



PhD dissertation by **Albert Galizia Amoraga**



Combining experimental and modelling approaches towards full-scale implementation for membrane bioreactor optimization

Supervisors: Dr Hèctor Monclús, Dr Gaëtan Blandin and Dr Joaquim Comas

Jury members: Dr Jean Philippe Steyer (INRAE), Dr Saba Daneshgar (Ghent University) and Dr Maria Victoria Ruano (Universitat Politècnica de València)

Friday 29th May 2026, 10:00h, UdG Faculty of Sciences (“Aula Magna”)

Carrer M^a Aurèlia Capmany 69, Campus Montilivi, 17003 Girona



Abstract

Membrane bioreactors (MBRs) are a cutting-edge technology for water treatment that offers excellent effluent quality in compact designs. However, their economic sustainability depends on overcoming two critical challenges: membrane fouling and the high energy consumption resulting from cleaning aeration. This thesis addresses these limitations through a holistic approach that integrates advanced experimental characterization, intelligent control, and predictive modeling.

Albert Galizia's research starts redefining filtration evaluation by demonstrating that the critical flux test (J_c) is insufficient, as it ignores the interaction between membrane structure and aeration intensity. To address this, the researcher proposes the Aeration Step Test (AST), a new protocol that identifies specific aeration thresholds. This advancement allows for the replacement of generic strategies with optimized designs, demonstrating that membranes with similar critical flow rates can require radically different aeration intensities to maintain stability.

Making the leap from the laboratory to real-world operation, an automatic control system using fuzzy logic was developed and validated at the Sabadell "Riu Sec" plant (Catalonia, Spain) during eight months of continuous operation. Such controller operates in a dual and dynamic manner, regulating the cleaning air and monitoring permeate production in response to hydraulic stress events. The results are conclusive: the controlled line achieved a drastic reduction in the fouling rate (90% lower) and energy savings of 7% in the membrane air-blower compared to conventional operation. These findings confirm that integrating expert knowledge into intelligent algorithms enables much more autonomous and efficient operation.

Finally, the thesis completes this digital ecosystem by using machine learning to predict the evolution of transmembrane pressure (TMP). By incorporating uncertainty analysis into models like LightGBM, the tool not only anticipates fouling episodes, but it also provides reliable decision support for preventive maintenance planning, demonstrating that predictive accuracy depends more on data quality than on model complexity.

Altogether, this research work demonstrates that the future of MBR systems is based on the convergence between experimental accuracy and digitalization, thereby transforming water treatment plants into intelligent, sustainable and resilient assets capable of adapting to water cycle's challenges. The doctoral thesis has been directed by Dr. Hèctor Monclús, Dr. Gaëtan Blandin and Dr. Joaquim Comas, and is fully aligned with ongoing research on membrane technologies for water treatment currently developed at LEQUIA research group of the University of Girona, to which they belong.

Main publications: 1) Albert Galizia et al, **Optimizing full-scale MBR performance: A dual-phase approach for real-time air-scouring and permeate flow modifications**, Journal of Water Process Engineering, 66, 2024, 105992, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105992>. 2) Albert Galizia et al, **Integration of Specific Aeration Demand (SAD) into Flux-Step Test for Submerged Membrane Bioreactor**. Membranes 2025, 15, 111. <https://doi.org/10.3390/membranes15040111>

Resum

Els biorreactors de membrana (BRMs) són una tecnologia d'avantguarda per al tractament d'aigües que proporciona un efluent d'alta qualitat en dissenys compactes. Tot i així, la seva sostenibilitat econòmica depèn de la superació de dos reptes crítics: l'embrutiment de les membranes i l'elevat consum energètic derivat de l'aeració de la neteja. Aquesta tesi aborda aquestes limitacions mitjançant un enfocament holístic que integra la caracterització experimental avançada, el control intel·ligent i la modelització predictiva.

La recerca d'Albert Galizia comença redefinint l'avaluació de la filtració en demostrar que el flux crític (J_c) és insuficient per sí sol, ja que ignora la interacció entre la l'estructura de la membrana i la seva intensitat d'aeració. Per a solucionar això, l'investigador proposa l'Assaig d'Esglaons d'Aeració (AST), un nou protocol que identifica llindars específics d'aeració. Aquest avenç permet substituir estratègies genèriques per dissenys optimitzats, demostrant que membranes amb fluxos crítics similars poden requerir intensitats d'aeració radicalment diferents per mantenir l'estabilitat.

Fent un salt del laboratori a l'escala real, es va desenvolupar i validar un sistema de control automàtic per lògica difusa a la planta "Riu Sec" de Sabadell durant vuit mesos d'operació continuada. Aquest controlador actua de manera dual i dinàmica, regulant l'aire de neteja i supervisant la producció de permeat en episodis d'estrès hidràulic. Els resultats són conclouents: la línia controlada va assolir una reducció dràstica del rati d'embrutiment (90%) i un estalvi energètic del 7% en el bufador de les membranes respecte a l'operació convencional. Aquests desenvolupaments confirmen que integrar el coneixement expert en algorismes intel·ligents comporta una operació molt més autònoma i eficient.

Finalment, la tesi completa aquest ecosistema digital amb l'ús de l'aprenentatge automàtic (*machine learning*) per predir l'evolució de la pressió transmembrana (TMP). Amb la incorporació de l'anàlisi d'incertesa en models com el LightGBM, l'eina no només anticipa episodis d'embrutiment, sinó que també proporciona un suport a la decisió fiable per a la planificació del manteniment preventiu, demostrant així que la precisió predictiva depèn més de la qualitat de les dades que no pas de la complexitat del model.

En conjunt, aquest treball de recerca demostra que el futur dels sistemes MBR rau en la convergència entre el rigor experimental y la digitalització, transformant així les plantes de tractament en actius intel·ligents, sostenibles i resil·lients capaços d'adaptar-se positivament als reptes del cicle de l'aigua. La tesi doctoral ha estat dirigida pel Dr. Hèctor Monclús, el Dr. Gaëtan Blandin i el Dr. Joaquim Comas, i està plenament alineada amb la recerca actual en tecnologies de membranes per al tractament d'aigua que es desenvolupa al grup de recerca LEQUIA de la Universitat de Girona al qual pertanyen.

Publicacions principals: 1) Albert Galizia et al, **Optimizing full-scale MBR performance: A dual-phase approach for real-time air-scouring and permeate flow modifications**, Journal of Water Process Engineering, 66, 2024, 105992, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105992>. 2) Albert Galizia et al, **Integration of Specific Aeration Demand (SAD) into Flux-Step Test for Submerged Membrane Bioreactor**. Membranes 2025, 15, 111. <https://doi.org/10.3390/membranes15040111>

Resumen

Los biorreactores de membrana (MBR) son una tecnología de vanguardia para el tratamiento de aguas que ofrece una excelente calidad de efluente en diseños compactos. Sin embargo, su sostenibilidad económica depende de la superación de dos retos críticos: el ensuciamiento de las membranas y el elevado consumo energético derivado de la aireación de limpieza. Esta tesis aborda estas limitaciones mediante un enfoque holístico que integra la caracterización experimental avanzada, el control inteligente y la modelización predictiva.

La investigación de Albert Galizia comienza redefiniendo la evaluación de la filtración al demostrar que el flujo crítico (J_c) es insuficiente por sí solo, ya que ignora la interacción entre la estructura de la membrana y la intensidad de la aireación de esta. Para solventarlo, el investigador propone el Ensayo de Escalones de Aireación (AST), un nuevo protocolo que identifica umbrales específicos de aireación. Este avance permite sustituir estrategias genéricas por diseños optimizados, demostrando que membranas con flujos críticos similares pueden requerir intensidades de aireación radicalmente distintas para mantener la estabilidad.

Haciendo el salto del laboratorio a la escala real, se desarrolló y validó un sistema de control automático por lógica difusa en la planta de Sabadell "Riu Sec" durante ocho meses de operación continuada. Este controlador actúa de forma dual y dinámica, regulando el aire de limpieza y supervisando la producción de permeado ante eventos de estrés hidráulico. Los resultados son concluyentes: la línea controlada logró una reducción drástica de la tasa de ensuciamiento (un 90% menor) y un ahorro energético del 7% en la soplante de membranas respecto a la operación convencional. Estos hallazgos confirman que integrar el conocimiento experto en algoritmos inteligentes permite una operación mucho más autónoma y eficiente.

Finalmente, la tesis completa este ecosistema digital mediante el uso de aprendizaje automático (*machine learning*) para predecir la evolución de la presión transmembrana (TMP). Al incorporar análisis de incertidumbre en modelos como LightGBM, la herramienta no solo anticipa episodios de ensuciamiento, sino que proporciona un soporte de decisión fiable para la planificación del mantenimiento preventivo, demostrando que la precisión predictiva depende más de la calidad de los datos que de la complejidad del modelo.

En conjunto, este trabajo de investigación demuestra que el futuro de los sistemas MBR reside en la convergencia entre el rigor experimental y la digitalización, transformando las plantas de tratamiento en activos inteligentes, sostenibles y resilientes capaces de adaptarse proactivamente a los retos del ciclo del agua. La tesis doctoral ha sido dirigida por el Dr. Héctor Monclús, el Dr. Gaëtan Blandin y el Dr. Joaquim Comas, y está plenamente alineada con la investigación actual en membranas para el tratamiento de agua que se lleva a cabo en el grupo de investigación LEQUIA de la Universidad de Girona al que pertenecen.

Principales publicaciones: 1) Albert Galizia et al, **Optimizing full-scale MBR performance: A dual-phase approach for real-time air-scouring and permeate flow modifications**, Journal of Water Process Engineering, 66, 2024, 105992, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105992>. 2) Albert Galizia et al, **Integration of Specific Aeration Demand (SAD) into Flux-Step Test for Submerged Membrane Bioreactor**. Membranes 2025, 15, 111. <https://doi.org/10.3390/membranes15040111>