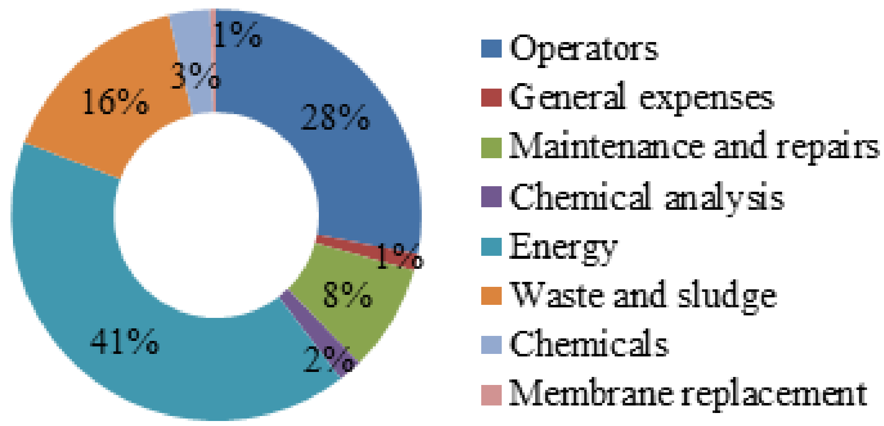


I Contexto: experiencia / datos en España

Institut Català de Recerca de l'Aigua

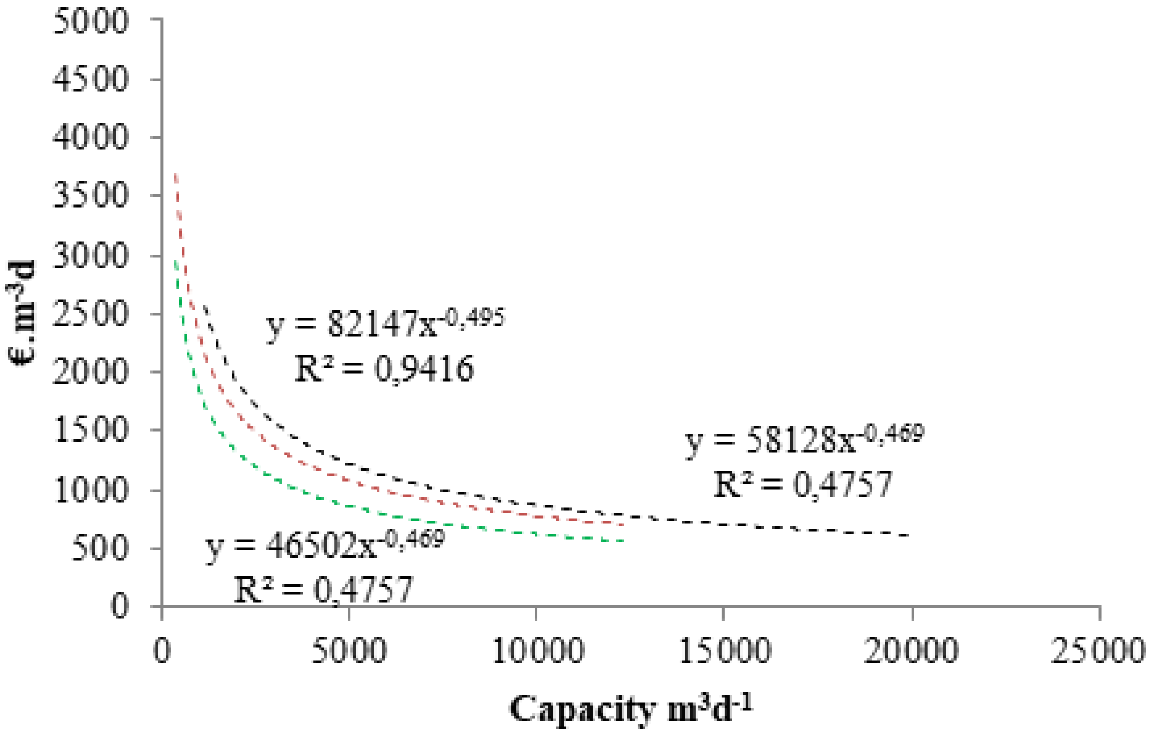
OPEX

A. Fixed costs, € year $^{-1}$	Items included
Operators	Annual salary/maintenance engineer
General expenses	Accounting, fees, insurance, supplies
Maintenance and repairs	Equipment and infrastructures
Energy	Potential term (€ kW^{-1} year)
Chemical analysis	Royal Decree 11/1995
B. Variable cost, € year $^{-1}$	
Overall energy consumption	Pre-treatment, membrane, biological and sludge
Waste and sludge	Disposal management
Chemicals	Membrane cleaning



I Contexto: experiencia / datos en España

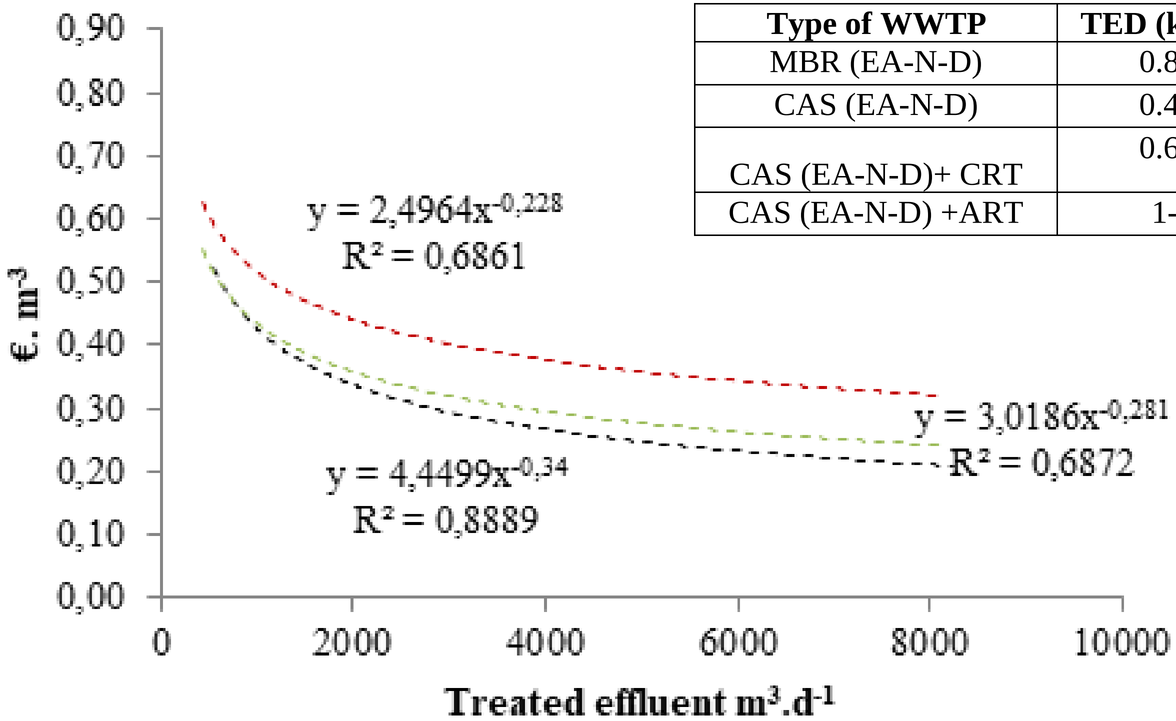
CAPEX



- - - - MBR
- - - - Aireación prolongada + terciario convencional (coag., filtro arena y desinf.)
- - - - Aireación prolongad + terciario avanzado (sistema de membranes)

I Contexto: experiencia / datos en España

OPEX



Type of WWTP	TED ($kwh.m^{-3}$)	Energy cost ($€.m^{-3}$)
MBR (EA-N-D)	0.8-1.2	0.06-0.11
CAS (EA-N-D)	0.4-0.8	0.04-0.08
CAS (EA-N-D)+ CRT	0.6-1.0	0.06-0.1
CAS (EA-N-D) +ART	1-1.2	0.1-0.12

- - - - MBR
- - - - Aireación prolongada + terciario convencional (coag., filtro arena y desinf.)
- - - - Aireación prolongad + terciario avanzado (sistema de membranes)

I Contexto: experiencia / datos en España

Institut Català de Recerca de l'Aigua

En España hay muchas instalaciones pero pocos datos de calidad….. tratados muy rigurosamente

OPEX:

MBR 0.6-1.2 kWh/m^3 (energía 40%) vs AP + terciario MS 1.2 kWh/m^3

MBR mayor consumo energético, menor mano de obra

CAPEX:

MBR 700-960 €/(m^3·d)

CAS + terciario convencional 730-850 €/(m^3·d)

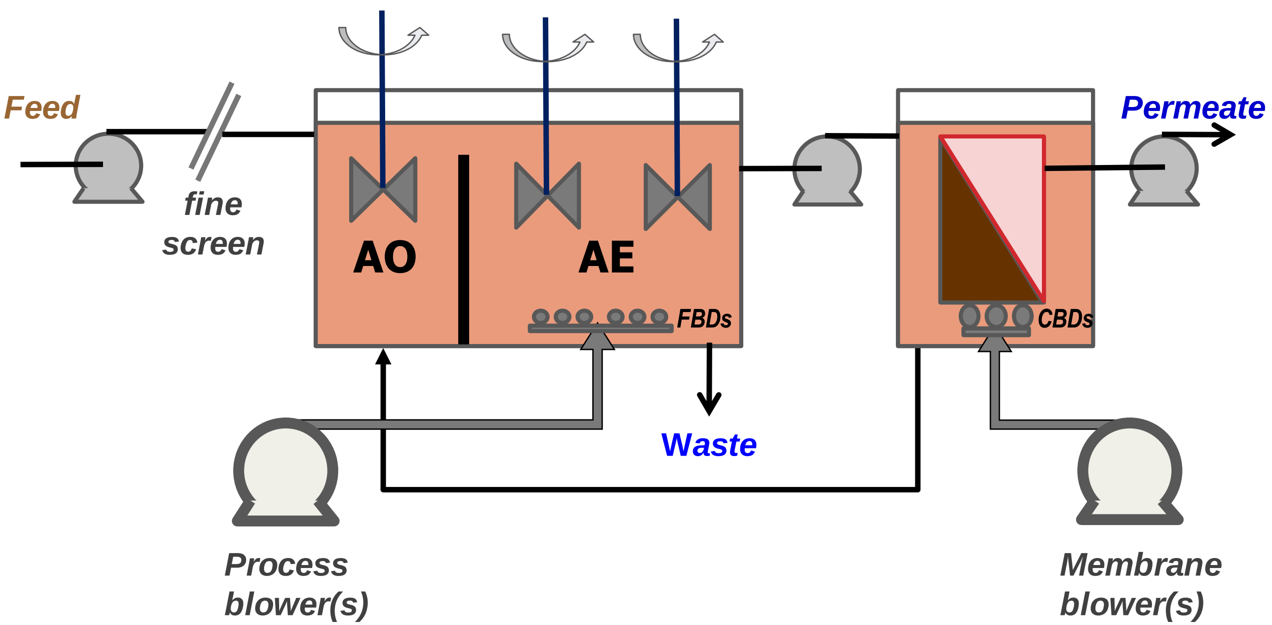
CAS + terciario MS 1050-1250 €/(m^3·d)

OPEX y CAPEX varían mucho con el caudal y la carga, pero MBR parecen competitivos para reutilización de aguas residuales urbanas a cualquier rango de caudales y más económicos a partir de 10.000 m^3/d

II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

La mayoría de estudios de costes de MBR son con membranas sumergidas y a caudales grandes

500 - 5000 m³/d MBR sumergidos vs membranas externas??*

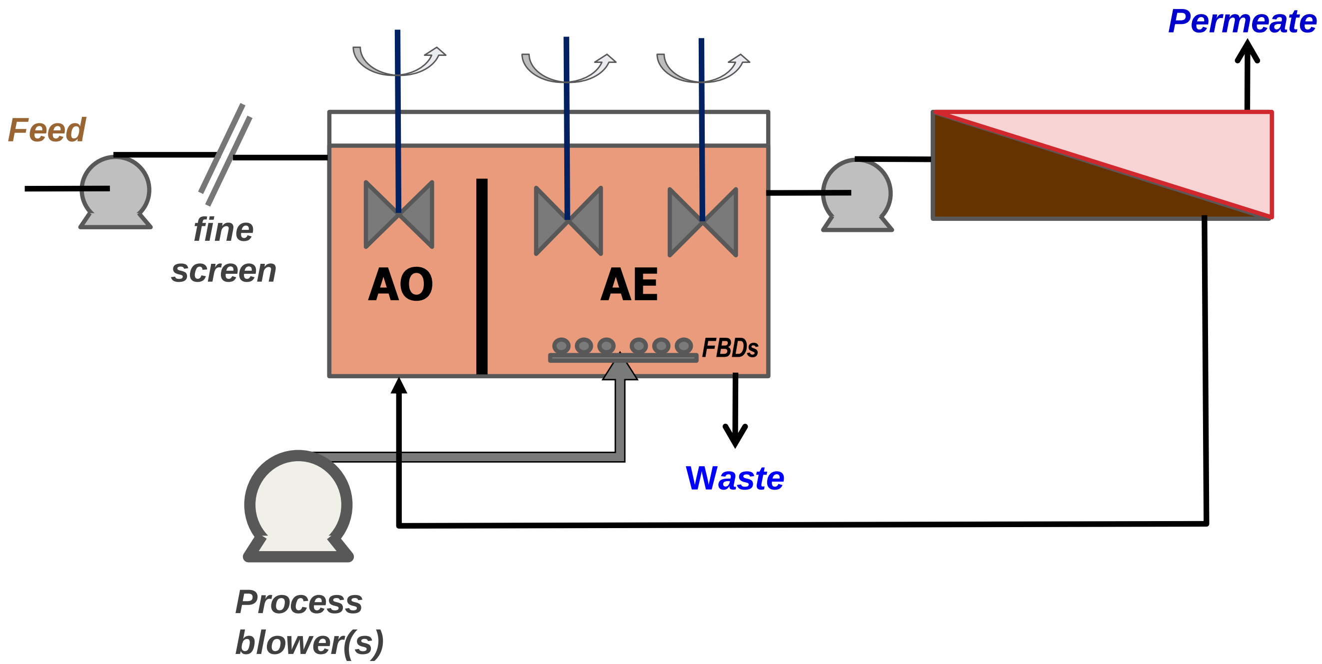


* WEFTEC 2018

II sumergidos vs externos (500-5000 m^3/d)

La mayoría de estudios de costes de MBR son con membranas sumergidas y a caudales grandes

500 - 5000 m^3/d MBR sumergidos vs membranas externas??



* WEFTEC 2018

II sumergidos vs externos (500-5000 m^3/d)

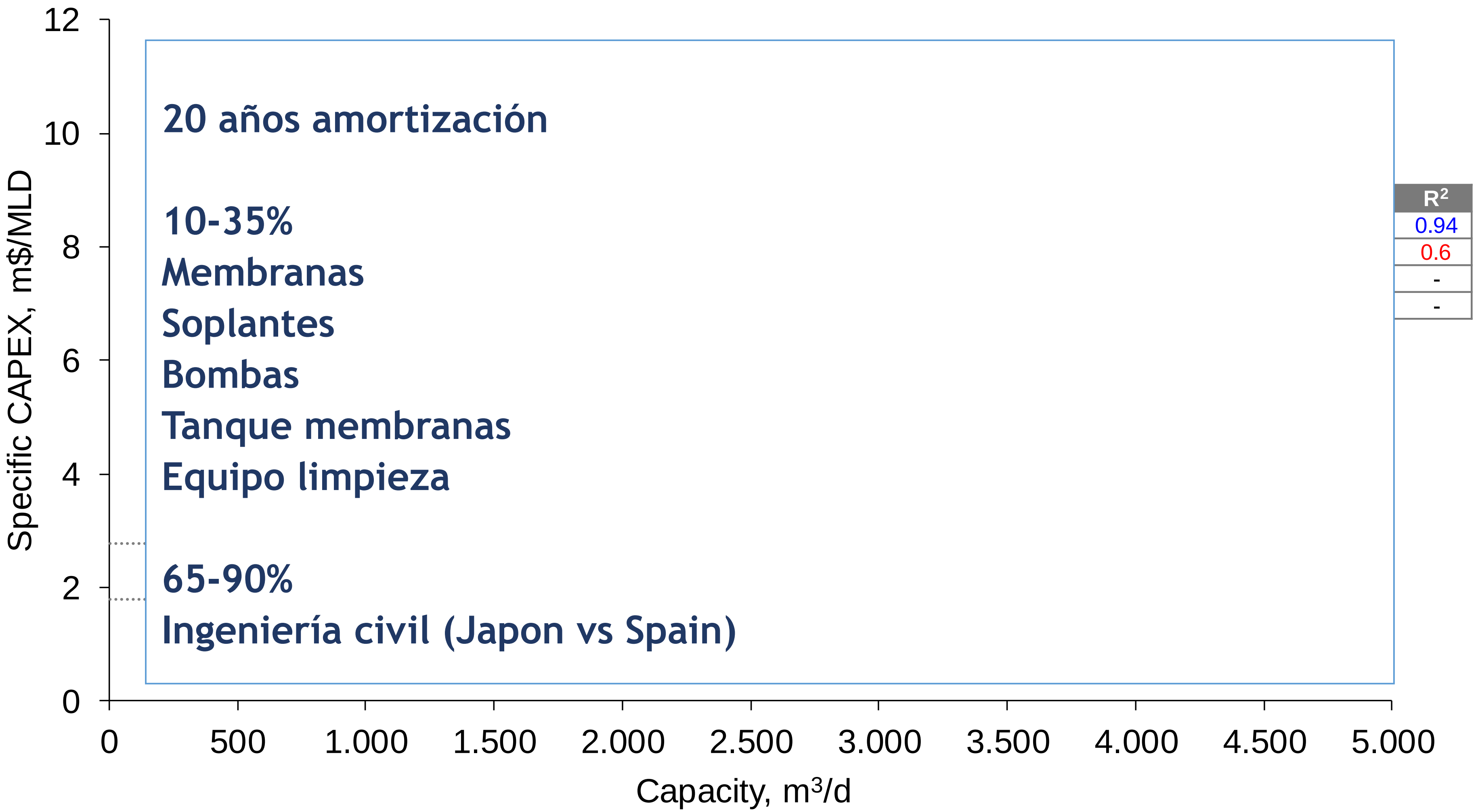
Table 1. Cost components and information sources

Parameter	Symbol	Refs	Notes/*units*
CAPEX			
Civil engineering	L_{Civ}	*A,C,I-K*	
Mechanical & electrical (M&E)	$L_{M\&E}$	*A,C,I-K*	
Equipment	L_{Eq}	*A,C,F,H-K*	
TOTAL CAPEX	$\boldsymbol{C}$	*A-F,H-K*	*per m^3/d*
OPEX			
Electrical	L_E	*G*	*per unit kWh energy*
Membrane replacement	L_M	*G*	*per m^2 membrane*
Chemicals consumption	L_C	*G,K*	*per kg chemical*
Waste disposal	L_W	*K*	*per m^3 permeate*
Labour	L_L	*L,M,N*	*staff effort per unit flow rate*
TOTAL OPEX	$\boldsymbol{O}$		

A Brepols et al, 2010; *B* Cashman & Mosely (2016); *C* DeCarolis et al, 2007; *D* Fleischer et al, 2010, *E* Iglesias et al, 2017 *F* Itokawa et al, 2014; *G* Judd, 2011, 2014; *H* Lo et al, 2016; *I* Verrecht et al, 2012; *J* Wozniak, 2012; *K* Young et al, 2013 2014; *L* Ovivo, 2018; *M* Cormier and Murphy, 2013; *N* Poltak, 2008

II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

CAPEX MBR sumergido



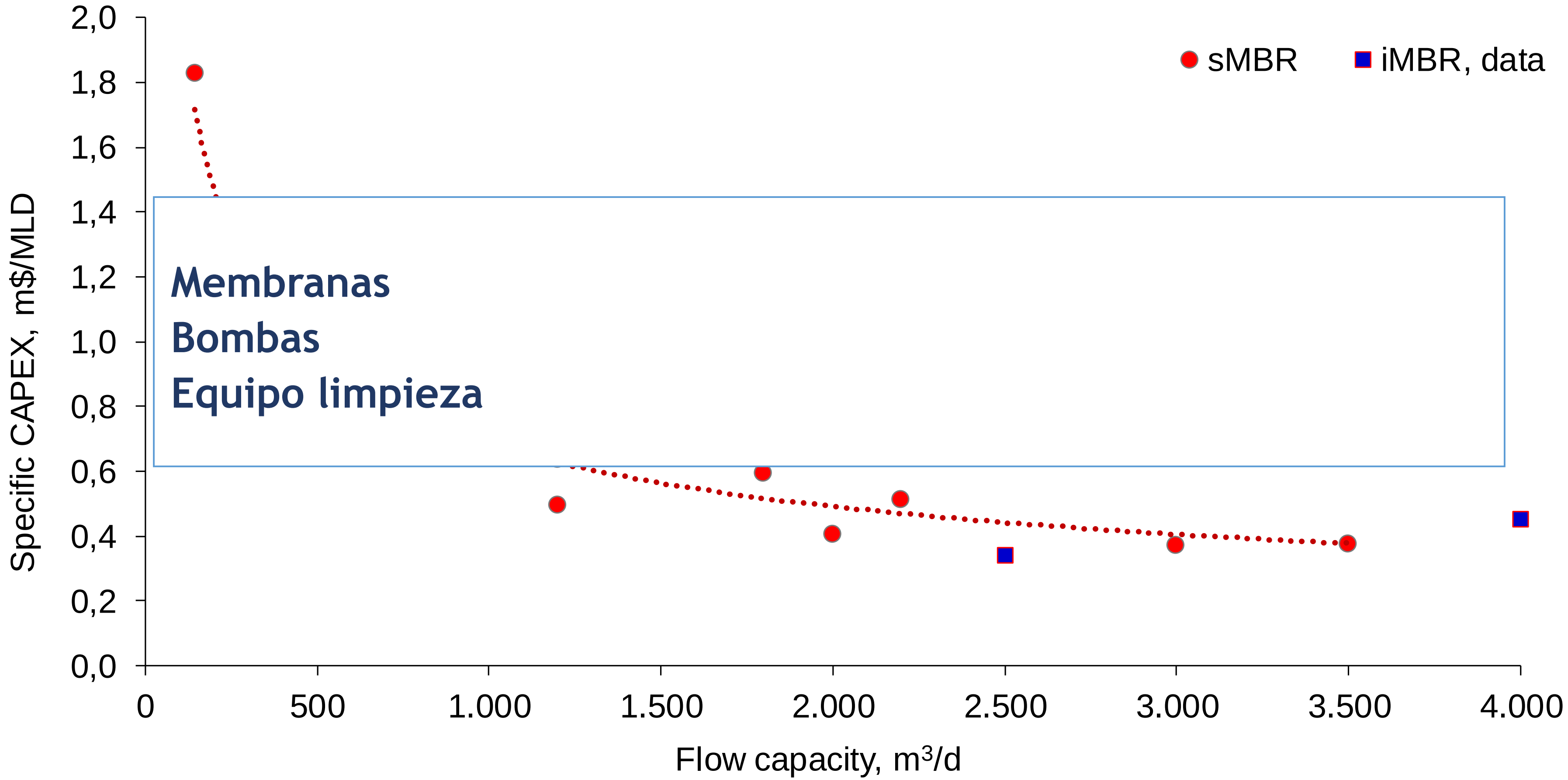
20 años amortización

10-35%
Membranas
Soplantes
Bombas
Tanque membranas
Equipo limpieza

65-90%
Ingeniería civil (Japon vs Spain)

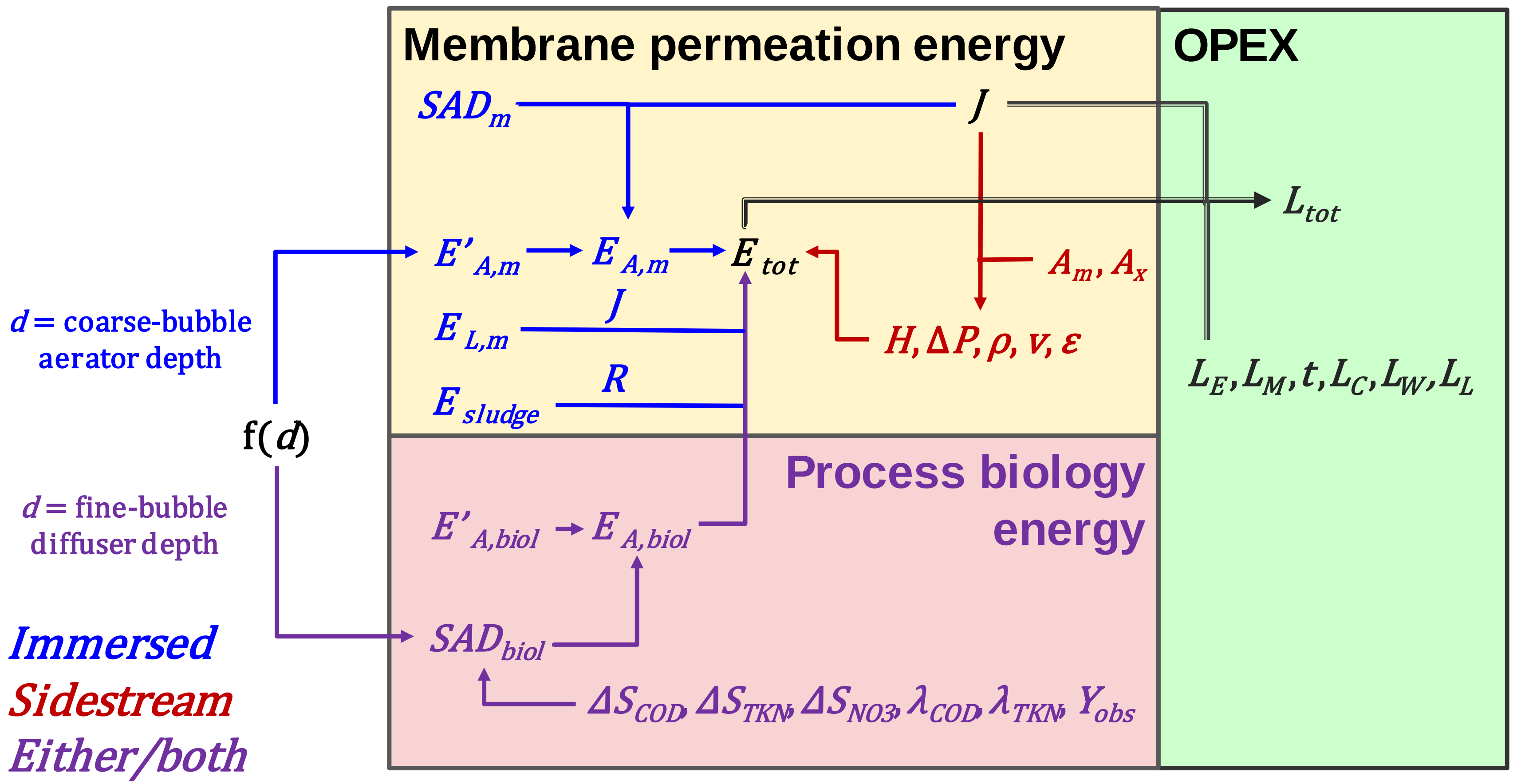
II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

CAPEX MBR externo



II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

Cálculo OPEX



II sumergidos vs externos (500-5000 m^3/d)

Institut Català de Recerca de l'Aigua

OPEX MBR sumergido

Config.	hm	$E'_{A,m}$ $kWh.Nm^{-3}$	SAD_m $Nm^3.m^{-2}.h^{-1}$		J_{net} $L.m^{-2}.h^{-1}$		$E_{A,m}$ $kWh.m^{-3}$	
		-	max	min	max[1]	min[2]	**max[2]**	**min[1]**
FS_{SD}	3	0.014	0.75	0.55	25	15	**0.70**	**0.31**
FS_{DD}	5	0.022	0.45	0.3	25	15	**0.66**	**0.26**
HF	3	0.014	0.4	0.2	25	15	**0.37**	**0.11**

FS_{SD} Flat sheet single-deck; FS_{DD} Flat sheet double-deck; HF Hollow fibre
[1]Associated with municipal iMBRs; [2]associated with industrial iMBRs.

< 0.5 $kWh·m^{-3}$

Config.	Δp	R		E_{perm}	E_L, $kWh.m^{-3}$		E_L+E_{perm}, $kWh.m^{-3}$	
	bar	max	min	$kWh.m^{-3}$	**max**	**min**	**max**	**min**
FS	0.1	5	3	**0.004**	**0.09**	**0.05**	**0.094**	**0.058**
HF	0.25	5	3	**0.011**	**0.09**	**0.05**	**0.101**	**0.065**

Pumping efficiency = 65%

Energy demand, sludge pumping = 0.018 kWh per m^3 of sludge pumped at negligible head loss

II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

OPEX MBR membranes externas

Process configuration	J_{net} $L.m^{-2}.h^{-1}$	Δp bar	v $m.s^{-1}$	E_m $kWh.m^{-3}$
Bombeo convenciona	150	3.5	4	**1.85**
Bombeo baja energia	50	1.5	1	**0.63**
- Air-lift, bombeo lodo	50	0.25	0.45	0.225
- Air-lift, bombeo aire			0.22	0.206
Air-lift, total	-	-	-	**0.43**

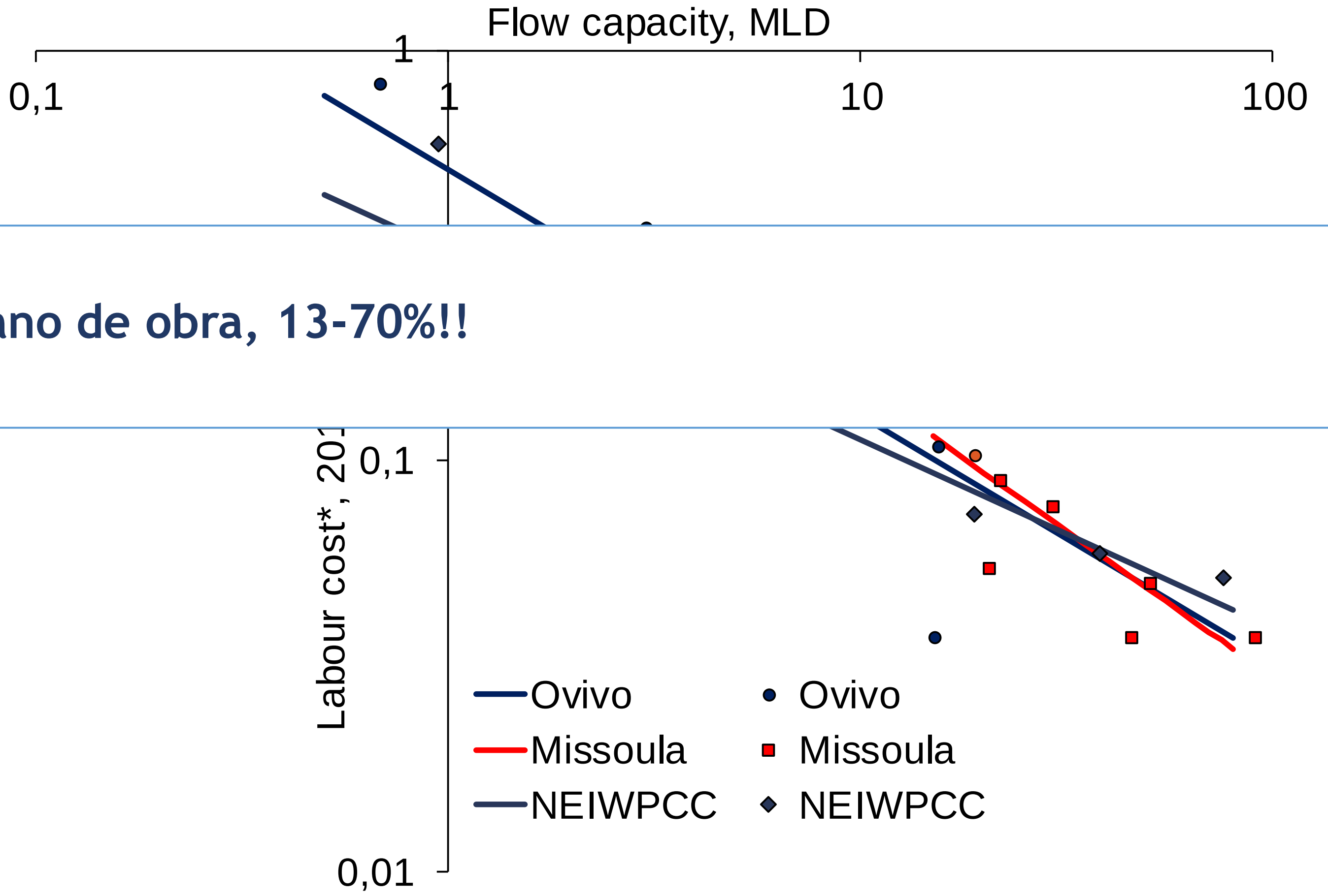
Tres configuraciones de membrana tubular:

- Bombeo convencional a ~3 m.s-1 flujo tangencial
- Bombeo baja energia a ~1 m.s-1 flujo tangencial
- Air-lift – bombeo y aireación combinados en membrana vertical

≥ 0.5 kWh·m^{-3}

Il sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

OPEX mano de obra (zona)



Mano de obra, 13-70%!!

**based on \$35.h^{-1}, incl. overhead*

II sumergidos vs externos (500-5000 m^3/d)

OPEX otras partidas

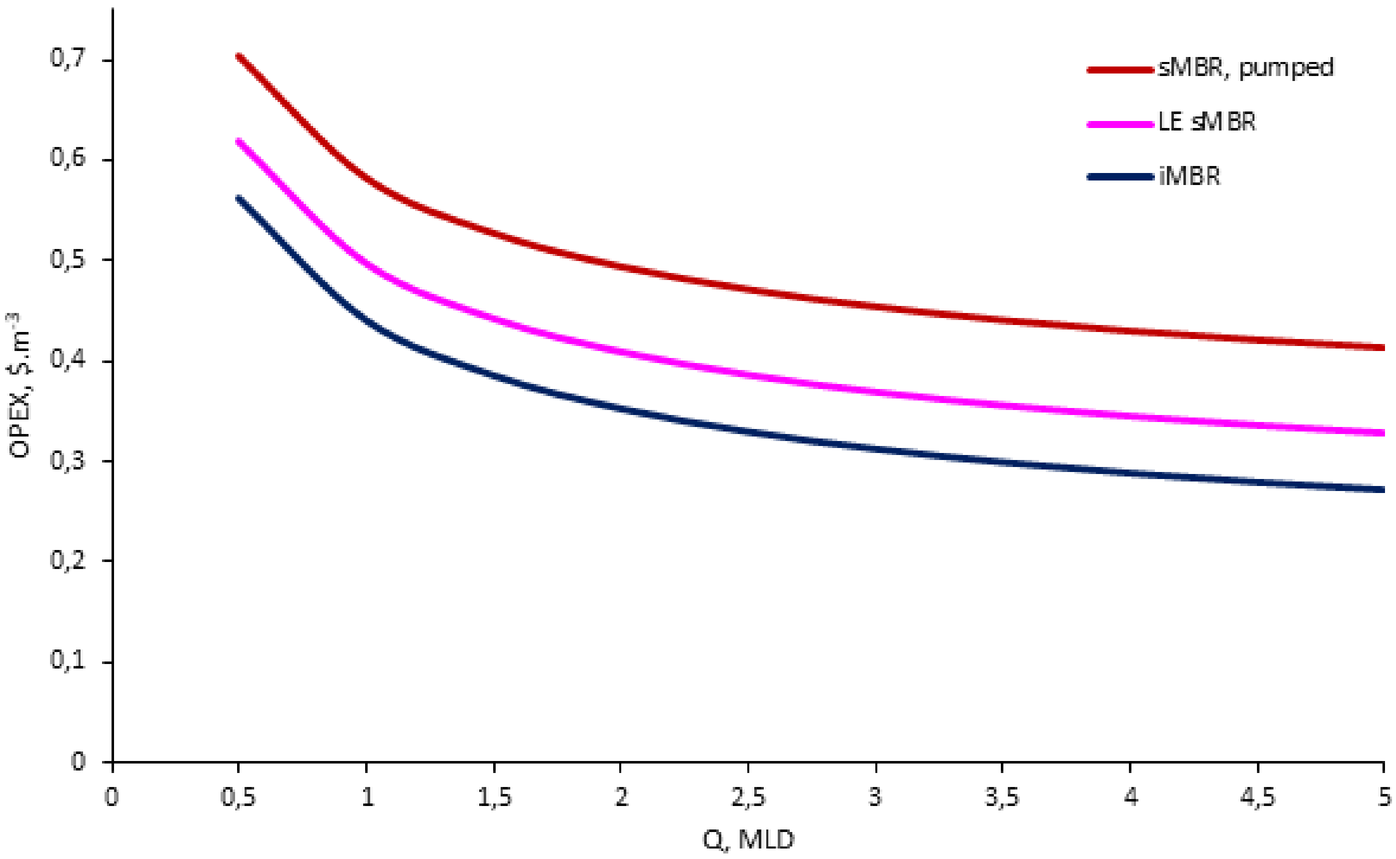
Aireación proceso biológico (función de la carga y SSLM) comparable (unos 0.5 kWh/m^3). Se han tenido en cuenta los distintos SSLM HF vs FS y MT

Costes de la gestión de lodos (100$ USA – 250$ EU Tn lodo seco, 8-16%) y reactivos químicos (15%) similares

Mantenimiento: substitución de las membranas ~10 años (50 HF vs 250 MT €/m^2)

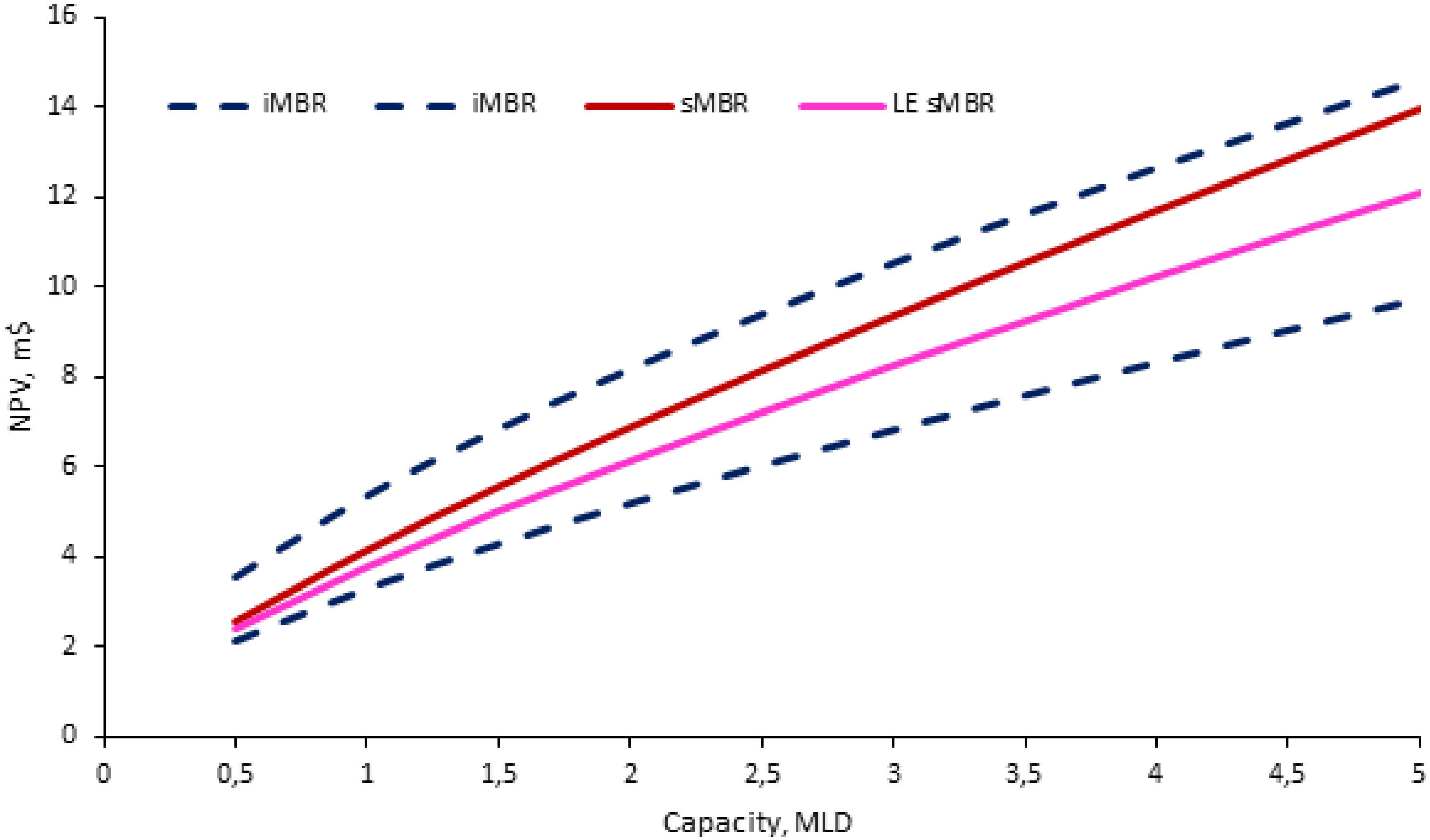
II sumergidos vs externos (500-5000 m^3/d)

OPEX comparativo



II sumergidos vs externos (500-5000 m³/d)

Costes totales comparativo



Conclusiones

II

Se han analizado costes de MBR sumergidos y externos para rangos de caudales entre 500 y 5000 m^3/d

Datos reales de MBR implementados para CAPEX. Faltan datos más precisos

Datos calculados/estimados para OPEX. Sensibilidad a los costes de mano de obra

Costes comparables para ambas configuraciones a estos rangos. MBR sumergidos (rango alto) favorable a partir de 7MLD vs MBR externo y a partir de 24 MLD para externo air lift

La clave de la viabilidad económica es la robustez del proceso (menor mano de obra)

I y II

España es pionera en regeneración de aguas residuales, y dispone de instalaciones y datos contrastados.

Costes reportados ligeramente inferiores a los valores de la literatura.


CENTRO DE ESTETICA MBR
MBR
CENTRO DE ESTETICA
Lipomassage

Análisis comparativo de CAPEX y OPEX para la tecnología BRM

irodriguezroda@icra.cat

Muchas gracias

lequia UdG ECO-INNOVATIVE WATER SOLUTIONS

25 25

ICRA Institut Català de Recerca de l'Aigua

Cranfield Water

Resultados

Institut Català
de Recerca de l'Aigua

Table 1. Membrane process parameters

Parameter	Symbol	Notes	Base value(s)
Sidestream			
Membrane surface area, m^2	A		
Open x-sectional area, m^2	A_x	$\pi d^2/4$, d being tube diameter	d = 8 mm
Static head, m	H		2
Transmembrane or trans-module pressure, kPa	Δp		100-350
Acceleration due to gravity, $m.s^{-2}$	g		9.81
Liquid (or sludge) density, $kg.m^{-3}$	ρ		1000
Mean crossflow velocity, $m.s^{-1}$	v	Decreases with increasing Θ	1-4
Immersed			
Membrane-bio tank recycle ratio, -	R_i		5
SAD, membrane scouring, $Nm^3.m^{-2}.h^{-1}$	$SAD_{m,}$	Air flow rate/membrane area	0.25-0.55
SED, membrane permeation, $kWh.m^{-3}$	$E_{L,m}$	Pump power/permeate flow rate	0.008-0.016
SED, sludge pumping, $kWh.m^{-3}$	$E_{L,sludge}$	Pump power/sludge flow rate	$0.016.R_i$
SED, membrane aeration (air), $kWh.Nm^{-3}$	$E'_{A,m}$	Blower power/air flow rate	
SED, membrane aeration (permeate), $kWh.m^{-3}$	$E_{A,m}$	Blower power/permeate flow rate	

General	**Symbol(s)**	**Base value(s)**
Permeate net flux, L or $m^3.m^{-2}.h^{-1}$	J	15 (iMBR), 150 (sMBR)
Membrane life, y	t	8 (sMBR), 10 (iMBR)
Total electrical energy efficiency, -	ε_{tot}	56%
MLSS concn., process (membrane) tank, $kg.m^{-3}$	X (X_m)	8 iMBR - 16 sMBR (10 – 12 iMBR)
Cost of electricity, membrane, Chemicals, waste disposal, labour per unit permeate volume, $\$.m^{-3}$	L_E, L_M, L_C, L_W, L_L	-

Resultados

ICRA
Institut Català de Recerca de l'Aigua

Table 1. Process biology parameters (assuming MLE process denitrification)

Parameter	**Symbol**	**Base value(s)**
SED, biological aeration, $kWh.m^{-3}$	$E_{A,bio}$	
Oxygen content of air, %	C'_A	21%
Mass consumption of oxygen, $g.m^{-3}$	D_{O2}	
Depth of aerator in tank, m	h	5
Change in COD, TKN, NO_3^- concs., $g.m^{-3}$	$\Delta S_{COD}, \Delta S_{TKN}, \Delta S_{Nitrate}$	500, 40, 0
Observed sludge yield, $kgSS.kgCOD^{-1}$	Y_{obs}	0.35
Mass transfer correction factors	β, γ	0.95, 0.89 (at T = 15°C)
Biomass COD, TKN content, $kg.kgSS^{-1}$	$\lambda_{COD}, \lambda_{TKN}$	1.1, 0.095
Oxyge transfer efficiency per unit depth, m^{-1}	OTE	0.045 (iMBR), 0.055 (sMBR)
Air density, $g.m^{-3}$	ρ_A	1.23

Resultados

OPEX y CAPEX MBR sumergidos