

Informe final

Resultats obtinguts amb la planta pilot MBR+RO situada a l'EDAR de Castell-Platja d'Aro



Gener 2015

Índex de l'informe

1.	Projectes que han permès finançar la recerca amb planta pilot:.....	1
2.	Planta pilot UCT-MBR+RO situada a l'EDAR de Castell-Platja d'Aro (CPA)	2
3.	Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 1 (2007-2009):	5
3.1.	Modelització i seguiment de la planta pilot per l'eliminació biològica de C, N i P	5
3.2.	Model per a l'estimació de la distribució de la concentració de sòlids d'un MBR	7
4.	Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 2 (2010-2012):	9
4.1.	Seguiment en línia de l'embrutiment.	9
4.2.	Estudi comparatiu entre l'eliminació d'indicadors microbiològics i l'embrutiment d'una membrana de microfiltració.....	10
4.3.	Caracterització de l'embrutiment d'una membrana d'OI en un sistema integrat MBR/RO	11
5.	Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 3 (2013-2015):	15
5.1.	Optimització de l'aeració de neteja de les membranes	15
5.2.	Modelització de l'embrutiment i selecció de la millor estratègia d'operació d'un MBR	16
5.3.	Estudi sobre l'optimització integrada de l'aeració (biològica i de neteja) d'un MBR	17
5.4.	DSS per la gestió i control de sistemes integrat de membranes	19
6.	Annex	21
6.1.	Tesis publicades:	21
6.2.	Publicacions en revistes:	21
6.3.	Presentacions a congressos:.....	22

1. Projectes que han permès finançar la recerca amb planta pilot:

El Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA) de la Universitat de Girona conjuntament amb l'Institut Català en Recerca de l'Aigua (ICRA) va rebre el finançament per dur a terme diferents tasques relacionades amb l'operació de la planta pilot UCT-MBR+RO. El finançament es detalla a la següent taula on es descriuen els projectes involucrats:

Taula 1: Projecte involucrats en l'estudi de la planta pilot

Projecte	Codi projecte	Organisme finançador	Període	IP projecte	Finançament (€)
COLMATAR	DPI2006-15707-C01	MEC	2007-2009	Ignasi Rodríguez-Roda (UdG)	105.270
MMA	018/SGTB/2007/3.1	MMA	2008-2009	Joan Canals (GS Inima) Ignasi Rodríguez-Roda (UdG)	301.606
COLMATAR +	CTM2009-14742-C02-01	MCT	2009-2011	Joaquim Comas (UdG)	198.924
SANITAS	PITN-GA-2011-289193	FP7-ITN	2011-2015	Joaquim Comas (UdG)	251.079
WATERFATE	CTM2012-38314-C02-01	MINECO	2012-2015	Ignasi Rodríguez-Roda (ICRA)	127.530

MEC: Ministeri d'Educació i Ciència; MMA: Ministeri de Medi Ambient; MCT: Ministeri de Ciència i Tecnologia
MINECO: Ministeri d'Economia i competitivitat

Aquests projectes tenien com a objectius:

- Avançar en el coneixement i les tècniques per entendre millor l'operació dels MBRs (acrònim anglès per bioreactor de membranes).
- Desenvolupament d'eines per la millora del seguiment i control del MBR, que s'integrin com a nous mòduls del sistema d'ajuda a la decisió (SAD) pel control integrat de MBRs.
- Aplicar, optimitzar i validar els diferents mòduls del SAD en un pilot semi-industrial i en una EDAR real.
- Avaluar els sistemes de membrana (MBR/NF/RO) per l'eliminació de contaminants emergents
- Desenvolupar nous algorismes de control per sistemes integrats de membrana (MBR+RO/NF)

La recerca s'ha realitzat a diferents escales. A escala laboratori, situades als tallers i laboratoris que el LEQUIA disposa al Parc Científic i tecnològic de la UdG, als espais de la facultat de ciències de la UdG i a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua. Tan mateix altres projectes han permès treballar amb MBR a escala real. Durant els 8 anys de recerca a planta pilot de Castell d'Aro s'ha disposat de la col·laboració de diverses empreses, enginyeries i administracions del camp mediambiental, especialment de la gestió d'aigües residuals (ASEPMA, Consorci de la Costa Brava, DAM Aguas, Depuradores d'Osona, EMACB SA, GS Inima Environment, S.A., TELWESA i SISLtech).

2. Planta pilot UCT-MBR+RO situada a l'EDAR de Castell-Platja d'Aro (CPA)

La planta pilot té una configuració University of Cape Town (UCT) per l'eliminació biològica de C, N i P, i posteriorment té una filtració amb membranes per la obtenció de l'aigua clarificada. El 2009/2010 es va instal·lar una unitat de osmosi inversa, posterior al tanç de permeat, per poder realitzar estudis integrats de processos de membrana. A continuació i mitjançant la Figura 1 es pot visualitzar un esquema de la planta pilot.

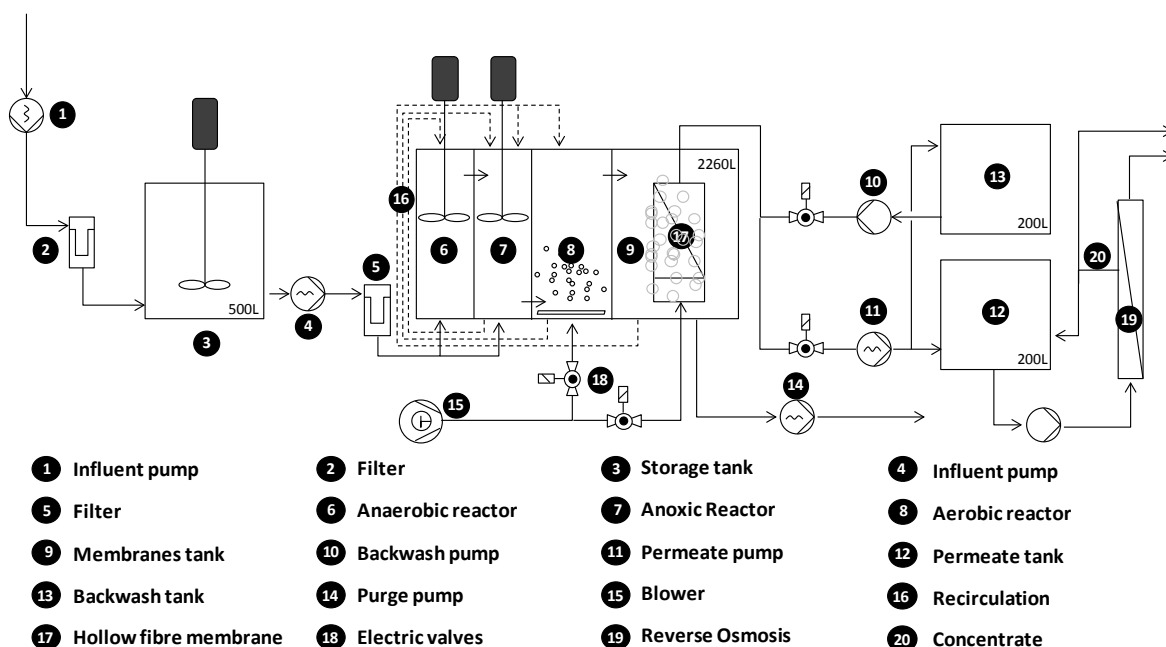


Figura 1: Diagrama esquemàtic de la planta pilot UCT-MBR+RO localitzada a l'EDAR de CPA

La planta pilot està equipada amb un pretractament (decantador i filtres) per evitar l'entrada de partícules grans. El bioreactor de membranes (MBR) té un volum total de 2.26 m³ i disposa d'un compartiment anaeròbic (14% del volum total), un anòxic (14%), un aeròbic (23%) que està succeït per un tanç de membranes (49%), actualment amb un mòdul de membrana plana submergida de 8m² de superfície de filtració (LF-10 Kubota Corporation) amb una distribució de la mida del porus de 0,4 µm, encara que el primer any també es van usar les membranes MICROZA de Asahi Kasei. Mitjançant la Taula 2 es poden visualitzar les especificacions tècniques de la microfiltració i de les membranes de osmosi.

Taula 2A. Especificacions tècniques de les membranes instal·lades al MBR

Material de la Membrana	Mida de porus, µm	Mòdul no.	Mides fibres (LxWxH)	Mides del mòdul (LxWxH)	Superfície total m ²	Número total de mòduls	Membranes per mòdul	Flux de treball		TMP bar	Permeabilitat LMH/bar
								Max	Mitjà		
								LMH	LMH		
Chloride-polyethylene	0.4	LF-10	6mm 500mm 1000mm	230mm 544mm 1500mm	8	1	10	30	22.5	0.04-0.18	600-200

Taula 2B. Especificacions tècniques de les membranes Osmosi inversa

Fabricant	Ropur	Hydranautics
Tipus de Membrana	Cross-linked Aromatic Polyamide	Composite Polyamide
Model	TR70-4021-HF 4"21"	ESPA2-4040 4"40"
Superfície total, m2	-	7.90
Configuració de membrana	Spiral wound	Spiral wound
No. elements/vessel	2	1
Conversió (%)	46	45
Rebuig de salts	99.4%a	99.6%b
Cabal de treball mitjà, m3/d	5.4	7.2
Recuperació (%)	40 - 60	

3. Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 1 (2007-2009):

3.1. Modelització i seguiment de la planta pilot per l'eliminació biològica de C, N i P

Durant els 3 primers anys emmarcats en els projectes COLMATAR i MMA, es va modelitzar la planta pilot per optimitzar-la el màxim possible i poder predir el gradient de la concentració de sòlids o per observar els rendiments d'eliminació biològica de nutrients (DQO, Figura 2 i Nitrogen Figura 3). Així com també les velocitats de captació i alliberació de fosfat via PAOs (anaerobic+aeròbic) i via DPAOs (anòxic+aeròbic) (Taula 3).

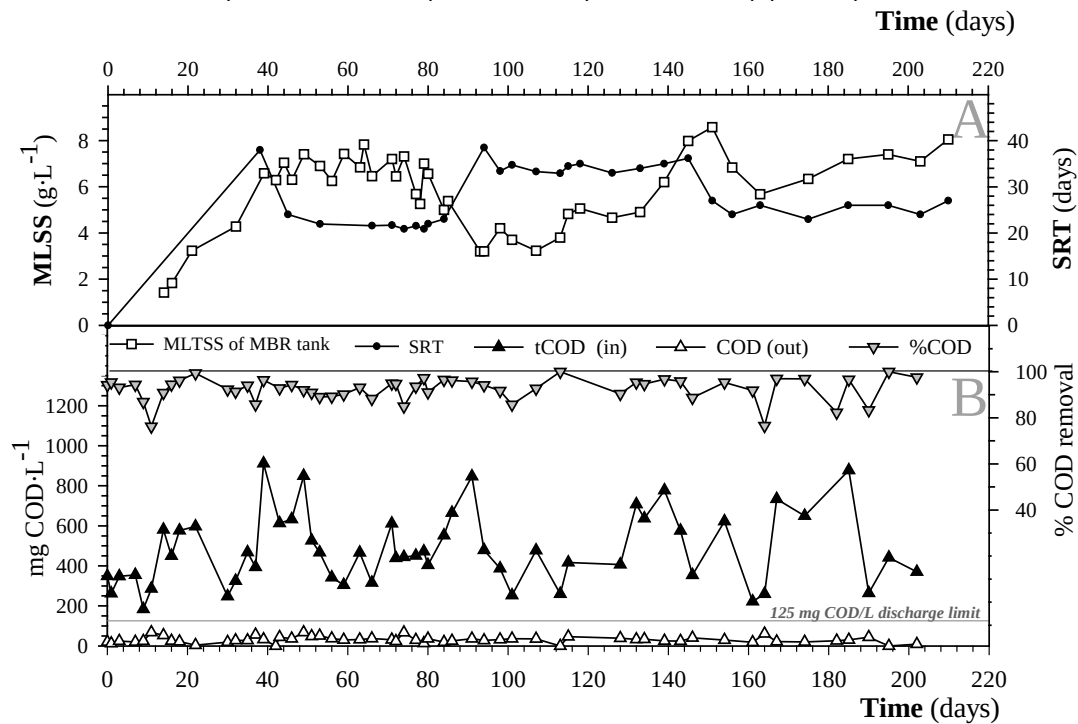


Figura 2. Seguiment de la concentració de sòlids i TRC (Figura 2-A) i dels rendiments d'eliminació de la matèria orgànica (Figura 2-B)

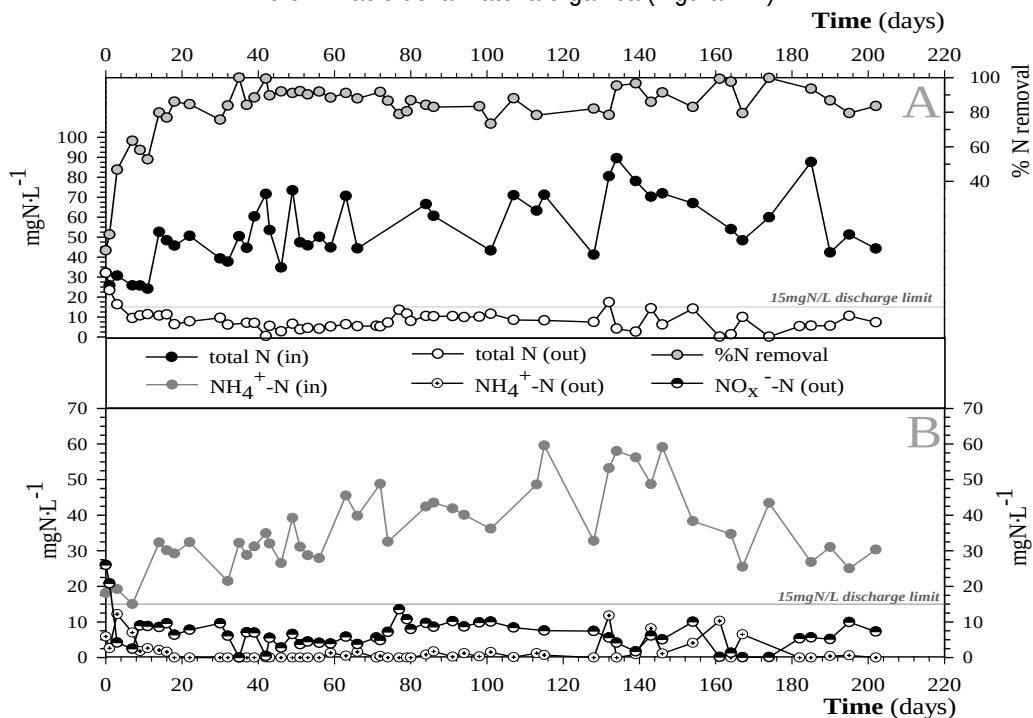


Figura 3. Seguiment del rendiment d'eliminació de N(Figura 3-A) i de la concentració de les espècies de N (Figura 3-B).

Com s'observa a la Figura 3, l'evolució en el rendiment d'eliminació de les espècies de N va anar augmentant progressivament aconseguint rendiments del 93% com a valor mitjà en els darrers 100 dies de procés.

Taula 3. Estudi comparatiu de les velocitats de captació i alliberació de fòsfor en l'operació del MBR via PAOs i DPAOs

	Parametre	Unitats	Dia 0	Dia 37	Dia 65	Dia 150
Test PAO	P _{rel.} vel.	mg P·g ⁻¹ VSS·h ⁻¹	2.39	4.37	4.94	5.01
	P _{upt.} vel.	mg P·g ⁻¹ VSS·h ⁻¹	3.62	5.76	11.75	13.60
Test DPAO	P _{rel.} vel.	mg P·g ⁻¹ VSS·h ⁻¹	2.05	3.97	4.17	4.09
	P _{upt.} vel.	mg P·g ⁻¹ VSS·h ⁻¹	1.54	2.09	4.78	5.08
% DPAO	PUR ratio	-	0.42	0.45	0.40	0.37

P_{rel.}: alliberació de fòsfor P_{upt.}: captació de fòsfor PUR: velocitat de captació de fòsfor

Pel que fa a l'evolució de la capacitat d'eliminació del P biològicament, es va poder observar com les capacitats de captació del P van augmentar més de 3,5 vegades les velocitats que hi havia amb el fang original. Per tant es va concloure que les condicions d'operació implementades (Taula 4) a la planta pilot, trobades prèviament mitjançant la modelització de la mateixa, van permetre optimitzar-la, ajustant tant el D.O al reactor aeròbi, com les recirculacions internes necessàries per mantenir bons rendiments d'eliminació.

Taula 4. Operational conditions of the MBR pilot plant during the experimental period.

Parameter	Units	Experimental period
Operational period	days	210
HRT	hours	14-18
LMH	L·m ⁻² ·h ⁻¹	10-16
Anaerobic recirculation	% of the inflow	129
Anoxic recirculation	% of the inflow	92
External recycle	% of the inflow	136
Wastage pump	% of the inflow	1.8
DO aerobic set point	mg O ₂ ·L ⁻¹	1.5
pH		7.3 ± 0.7
Temperature	°C	16.4 ± 1.6

Els rendiments d'eliminació de nutrients obtinguts en aquest estudi es poden veure resumits a la següent taula 5:

Taule 5. Rendiment d'eliminació de nutrients (C, N i P) amb la planta pilot UCT-MBR

Paràmetre	Unitats	Percentatge d'eliminació
Eliminació de matèria orgànica	% de DQO	94.2 ± 2.4%
Eliminació d'amoni	% de N-NH ₄ ⁺	98.2 ± 3.3%
Eliminació de Nitrogen	% de N	80 ± 12%
Eliminació de fòsfat	% P-PO ₄ ³⁻	84 ± 7.3%

3.2. Model per a l'estimació de la distribució de la concentració de sòlids d'un MBR

Un estudi conjuntament amb el *Centro de Estudios y Investigaciones Técnicas* (CEIT) de la Universitat de Navarra va permetre realitzar un model per predir l'evolució de les concentracions de sòlids al llarg d'un procés biològic com és el de la planta pilot. Amb diferents concentracions de sòlids en cada un dels tancs.

Mitjançant la Figura 4 es pot observar l'estudi de validació, on es comparen els valors predits pel model i els observats experimentalment. Mitjançant un model hidràulic (Figura 5) es va poder validar l'eina per predir l'evolució dels MLSS del reactor en base a les diferents variables que estan relacionades.

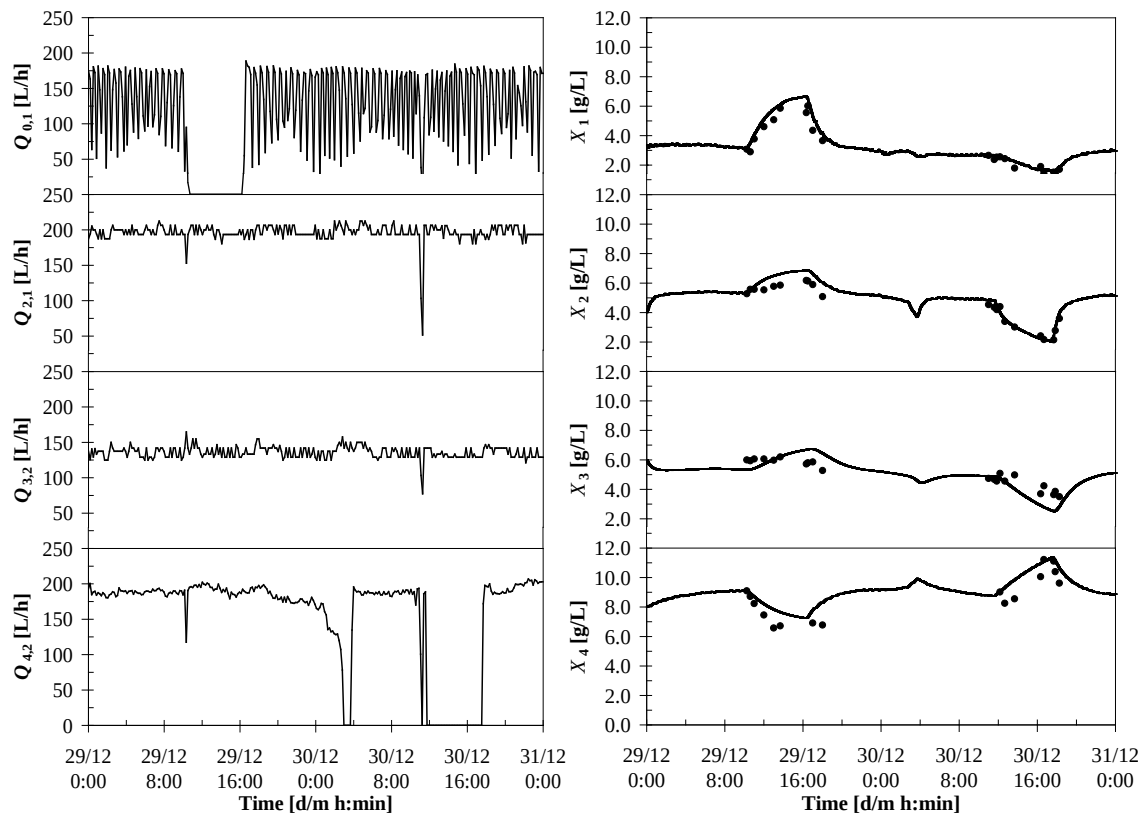


Figure 4. Valors en línia de cabals (Figura 5-A) i dels valors estimats i mesurats de la concentració de sòlids (Figura 5-B).

Mitjançant el diagrama de la Figura 5 es pot veure el model hidràulic usat per l'estimació de sòlids en cada un dels tancs de la planta pilot.

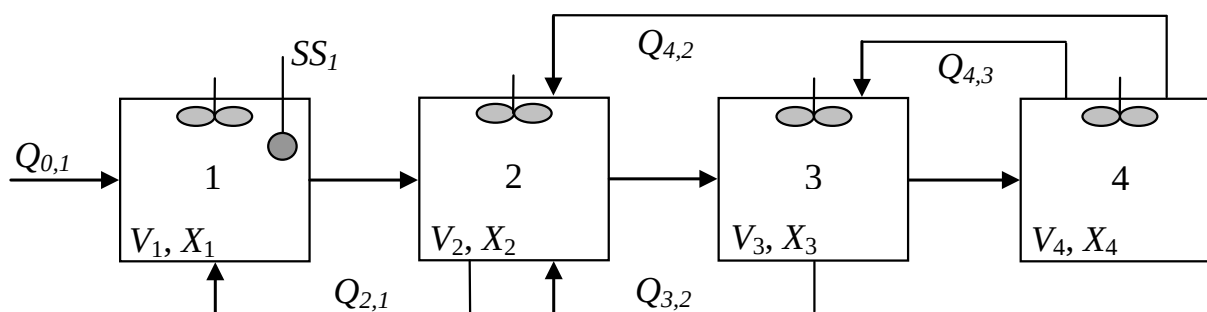


Figure 5. Model hidràulic simplificat de la planta MBR per l'estimació i verificació de l'observador de sòlids.

Conclusions Fase 1:

- La configuració UCT i amb la tecnologia MBR va permetre implementar unes condicions d'operació diferents a les dels sistemes convencionals.
- El modelat de la planta pilot va permetre optimitzar el procés biològic, aconseguint rendiments molt elevats i va permetre l'enriquiment de la biomassa responsable de l'eliminació biològica de P.
- Eines de modelatge van permetre desenvolupar una eina predictiva del comportament de la concentració de la biomassa sense necessitat de monitoritzar tots els compartiments

Bibliografia relacionada en aquesta fase 1:

- Beltrán, S., Irizar, I., Monclús, H., Rodríguez-Roda, I., and Ayesa, E. (2009). On-line estimation of suspended solids in biological reactors of WWTPs using a Kalman observer. *Water Science and Technology*. 60(3): 567-574.
- Monclús, H., Sipma, J., Ferrero, G., Comas, J., and Rodríguez-Roda, I. (2010). Optimization of biological nutrient removal in a pilot plant UCT-MBR treating municipal wastewater during start-up. *Desalination*. 250(2): 592-597.
- Monclús, H., Sipma, J., Ferrero, G., Rodríguez-Roda, I., and Comas, J. (2010). Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal. *Bioresource Technology*. 101(11): 3984-3991.

4. Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 2 (2010-2012):

4.1. Seguiment en línia de l'embrutiment.

Posteriorment, en la segona fase es va procedir a desenvolupar eines pel seguiment i monitorització de l'estat de la membrana de filtració per poder correlacionar-se amb d'altres indicadors de qualitat d'aigua de sortida. Per aquests estudis es van usar diferents plantes pilot. La situada a CPA i la planta a escala laboratori que el LEQUIA té a les seves instal·lacions. També es van realitzar diferents estudis per poder aconseguir correlacionar el tipus d'embrutiment que pateix una membrana de RO tractant l'efluent d'un MBR, així com també estudis per poder avaluar la capacitat d'un MBR+RO per l'eliminació d'indicadors microbiològics.

Pel que fa al seguiment de l'embrutiment es va implementar un indicador més sensible i ràpid per quantificar i observar l'embrutiment d'una membrana de filtració. Aquest indicador monitoritza en temps real, el pendent que presenta l'embrutiment de la membrana (via TMP o via permeabilitat) de cada un dels cicles de filtració (9 minuts) (Figura 6). Aquesta velocitat d'embrutiment aporta informació sobre quina grau d'embrutiment pot patir la membrana al llarg del temps.

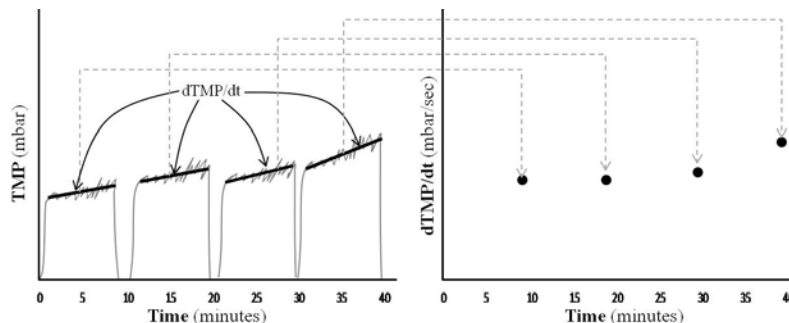


Figura 6. Diagrama esquemàtic del indicador d'embrutiment

El seguiment experimental van consistir en provocar embrutiment forçat a nivell superficial. Aquest seguiment va permetre observar com la variable de la velocitat d'embrutiment (FR, *fouling rate*) era més sensible que no pas la variable de la pressió trans-membrana.

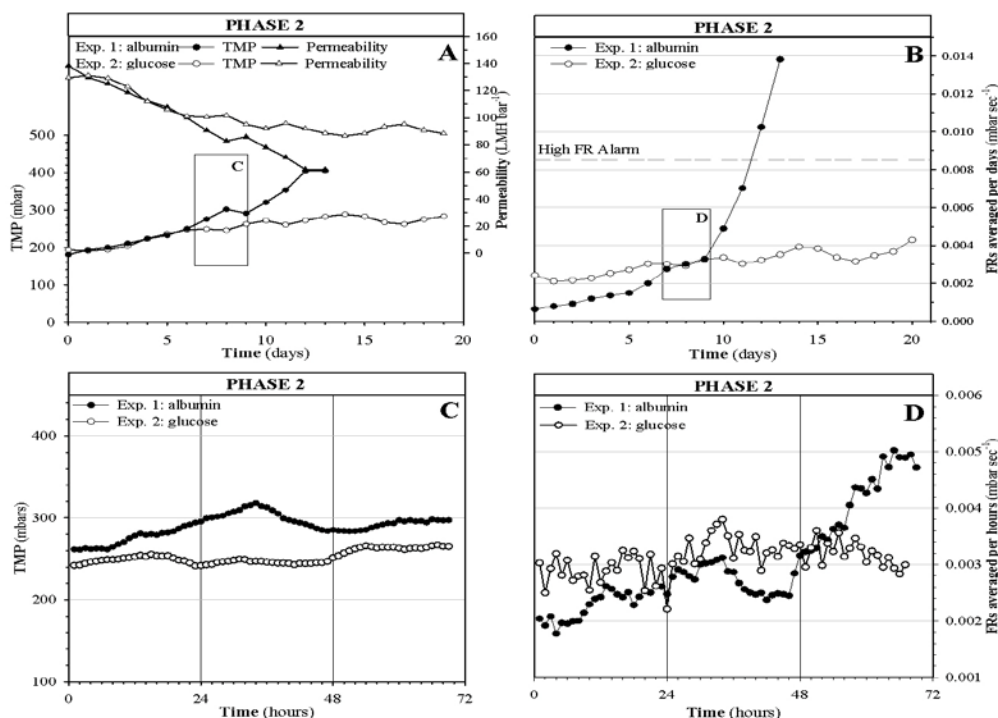


Figura 7. A) Permeabilitat diària B) Pendent de la TMP de cada cycle (valors diaris)
C) TMP horària D) Pendent de la TMP de cada cycle (valors horaris)

Amb aquest indicador més sensible i menys intrusiu en la filtració, com poden ser el test d'embrutiment (step-flux test) permeten avaluar l'estat de filtració sense la necessitat d'aturar el procés ni realitzar rentats químics i/o físics després de la seva avaluació.

4.2. Estudi comparatiu entre l'eliminació d'indicadors microbiològics i l'embrutiment d'una membrana de microfiltració

Un altre estudi que es va realitzar va ser el de correlacionar la qualitat de l'aigua de sortida, avaluat mitjançant la capacitat de retenció d'indicadors virals i microbiològics, amb l'estat de la membrana. En aquest estudi es va dividir en dos experiments. El primer monitoritzava l'estat d'embrutiment de la membrana al llarg de temps durant 3 mesos. I el segon experiment monitoritzava durant un cycle de filtració (9 minuts) amb la membrana completament neta i amb la membrana bruta.

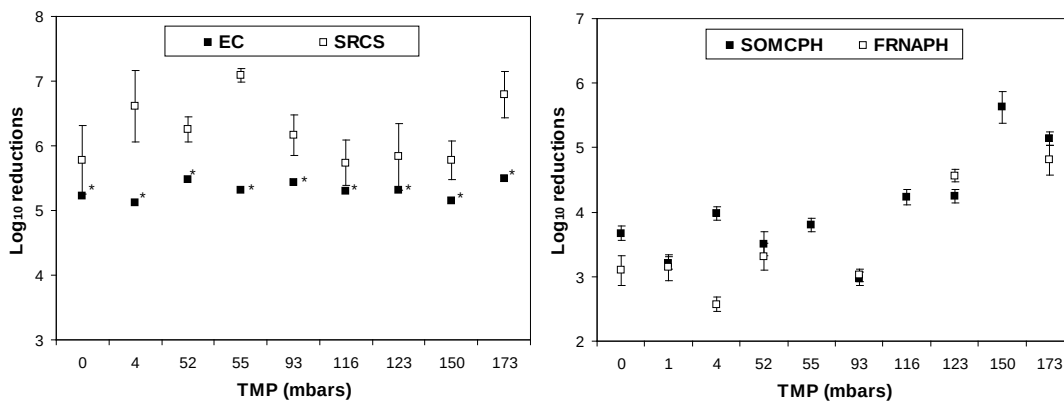


Figura 8. A) Reducció logarítmica d'indicadors bacterians en base a la TMP
B) Reducció logarítmica d'indicadors virals en base a la TMP

L'objectiu del primer experiment era poder observar com augmentaven els rendiments d'eliminació bacteriana i viral en base al grau d'embrutiment de la membrana. En aquest primer experiment no es va rentar químicament la membrana i tan sols s'hi aplicaven les etapes de relaxació (aeració). La capacitat de retenció és molt elevada pel que fa als indicadors bacterians (Figura 8-A), en canvi es va poder observar com la capacitat d'eliminar indicadors virals (Figura 8-B) estava directament relacionada amb l'embrutiment de la membrana. Com major TMP, per tant, com més embrutiment tenia la membrana, associats a la mida del porus, major capacitat d'eliminació d'indicadors virals.

El segon experiment va consistir en avaluar la capacitat de retenció que tenia la membrana dins d'un mateix cycle de treball (al minut 1 i al minut 9).

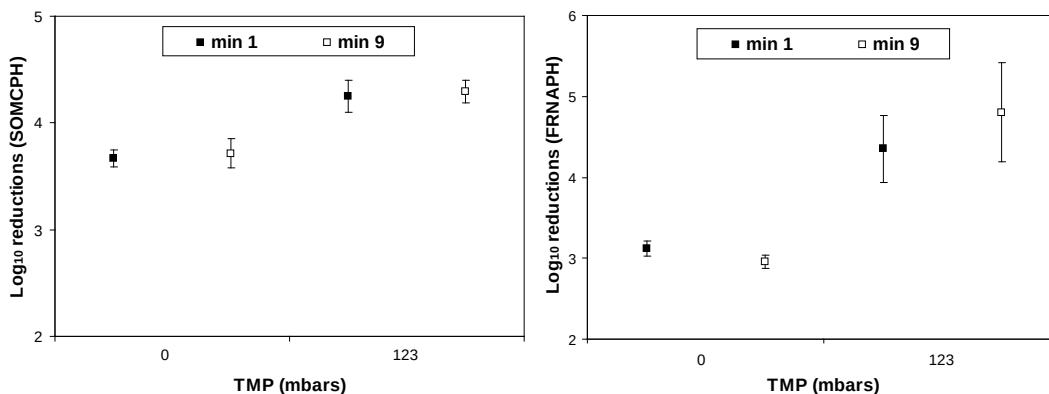


Figura 9. Reducció logarítmica d'indicadors virals al llarg d'un cycle de filtració de 9 minuts

Es va observar que com més bruta estigués la membrana més capacitat de retenció pel que fa a indicadors bacterians i molt més pel que fa als virals. Treballant a TMP>120mbars els rendiments son 10 vegades superiors que amb una membrana neta i aquest rendiment també es manté al llarg del temps de filtració de cada un dels cicles de treball. Aquest estudi ha encoratjat d'altres estudis relacionats amb els indicadors de FR i amb el poder de retenció de la membrana. Es per això que s'estan planificant d'altres estudis per correlacionar els indicadors d'embrutiment més sensibles amb la capacitat de retenció de virus i/o bacteris.

4.3. Caracterització de l'embrutiment d'una membrana d'OI en un sistema integrat MBR/RO

Paral·lelament es va realitzar un estudi centrat en la unitat de RO per avaluar els principals contaminants trobats a la membrana de RO. Aquest estudi va permetre poder caracteritzar el residu que es va trobar a la membrana de RO que tractava l'efluent del MBR.

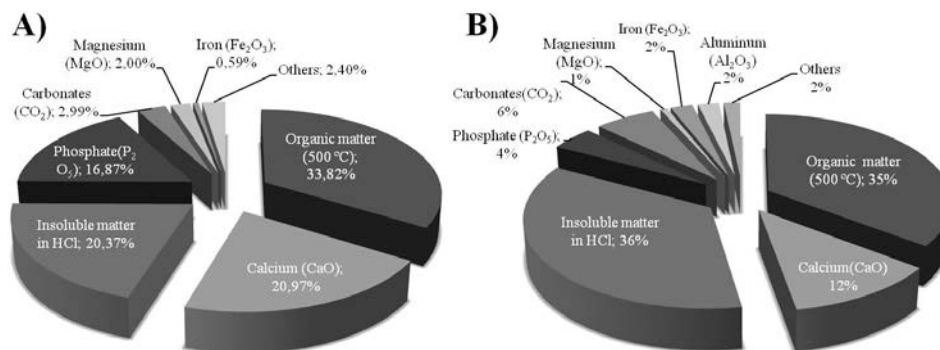


Figura 10. Composició del dipòsit de les membranes RO. TR70 (A) i ESPA2 (B).

Aquests indiquen que la major part del precipitat correspon a material inorgànic (calci, fosfat, carbonat, magnesi i ferro) amb un 43.41%, principalment, fosfat de calci (37.84%). La fracció de material orgànic i d'origen biològic representa un 33.82%. La fracció d'origen col·loidal (insoluble en HCl) representa el 20.37% del dipòsit. Al realitzar l'espectre dels residus orgànics es va observar que bàsicament estan formats per polisacàrids però també hi ha presència de proteïnes.

La presència de micro-contaminants in aigües residuals i la seva descàrrega en el medi ha estat una de les majors línies de recerca i s'ha incrementat l'interès en l'àmbit de les polítiques medio-ambientals. Quan l'aigua es vol reutilitzar s'avalua la presència i l'eliminació de compostos emergents mitjançant sistemes de regeneració avançats. A la Taula 6A i 6B es presenten els compostos detectats a l'aigua residual.

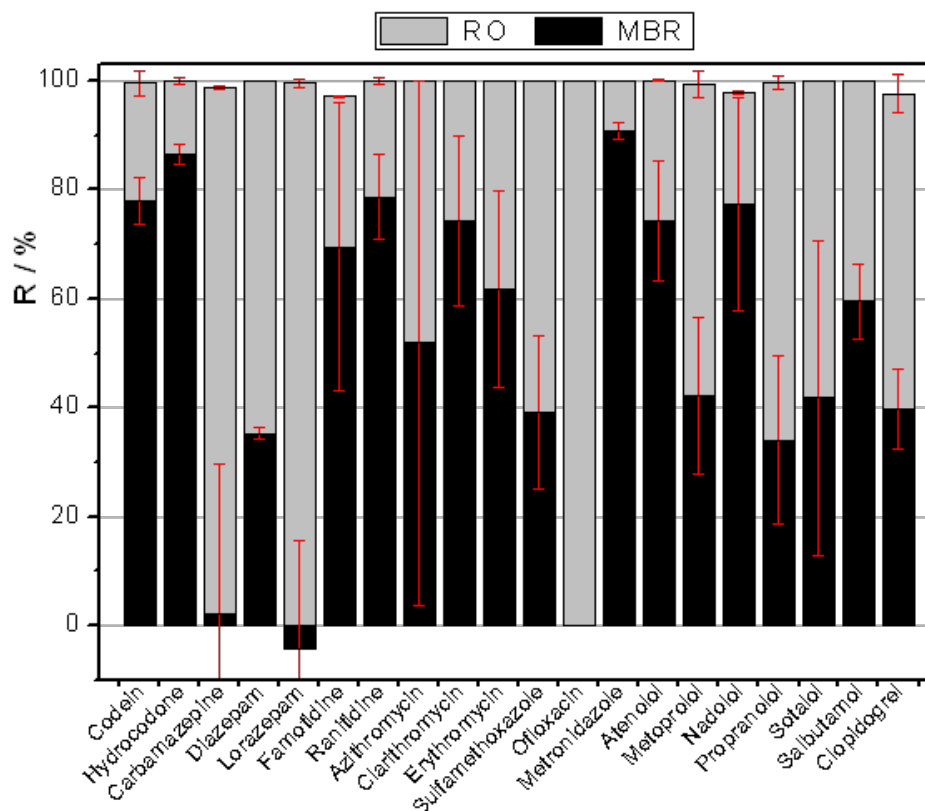
Taula 6A. Antibiótics i antidepressius

Taula 6B. Analgèsics, beta-bloquejant i altres drogues

Therapeutic class	Compound	Average	Standard Deviation	Min	Max
Antibiotics	Sulfapyridine	220,97	81,29	112,51	390,69
	N4-acetylsulfapyridine	234,81	108,50	92,79	472,44
	Sulfamethoxazole	348,47	206,43	88,03	723,78
	N4-acetylsulfamethoxazole	260,88	150,31	99,72	540,00
	Sulfamethazine	0,00	0,00	0,00	0,00
	N4-Acetylsulfamethazine	11,01	9,19	4,51	17,50
	Sulfadiazine	175,47	0,00	175,47	175,47
	N4-Acetylsulfadiazine	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nitrosulfamethoxazole	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sulfamethoxazole Amide	0,00	0,00	0,00	0,00
Antidepressants	Venlafaxine	310,30	57,81	210,06	400,02
	N-Desmethylenlafaxine	43,19	14,25	26,18	83,72
	O-Desmethylenlafaxine	626,37	101,01	413,59	834,10
	Fluoxetine	27,96	5,94	21,22	33,98
	Norfluoxetine	137,46	92,76	45,37	404,76
	Diazepam	5,07	7,96	0,50	28,59
	Desmethyldiazepam	17,23	4,91	9,23	26,97
Therapeutic class	Compound	Average	Standard Deviation	Min	Max
Analgesics	Ibuprofen	23.888,49	6.236,94	13.765,26	39.168,39
	1-Ibuprofen-OH	393,61	87,74	238,03	611,11
	2-Ibuprofen-OH	16.257,49	3.851,93	10.159,97	26.302,78
	Carboxy-Ibuprofen	10.030,46	2.258,83	6.113,71	15.751,82
	Diclofenac	522,61	212,63	135,38	955,01
	Diclofenac-OH	14.084,45	7.598,39	4.674,03	32.590,41
	Diclofenac-amide	0,00	0,00	0,00	0,00
	Acetaminophen	30.313,05	15.974,03	18.040,55	74.160,41
	Acetaminophen-OH	0,00	0,00	0,00	0,00
B-Blockers	Metoprolol	13,98	5,31	6,56	24,15
	Metoprolol-acid	7.024,27	1.736,68	4.304,75	10.221,16
	Alfa-Metoprolol-OH	34,43	13,58	17,51	57,73
	O-Desmethyl-Metoprolol	0,00	0,00	0,00	0,00
Psychiatric drugs	Carbamazepine	104,12	38,93	67,62	211,67
	Epoxy-Carbamazepine	0,00	0,00	0,00	0,00
	2-Hydroxycarbamazepine	28,34	7,72	16,13	39,44
	Acridine	0,00	0,00	0,00	0,00

L'eliminació i el destí dels compostos farmacològicament actius (PhACs) i els seus metabòlits humans mitjançant sistemes de membrana integrada MBR i/o NF i/o RO s'ha estudiat a la planta pilot de Castell d'Aro. Es van realitzar diferents preses de mostra a diferents condicions de treball per entendre l'eficiència d'eliminació dels compostos mitjançant els dos processos de filtració.

Els resultats van demostrar que el MBR presentava bons rendiments d'eliminació de compostos biodegradables i en especial les membranes hidrofòbiques de RO i NF, les quals eren capaces de retenir aquells compostos PhACs que es van investigar, obtenint eliminacions gairebé complertes. Els resultats també van permetre l'obtenció de perfils cada 2 hores durant un període de 24 hores per entendre la variabilitats dels compostos al llarg del dia.



Conclusions Fase 2:

- El seguiment de l'embrutiment mitjançant indicadors més sensibles i que incorporen més informació que els indicadors convencionals poden permetre gestionar de forma més correcte i eficient els MBR
- L'estat de la membrana, pel que fa a embrutiment, està correlacionat amb el grau de retenció d'indicadors virals. Una membrana de microfiltració es capaç de retenir bacteris degut a que es capaç de reduir 5 unitats logarítmiques, i en canvi pel que fa als indicadors virals, aquests presenten més retenció com més bruta està la membrana.
- Pel que fa als residus que es troben precipitats en una unitat d'OI que tracta l'efluent d'un MBR, es poden agrupar en dos grans grups. Inorgànics (precipitats de Ca, P, Mg) i matèria orgànica.

Bibliografia relacionada en aquesta fase 2:

- Monclús, H., Zacharias, S., Santos, A., Pidou, M., and Judd, S. (2010). Criticality of flux and aeration for a hollow fiber membrane bioreactor. *Separation Science and Technology*. 45(7): 956-961.
- Monclús, H., Ferrero, G., Buttiglieri, G., Comas, J., and Rodríguez-Roda, I. (2011). Online monitoring of membrane fouling in submerged MBR. *Desalination*. 277(1-3): 414-419.
- Marti, E., Monclús, H., Jofre, J., Rodríguez-Roda, I., Comas, J., and Balcazar, J.L. (2011). Removal of microbial indicators from municipal wastewater by a membrane bioreactor (MBR). *Bioresource Technology*. 102(8): 5004-5009.
- Moreno, J., Monclús, H., Stegfani, M., Cortada, E., Aumatell, J., Adroer, N., De Lamo-Castellví, S., and Comas, J. (2013). Characterisation of RO fouling in an integrated MBR/RO system for wastewater reuse. *Water Science and Technology*. 67(4): 780-788.
- Dolar, D., Grom, M., Rodríguez-Mozaz, S., Moreno, J., Comas, J., Rodríguez-Roda, I., and Barceló, D. (2012). Removal of emerging contaminants from municipal wastewater with an integrated membrane system (MBR-RO). *Journal of Hazardous Materials*. 239-240: 64-69.
- Ferrero, G., Monclús, H., Sancho, L., Garrido, J.M., Comas, J., and Rodríguez-Roda, I. (2011). A knowledge-based control system for air-scour optimisation in membrane bioreactors. *Water Science and Technology*. 63(9): 2025-2031.

5. Resultats rellevants aconseguits durant la Fase 3 (2013-2015):

5.1. Optimització de l'aeració de neteja de les membranes

En la tercera fase es van implementar algoritmes de control per l'estalvi energètic i per l'automatització i modelatge de la planta i dels MBRs

Durant aquesta tercera fase es van realitzar estudis sobre la reducció dels costos energètics en la operació de MBRs. En aquest sentit es va patentar una tecnologia (Smart Air MBR®) per optimitzar el cabal d'aeració de les membranes en base a l'embrutiment de les mateixes.

Aquest estudi monitoritza el pendent de l'embrutiment dels últims 4 i 14 dies i ajusta el cabal d'aeració en base als valors d'aquests embrutiments. Els estalvis energètics aconseguits sense cap efecte al procés de filtració van arribar a 30% en reducció de consum.

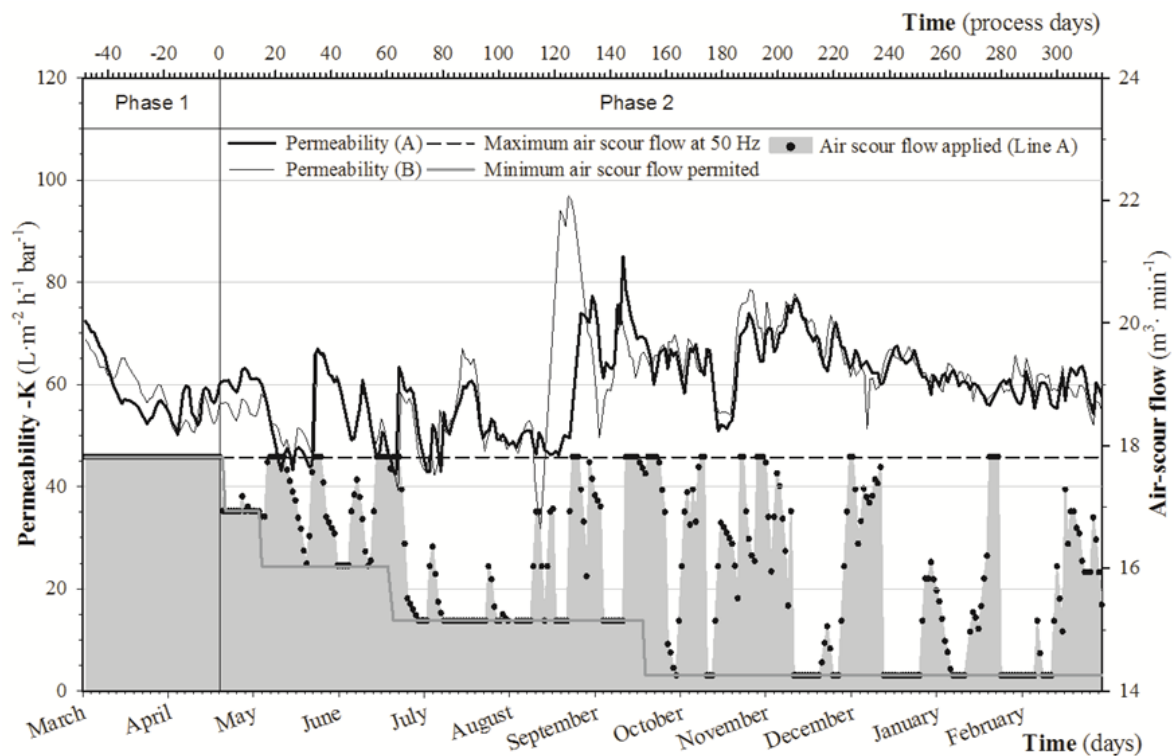


Figura 11. Evolució dels paràmetres clau durant el procés experimental de la reducció del cabal d'aeració de les membranes

La reducció del cabal d'aeració de neteja de les membranes ha permès aconseguir reduccions en cabal d'aeració de fins a 30%, assolint reduccions en consum energètic de fins al 42%. A escala real, l'estudi es va dur a terme a l'EDAR amb tecnologia MBR de La Bisbal d'Empordà. En aquests cas el cabal d'aire va assolir reduccions del 13% i reduccions en consum energètic del 14%. Si ho expressem en base al cabal tractat per a cada una de les línies de filtració, arribem a reduir el rati de consum aeració/aigua tractada de 0.183 kWh/m³ a 0.141 kWh/m³. Per tant el rati d'estalvi per aigua tractada redueix el consum en 0,04kWh/m³.

La monitorització de l'estat de la membrana en temps real permet gestionar i optimitzar el cabal de neteja (air-scouring) sense perjudicar la qualitat del fang ni el procés de filtració.

5.2. Modelització de l'embrutiment i selecció de la millor estratègia d'operació d'un MBR

Les interaccions entre els processos biològics (eliminació de nutrients i característiques de la biomassa) i físics (hidrodinàmica i filtració) que tenen lloc als BRM s'han estudiat a través de models, amb l'objectiu final de millorar-ne la seva operació i el control integrat. Primerament, es van identificar les condicions òptimes d'operació per l'eliminació de nutrients mitjançant un model aplicat a una planta pilot (Figura 12). Gràcies a una anàlisi de sensibilitat es van trobar quins van ser els paràmetres més sensibles respecte a l'operació integrada dels processos d'eliminació de nutrients i filtració. La recirculació aeròbia, el cabal aire en el tanc de membranes i en el compartiment aerobi i el cabal de purga van ser identificats com a paràmetres més determinants per l'eliminació de nutrients, mentre que el temps de relaxació i el cabal de filtració van ser els més sensibles respecte a la filtració. Aquesta informació complementada amb coneixement expert, va permetre la creació d'un arbre de decisió pel control integrat dels processos de filtració i eliminació de nutrients.

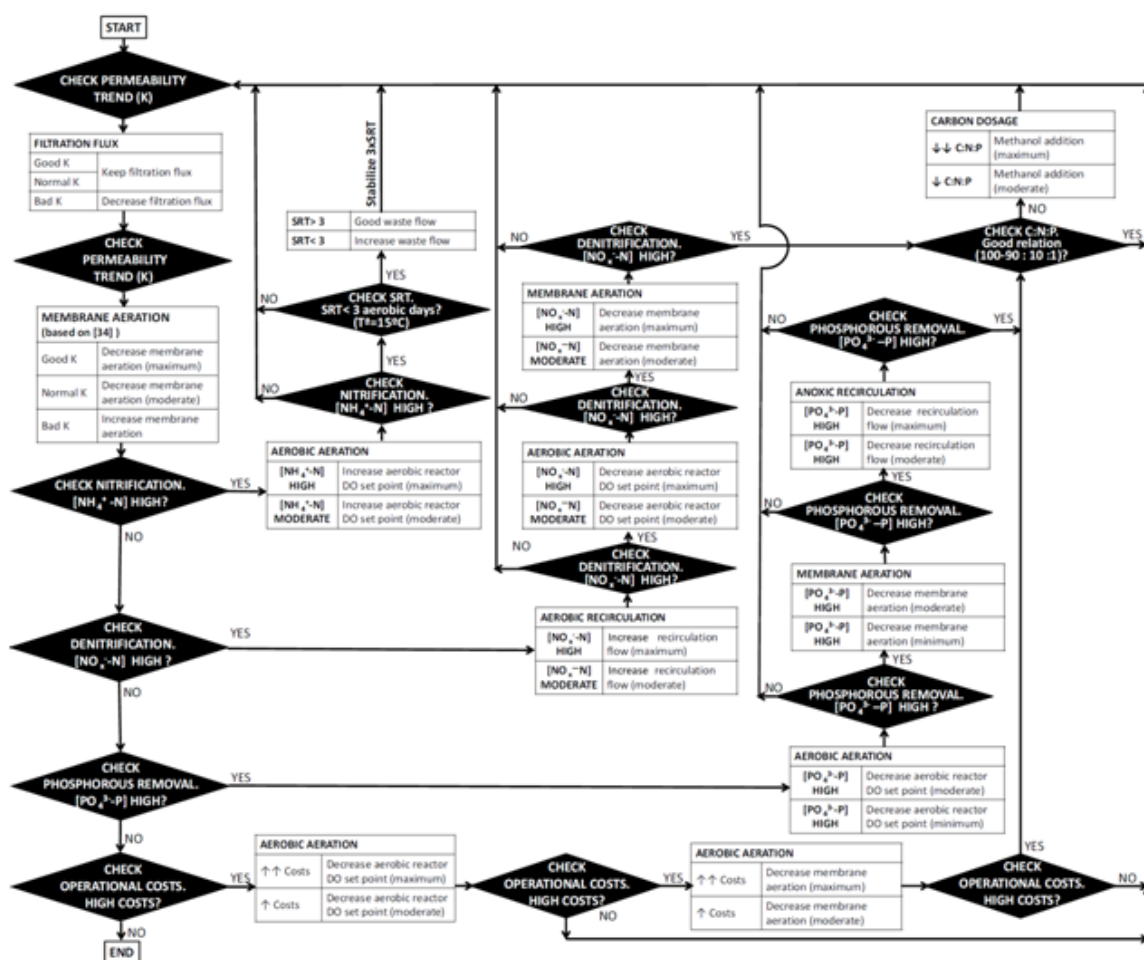


Figura 12. Arbre de decisió per seleccionar la millor estratègia d'operació per MBRs

Tenint en compte la complexitat del fenomen de l'embrutiment i la seva importància en l'operació de les membranes, es van utilitzar dos models diferents (determinístic i basat en dades) per descriure la pressió transmembrana (PTM) en una planta pilot que va treballar sota diferents modes operacionals al llarg d'un any i mig. Concretament, el model determinístic va permetre la descripció de la PTM en condicions d'estat estacionari o amb canvis de flux, mentre que el model basat en dades captà millor les dinàmiques canviants del sistema. Així el model basat en dades anà un pas més enllà en la predicció de la PTM, mentre que el determinístic no va ser suficientment detallat, sobretot amb majors dinàmiques causades per les pertorbacions. En qualsevol cas, els models de filtració necessiten també incorporar models determinístics de llots actius per poder descriure els processos biològics i tenir una descripció completa dels processos que es duen a terme en els BRM (Figura 13).

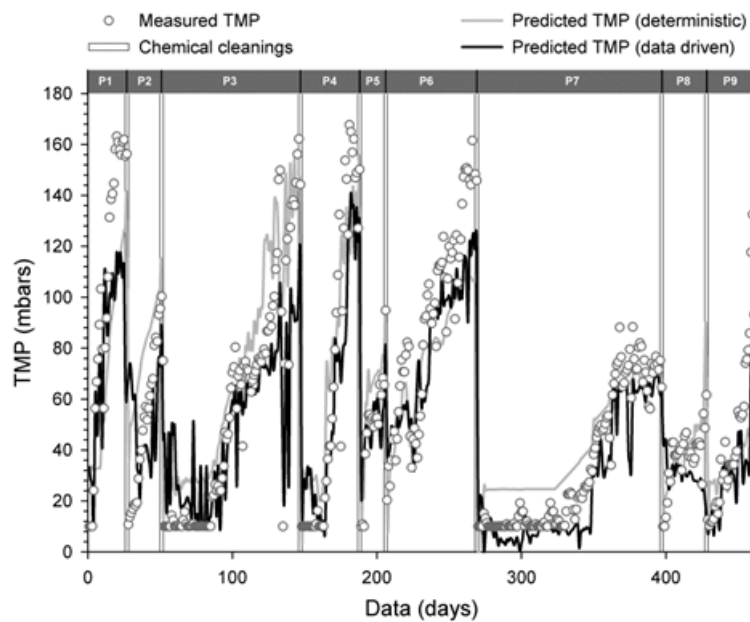


Figura 13. TMP mesurada i simulada usant models determinístics i basats en dades vers el temps.

5.3. Estudi sobre l'optimització integrada de l'aeració (biològica i de neteja) d'un MBR

La gran diversitat de paràmetres que poden afectar al correcte funcionament dels bioreactors de membranes, degut a la seva complexitat al combinar el procés biològic amb el procés de filtració, augmenta l'interès en estudiar com afecta cadascun d'ells per separat per conèixer bé la seva implicació en cada variable del procés. No només és important tenir en compte una bona filtració, sinó ser capaços de garantir una bona eliminació de nutrients i poder establir quines relacions té amb les característiques pròpies del fang.

Per assolir aquest objectiu, dins d'aquest estudi es van definir els següents sub-objectius:

- Estudiar els canvis en les característiques dels fangs, en el procés d'eliminació de nutrients i en el rendiment del procés de filtració a l'aplicar:
 - a) una disminució de la consigna d'oxigen del reactor aeròbic.
 - b) Una disminució de la consigna del cabal d'aire al reactor de membranes
- Avaluar els resultats obtinguts i establir les relacions entre les perturbacions ambientals i operacionals i el procés d'eliminació de nutrients, les característiques del fang i l'eficiència del procés de filtració.

La optimització de l'aeració biològica (Figura 11) va permetre observar que les característiques del fang van variar. Hi va haver una lleugera disminució de la mida de partícula. La disminució de la concentració d'oxigen dissolt va poder produir un trencament dels flocs del fang o formació de partícules de mida més petita i conseqüentment una disminució de la mida de partícula. Aquest procés també podria anar relacionat amb l'alliberació d'EPS, els quals també s'ha vist que han augmentat al llarg de l'experiment. Altres característiques del fang com filtrabilitat, temps de succió capil·lar o el temps de residència s'han mantingut constant al llarg de tot el procés. Cal destacar l'aparició de filaments del gènere *Spirilla*, que apareixen en condicions de baixa càrrega orgànica i en ambients amb poc oxigen a partir de condicions més baixes de 0.5 ppm d'OD al reactor aerobi.

Pel que fa a l'eliminació de nutrients, es pot observar un increment de concentració de fòsfor a partir d'una consigna de 0.5 ppm d'OD al reactor. D'altra banda, per la part d'eliminació de nitrogen, cal destacar un increment d'amoni a concentracions inferiors a 0.5 ppm d'OD.

A més a més, la filtració no s'ha vist afectada fins a consignes inferiors a 0.5 ppm d'OD tal i com es pot observar a la figura seguint l'evolució de la pressió transmembrana (TMP).

En general, es pot observar que treballar a 0.5 ppm és una bona consigna per poder eliminar nutrients (sense superar els límits establerts per llei) i alhora permet reduir costos.

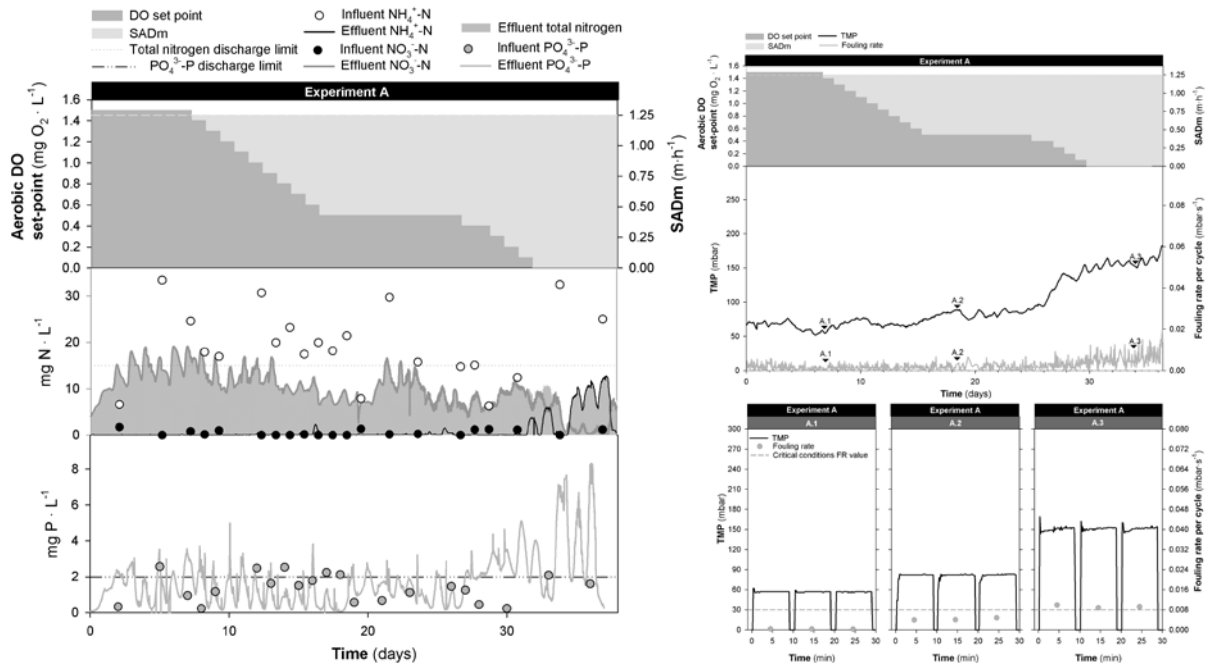


Figura 11. Evolució del C, N i P i de les variables d'embrutiment en la optimització de l'aeració biològica.

L'aeració de membranes juga un paper clau en l'embrutiment, però altres estudis han demostrat que aquest oxigen també és utilitzat per a l'eliminació de nutrients (Odriozola et al. 2013). En aquest apartat, s'ha disminuït el cabal d'aeració de membranes de 10 m³/h a 6 m³/h, amb la seu conseqüent increment, mantenint la consigna de 0.5 ppm d'OD al reactor aerobi (Figura 12).

En aquest estudi, les característiques del fang s'han vist alterades per la disminució del cabal d'oxigen. L'increment de bacteris filamentós s'ha fet notori a partir de cabals inferiors a 7 m³/h sense mostrar recuperació en el període d'increment del cabal. També es pot observar que l'eliminació de nutrients s'ha vist afectada, fet que indica que en el reactor de membranes es du a terme part de la nitrificació, veient-se l'increment d'amoni a mesura que es disminueix l'aeració de membranes i sense recuperar-se fins a recuperar el cabal d'aeració inicial. La part de filtració ha mostrat un greu deteriorament al disminuir el cabal d'aire, veient-se els pendents d'embrutiment cada vegada més pronunciats i una TMP sense símptomes de recuperació tot i l'augment del cabal.

Aquest estudi ha permès establir relacions entre perturbacions ambientals i operacionals a la planta pilot de Castell-Platja d'Aro, i les alteracions en el procés de filtració, les característiques del fang i el rendiment en l'eliminació de nutrients.

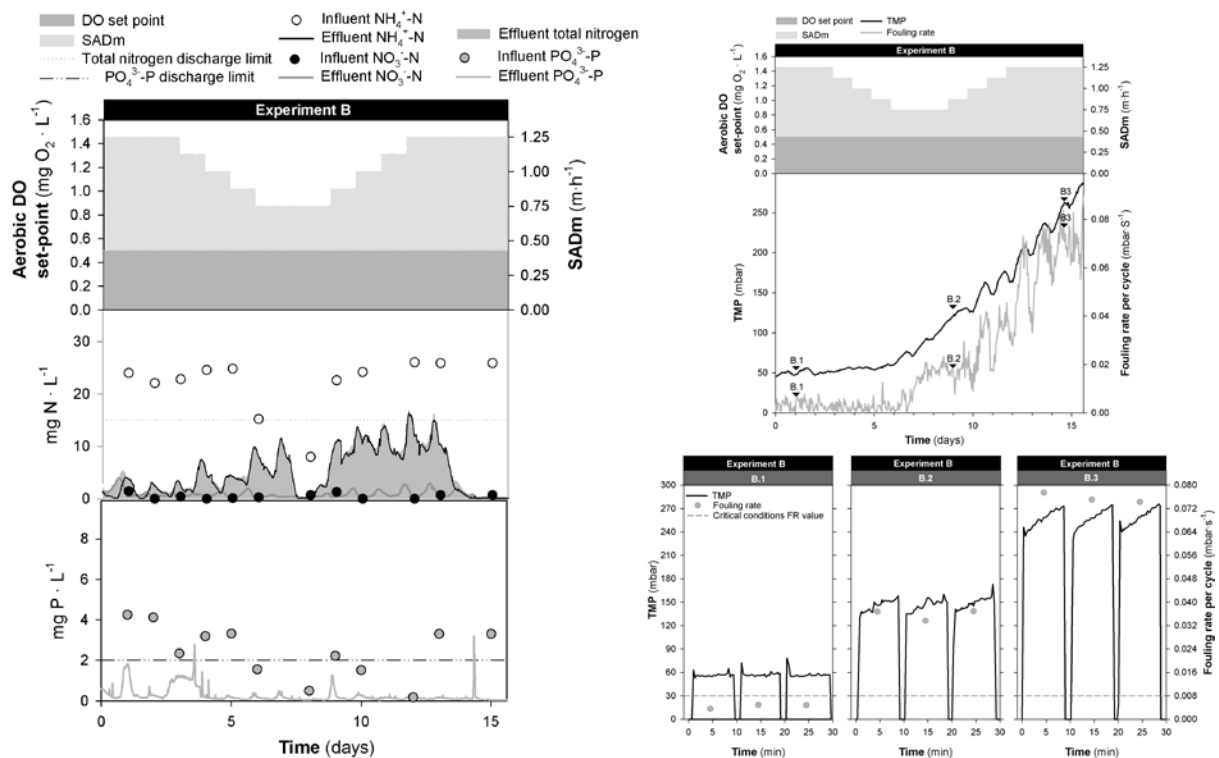


Figura 12. Evolució del C, N i P i de les variables d'embrutiment en la optimització de l'aeració de neteja

5.4. DSS per la gestió i control de sistemes integrat de membranes

Recentment s'està desenvolupant un sistema de suport a la decisió pel control de sistemes integrat de membranes (MBR-RO/NF). Aquest DSS ha d'englobar dues àrees, el seguiment de la integritat de la membrana i la optimització de la seva operació tenint en compte les variables de qualitat de l'aigua tractada per arribar a minimitzar els costos de procés. La següent figura mostra l'estructura jeràrquica del sistema de control proposat.

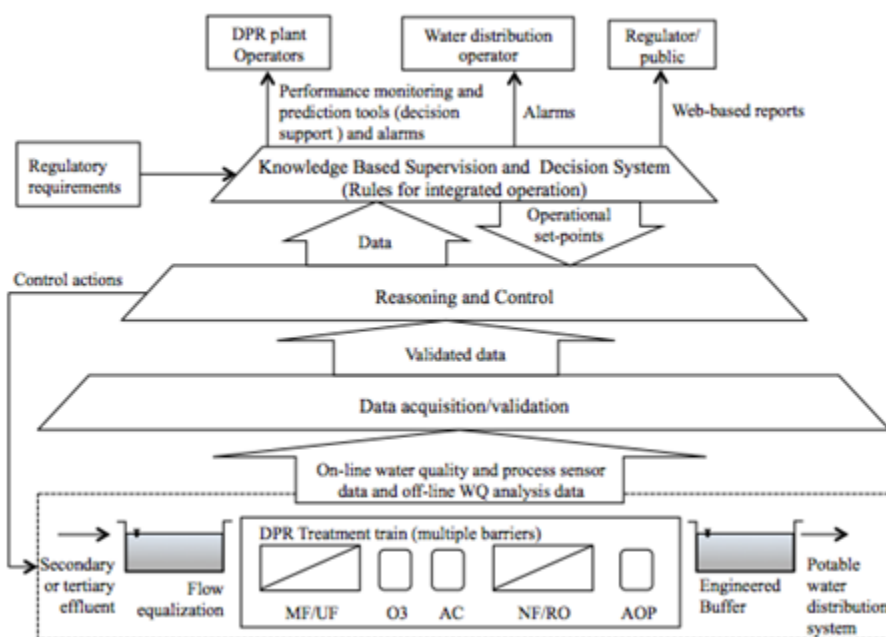


Figura 14:estructura jeràrquica del DSS proposat

Conclusions Fase 3:

- Els MBR poden ser optimitzats regulant el cabal d'aeració de neteja en base a la velocitat d'embrutiment que pateixen les membranes. Aquesta optimització va permetre reduir en un 14% el cabal d'aeració de neteja, comportant una reducció del consum de 0,18 a 0,14 kWh/m³.
- Una de les mancances de la tecnologia MBR es que no tenen models de predicció del grau d'embrutiment. En aquest cas l'estudi realitzat amb models determinístics i basats en dades. El determinístic funcionava millor quan es treballava en estat estacionari en canvi el basat en casos s'adaptava millor als canvis de dinàmiques.
- El tercer estudi ha permès determinar els paràmetres més rellevants pel control integrat i els límits per a l'optimització. La consigna òptima d'oxigen dissolt (OD) en el reactor aerobi es de 0.5 mg O₂/L i pel que fa a l'aeració de neteja el cabal de neteja òptim seria de SAD_m 1m/h (25% inferior al recomanat). Tots aquests paràmetres han definit l'estratègia d'optimització integrada de l'aeració d'un MBR.

Bibliografia relacionada en aquest apartats:

- Dalmau, M., Monclús, H., Gabarrón, S., Rodríguez-Roda, I., and Comas, J. (2014). Towards integrated operation of membrane bioreactors: Effects of aeration on biological and filtration performance. *Bioresource Technology*. 171: 103-112.
- Dalmau, M., Atanasova, N., Gabarrón, S., Rodríguez-Roda, I., and Comas, J. (2015). Comparison of a deterministic and a data driven model to describe MBR fouling. *Chemical Engineering Journal*. 260: 300-308.

6. Annex

6.1. Tesis publicades:

Títol de la tesi: Integrated operation of membrane bioreactors: simulation and experimental studies

Doctorand: Montse Dalmau

Directors: Ignasi Rodriguez-Roda, Joaquim Comas i Eduardo Ayesa

Data de la defensa: 17/10/2014

Enllaç TDX: <http://www.tdx.cat/handle/10803/284740>

Títol de la tesi: Diagnosis, assessment and optimisation of the design and operation of municipal MBRs

Doctorand: Sara Gabarrón

Directors: Ignasi Rodriguez-Roda i Joaquim Comas

Data de la defensa: 16/05/2014

Enllaç TDX: <http://tdx.cat/handle/10803/145434>

Títol de la tesi: Development of a decision support system for the integrated control of membrane bioreactors.

Doctorand: Hèctor Monclús

Directors: Ignasi Rodriguez-Roda i Joaquim Comas

Data de la defensa: 08/11/2011

Mèrit: Premi extraordinari de doctorat 2011 en enginyeria industrial de la Universitat de Girona

Enllaç TDX: <http://www.tdx.cat/handle/10803/78922>

Títol de la tesi: Development of an air-scour control system for membrane bioreactors.

Doctorand: Giuliana Ferrero

Directors: Ignasi Rodriguez-Roda i Joaquim Comas

Data de la defensa: 01/07/2011

Enllaç TDX: <http://www.tdx.cat/handle/10803/32202>

6.2. Publicacions en revistes:

- Beltrán S., Irizar I., Monclús H., Rodríguez-Roda I., Ayesa E. (2009). On-line estimation of suspended solids in biological reactors of WWTPs using a Kalman observer. *Water Science and Technology* 60 (3), 567-574.
- Comas, J., Meabe, E., Sancho, L., Ferrero, G., Sipma, J., Monclús, H. and Rodríguez-Roda, I. (2010). "Knowledge-based system for automatic MBR control." *Water Science and Technology* 62(12), 2829–2836.
- Dalmau, M., Monclús, H., Gabarrón, S., Rodríguez-Roda, I., and Comas, J. (2014). Towards integrated operation of membrane bioreactors: Effects of aeration on biological and filtration performance. *Bioresource Technology*. 171: 103-112.
- Dalmau, M., Rodríguez-Roda, I., Ayesa, E., Odriozola, J., Sancho, L. and Comas, J. (2013) Development of a decision tree for the integrated operation of nutrient removal MBRs based on simulation studies and expert knowledge. *Chemical Engineering Journal* 217, 174-184.
- Dolar, D., Gros, M., Rodríguez-Mozaz, S., Moreno, J., Comas, J., Rodríguez-Roda, I. and Barceló, D. (2011). "Removal of emerging contaminants from municipal wastewater with an integrated membrane system (mbr-ro)." *Journal of Hazardous Materials* 239-240: 64-69.
- Ferrero, G., Monclús, H., Buttiglieri, G., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2011a). "Automatic control system for energy optimization in membrane bioreactors." *Desalination* 268(1-3), 276-280.
- Ferrero, G., Monclús, H., Buttiglieri, G., Gabarrón, S., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2011b). "Development of a control algorithm for air-scour reduction in membrane bioreactors for wastewater treatment." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 86(6), 784-789.
- Ferrero, G., Monclús, H., Sancho, L., Garrido, J. M., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2011c). "A knowledge-based control system for air-scour optimisation in membrane bioreactors." *Water Science and Technology* 63(9), 2025-2031.
- Ferrero, G., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2012). "Automatic control systems for submerged membrane bioreactors: A state-of-the-art review." *Water Research* 46(11): 3421-3433.
- Gabarrón, S., Ferrero, G., Dalmau, M., Comas, J., and Rodríguez-Roda, I. (2014). Assessment of energy-saving strategies and operational costs in full-scale membrane bioreactors. *Journal of environmental management*. 134: 8-14.
- Gabarrón, S.; Gómez, M.; Monclús, H.; Rodríguez-Roda, I.; Comas, J. (2012). Ragging phenomenon characterisation and impact in a full-scale MBR. *Water Science and Technology* 67(4), 810-816.

- Marti, E., Monclús, H., Jofre, J., Rodríguez-Roda, I., Comas, J., Balcázar, J.L. (2011). Removal of microbial indicators from municipal wastewater by a membrane bioreactor (MBR). *Bioresource Technology*, 102(8), 5004-5009.
- Monclús, H., Sipma, J., Ferrero, G., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2010a). Optimization of biological nutrient removal in a pilot plant UCT-MBR treating municipal wastewater during start-up. *Desalination*. 250 (2), 592-597
- Monclús, H., Sipma, J., Ferrero, G., Rodríguez-Roda, I. and Comas, J. (2010b). "Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal." *Bioresource Technology* 101(11), 3984-3991.
- Monclús, H., Zacharias, S., Santos, A., Pidou, M. and Judd, S. (2010c). "Criticality of flux and aeration for a hollow fiber membrane bioreactor." *Separation Science and Technology* 45(7), 956-961.
- Monclús, H., Ferrero, G., Buttiglieri, G., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2011). Online monitoring of membrane fouling in submerged MBR. *Desalination* 277(1-3), 414-419.
- Monclús, H., Buttiglieri, G., Ferrero, G., Rodríguez-Roda, I., and Comas, J. (2012). Knowledge-based control module for start-up of flat sheet MBRs. In press at *Bioresource Technology*, 106, 50-54
- Moreno, J., Monclús, H., Stefani, M., Cortada, E., Aumatell, J., Adroer, N., dLamo-Castellví, S., Comas, J. (2012). Characterisation of RO fouling in an integrated MBR/RO system for wastewater reuse. *Water Science and Technology*. in press - 10.2166/wst.2012.619
- Muñoz J., Monclús H., Ferrero G., Plensa M., Rovira S., Comas J. y Rodríguez-Roda I. (2008). Control integrado de los Bioreactores de Membrana para la eliminación de nutrientes en aguas residuales. *Ingeniería Química*, nº 460, 124-129. ISSN: 0210-2064.
- Sipma J., Osuna B., Collado N., Monclús H., Ferrero G., Comas J. and Rodríguez-Roda I. (2010). Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. *Desalination* 250 (2), 653-659

6.3. Presentacions a congressos:

- Buttiglieri, G., Monclús, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodríguez-Roda, I. (2010). On-line estimation of fouling in a membrane bioreactor altered by proteins and polysaccharides. Poster presentation in AMS6/IMSTEC10. Australia 22-26 November 2010.
- Buttiglieri, G., E. Meabe, H. Monclús, G. Ferrero, L. Sancho, J. Comas and I. Rodríguez-Roda. (2011). Comparison of fouling indicators in MBRs for Decision Support Systems implementation. 6th IWA Specialist Conference on Membrane Technology for Water & Wastewater Treatment, 4-7 October 2011, Eurogress Aachen, Germany. Poster presentation.
- Comas J., Meabe E., Sancho L., Ferrero G., Sipma J., Monclús H. and Rodríguez-Roda I. (2009a). Knowledge-based system for automatic MBR control. *Proceedings of IWA-Instrumentation, Control and Automation MTC*. 14-17 June. Cairns, Australia.
- Comas J., Rodríguez-Roda I., Ferrero G., Monclús H. (2009b). Aplicació de sistemes de suport a la decisió per al control dels bioreactors de membrana. Presentació Oral a Processos i tecnologies: L'adequació de la qualitat de les aigües als diferents usos. 19 Novembre. Barcelona. Spain.
- Dalmau M.; Castellà M.; Gabarrón S.; Odriozola J.; Sancho L.; Ayesa E.; Rodríguez-Roda I.; Comas J. Integrated control of MBRs: effects of aeration Name of the conference: ICA 2013- 11th IWA conference on Instrumentation, Control and Automation. Narbona, France (2013)
- Dalmau M.; Atanasova N.; Gabarrón S.; Rodríguez-Roda I.; Comas J. Membrane bioreactor modelling: deterministic vs data driven models ICCE 2013, 14th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment Barcelona, Spain 2013
- Dalmau M.; Castellà M.; Rodríguez-Roda I.; Comas J Integrated control of MBRs: effect of biological and membrane aeration. NOVEDAR Young Water Researchers Workshop, Universidad de Cantabria. Santander, Spain (2013)
- Dalmau, M., S. Gabarrón, H. Monclús, I. Rodríguez-Roda, E. Ayesa, J. Odriozola and J. Comas (2011). Integrated operation of biological and filtration processes in a UCT-MBR pilot plant through simulation studies. 2nd International Conference on Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Treatment. Kuala Lumpur (Malaysia). 25th-26th April 2011. *Oral presentation*
- Gabarrón, S., Monclús, H., Dalmau, M. Ferrero, G., Rodríguez-Roda, I. and Comas, J. On-line control of aeration in a membrane bioreactor. Poster presentation and 5 min oral presentation on Sustainable Solutions for Small Water and Wastewater Treatment Systems (S2Small2010) Conference. Girona 19th 22th April 2010.
- Gabarrón, S., G. Ferrero, M. Dalmau, L. Moragas, J. Robusté, J. Comas and I. Rodríguez-Roda (2011). Benchmark study of full-scale membrane bioreactors for municipal wastewater treatment in Catalonia. 2nd International Conference on Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Treatment. Kuala Lumpur (Malaysia). 25th-26th April 2011. *Oral presentation*
- Ferrer, I., Monclús, H., Gabarrón, S., Ferrero, G., Comas, J and Rodríguez-Roda I. On-Line estimation of fouling rates in MBRs altered by proteins and polysaccharides. Oral presentation on Sustainable Solutions for Small Water and Wastewater Treatment Systems (S2Small2010) Conference. Girona 19th 22th April 2010.
- Ferrero G., Monclús H., Sipma J., Comas J. and Rodríguez-Roda I. (2009). Performance of an MBR pilot plant operated under variable fluxes, *Proceedings of IWA MTC*, September, Beijing (China).
- Ferrero, G., Monclús, H., Sancho, L., Garrido, J.M., Comas J. and Rodríguez-Roda, I. Energy optimization control system for membrane bioreactors. Oral presentation on Sustainable Solutions for Small Water and Wastewater Treatment Systems (S2Small2010) Conference. Girona 19th 22th April 2010.
- Ferrero, G., Monclús, H., Buttiglieri, G., Comas, J. and Rodríguez-Roda, I. (2010). "Automatic control system for energy optimization in membrane bioreactors. Oral presentation in AMS6/IMSTEC10. Australia 22-26 November 2010.
- Ferrero, G., H. Monclús, G. Buttiglieri, S. Gabarrón, J. Comas and I. Rodríguez-Roda. (2011). MBR control for energy saving. 18th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), 28th August 2011. Milano, Italy. *Oral presentation*

- Marti, E., Monclus, H., Jofre, J., Rodriguez-Roda, I., Comas, J. and Balcazar, J. L. (2011). Wastewater disinfection by MBRs: focus on bacterial and viral indicators retention. 8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. 26-29 September 2011. Barcelona, Spain. Oral presentation
- Monclús H., Sipma J., Plensa M., Ferrero G., Comas J. and Rodriguez-Roda I. (2008). Optimization of biological nutrient removal in a pilot plant MBR treating municipal wastewater during start-up. Oral presentation in *Membranes in Drinking Water Production and Wastewater Treatment Conference*. 20th October 2008. Toulouse. France.
- Monclús H., Ferrero G., Sipma J., Comas J. and Rodriguez-Roda I. (2009a). Decision Support System for MBR fouling control. *Final MBR-Network Workshop*. 31st March 2009. Berlin, Germany.
- Monclús H., Ferrero G., Sipma J., Ferrer I., Rodriguez-Roda I. and Comas J. (2009b). BNR using a UCT-MBR treating municipal waste water with special focus on EBPR monitoring by phosphorous activities. Oral presentation in *IWA - 2nd Specialized Conference*. 7-9 September 2009. Krakow. Poland.
- Monclús, H., Ferrero, G., Sipma, J., Gabarrón, S., Rodriguez-Roda, I. and Comas J. Comparison of MBR-UCT Start-ups at different permeate fluxes. Oral presentation on Sustainable Solutions for Small Water and Wastewater Treatment Systems (S2Small2010) Conference. Girona 19th-22th April 2010.
- Monclús, H., Ferrero, G., Gabarrón, S., Comas, J., and Rodriguez-Roda, I., (2010). Knowledge-based module for start-up optimization in flat-sheet membrane bioreactors. Poster presentation in AMS6/IMSTEC10. Australia 22-26 November 2010.
- Monclús, H., G. Ferrero, S. Gabarrón, G. Buttiglieri, J. Comas and I. Rodriguez-Roda (2011). On-line fouling monitoring in submerged MBR. 2nd International Conference on Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Treatment. Kuala Lumpur (Malaysia). 25th-26th April 2011. Oral presentation
- Moreno, J., Aumatell, J., Adroer, N., Cortada, E., Monclús, H., Rodríguez-Roda, I. and Comas, J. (2011). Control of bio fouling in MBR coupled RO systems: preliminary results. 8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse. 26-29 September 2011. Barcelona, Spain. Poster presentation.
- Odriozola, J., Beltrán, S., Sancho, L., Dalmau, M., Comas, J., Rodriguez-Roda, I. and Ayesa, E. (2013) Model-based optimisation of MBR plants for C and N removal, 11th IWA conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA). Narbonne, France.
- Plensa M., Sipma J., Monclús H., Ferrero G., Gabarrón S., Comas J. and Rodriguez-Roda I. (2008). Knowledge-based system for automatic MBR fouling control. Oral presentation in *Membranes in Drinking Water Production and Wastewater Treatment Conference*. 20th October 2008. Toulouse. France.
- Rodriguez-Roda, I., Comas, J., Sancho, L., Ayesa, E., Sipma, J., Jiménez, L. and Steyer, J.P. (2007). COLMATAR: a Decision Support System for remote control and operation of MBR. *The 4th IWA International Membranes Conference; Membranes for Water and Wastewater Treatment*, 15th -17th May 2007, Harrogate, UK.
- Rodriguez-Roda I., Sipma J., Monclus H., Comas J. and Poch M. (2008a). Definition of the knowledge base for an optimal operation of the separation process in membrane bioreactors. *Engineering with membrane. Membrane process: Development, Monitoring and Modelling Conference*. 25th May 2008. Algarve. Portugal.
- Rodriguez-Roda I., Comas J., Monclús H., Sipma J. and Poch M. (2008b). Intelligent Environmental Decision Support System for integrated operation of Membrane Bioreactors. *iEMSs 2008: International Congress on Environmental Modelling and Software*. 7th July 2008. Barcelona. Spain.
- Rodriguez-Roda, J. Comas, P. Clara, G. Ferrero, H. Monclús and J. Sipma. (2009a) Development of a Decision Support System for the operation and supervision of MBRs. *Proceedings of IWA MTC*, September, Beijing (China).
- Rodriguez-Roda I. (2009b). Estudio económico e identificación de las oportunidades de optimización energética de los Biorreactores de Membrana para el tratamiento de aguas residuales. Oral presentation in the 3rd Conference El Reto de la Eficiencia Económica en EDAR, Novedades-Consolider. 14 Desembre 2009. Valencia. Spain.
- Sipma J., Monclús H., Plensa M., Ferrero G., Comas J. and Rodriguez-Roda I. (2008) Microbial dynamics in MBR and Activated sludge systems with special emphasis on removal of refractory pollutants. *Poster presentation in Membranes in Drinking Water Production and Wastewater Treatment Conference*. 20th October 2008. Toulouse. France.
- Zelaśkiewicz A., Sipma J., Monclús H., Rodriguez-Roda I. and Comas J. (2008) Biological degradation perspectives of pharmaceuticals in membrane bioreactors. *7th Scientific Conference of Membranes and Membrane Processes in Environmental Protection*. 5th June 2008. Ustron. Poland.