



**Defensa de Tesi Doctoral de Montserrat Dalmau Figueras**

# **Integrated operation of membrane bioreactors: simulation and experimental studies**

Directors de la tesi: Dr. Joaquim Comas, Dr. Ignasi Rodriguez-Roda i Dr. Eduardo Ayesa

**Divendres, 17 d'octubre a les 10:30h**

Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona, Auditori de l'edifici Jaume Casademont



## **New strategies for the improvement of membrane bioreactor operation for urban wastewater treatment through experimental and simulation studies**

---

Due to the growing demand for fresh water, increasingly stringent environmental water quality requirements and the increase of areas prone to water scarcity, MBR technology has become a competitive alternative for municipal wastewater treatment plants (WWTP) or their upgrades. Membrane bioreactors (MBR) are a combination of common bioreactors and membrane filtration units for biomass retention, presenting unique advantages such as high effluent quality and a smaller footprint than that occupied by conventional wastewater treatment plants. Although fouling and its associated operational costs have been known to be a key issue in MBRs, the optimal operation to enhance MBR efficiency regarding biological and physical processes is still lacking. For this reason, the research developed in the framework of this thesis has been focused on the identification of the optimal operational strategies to improve the efficiency of the processes taking place in the MBR in an integrated way, optimizing simultaneously biological and physical processes to minimize fouling and, if possible, operational costs.

This research has been presented in the doctoral thesis entitled “Integrated Operation of membrane Bioreactors: Simulation and experimental studies”, by Montse Dalmau. This has been carried out within the Laboratory of Chemical and environmental Engineering (LEQUIA) group of the University of Girona (UdG), and supervised by Joaquim Comas (UdG), Ignasi Rodriguez-Roda (UdG, ICRA) and Eduardo Ayesa (CEIT). This thesis presents a step towards the integrated operation of MBRs through experimental and model-based studies. Interactions between the biological (nutrient removal and sludge characteristics) and physical (hydrodynamics and filtration) processes in MBRs were studied, with the final aim being to improve their integrated operation and control.

To achieve this aim, a deterministic (or mechanistic) model was developed which describes the processes taking place within the MBR. This was applied to a pilot plant and full-scale MBR to identify the most sensitive parameters with respect to the integrated operation of the biological nutrient removal, filtration and hydrodynamic processes. Two different models were developed to describe complex fouling phenomenon (deterministic and black box, a data-driven model adjusting the output data to the input data based on the process history) to identify the optimal conditions for good filtration performance.

Additionally, two experimental studies complemented the predictions of the models. Firstly, interrelations between biological nutrient removal processes, filtration processes and sludge characteristics determined the strategies for the integrated control of the two most important operating parameters in MBR: biological and membrane aeration. The identification of the optimal aeration conditions led to an airflow rate reduction of 42%, representing an energy saving of 75% compared to the initial operating conditions. Secondly, a novel air-scouring control system was successfully validated for 320 days in a full-scale MBR. The average reduction of the air-scouring flow rate was 13%, with the maximum reduction being limited to 20%, without compromising sludge characteristics and effluent quality. The control actions led to an average decrease in the energy consumption for membrane aeration of 14% and reaching a maximum of 22%.

The results obtained as part of this thesis will improve the integrated operation and the automatic control of the biological and filtration processes simultaneously. Moreover, the reduced energy costs and the better understanding of MBR operation may contribute to making MBR systems a more competitive technology to deal with water scarcity problems.

## **Noves estratègies per millorar l'operació dels bioreactors de membranes pel tractament d'aigües residuals urbanes, mitjançant estudis experimentals i de simulació**

---

Amb la creixent demanda d'aigua, els rigorosos requeriments de qualitat i l'increment de zones propenses a l'escassetat d'aigua, els bioreactors de membranes (BRM) han esdevingut una opció molt prometedora per les estacions depuradores d'aigües residuals. Els BRM són una combinació dels reactors biològics convencionals seguits per una unitat de filtració que reté la biomassa, de manera que presenten com a grans avantatges una gran qualitat d'aigua a la sortida, amb estàndards de reutilització, i molt poca necessitat d'espai. L'embrutiment de les membranes i els costos associats per la seva neteja són els principals inconvenients. Per això, la recerca desenvolupada en el marc d'aquesta tesi s'ha centrat en identificar les estratègies d'operació òptima per millorar l'eficiència dels processos que tenen lloc en els BRM d'una forma integrada, és a dir, optimitzar al mateix temps els processos biològics d'eliminació de contaminants i els físics de filtració, per tal de minimitzar l'embrutiment i, si és possible, reduir els costos d'operació.

Aquesta recerca ha donat lloc a la tesi doctoral de la Montse Dalmau, del Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA) de la Universitat de Girona (UdG), que porta per títol "*Integrated operation of membrane bioreactors: simulation and experimental studies*", i que ha estat dirigida per Joaquim Comas (UdG), Ignasi Rodríguez-Roda (UdG, ICRA) i Eduardo Ayesa (CEIT). Aquesta tesi representa un pas endavant cap a l'operació integrada dels BRM mitjançant estudis experimentals i de modelització. Les interaccions entre els processos biològics (eliminació de nutrients i característiques de la biomassa) i físics (hidrodinàmica del procés i filtració) que tenen lloc als BRM s'han estudiat, amb l'objectiu final de millorar-ne la seva operació i el control integrat.

Per tal d'aconseguir-ho, es va desenvolupar un model determinístic o mecanístic, és a dir, que intenta descriure els processos dels BRM, i es va aplicar a una planta BRM pilot i a una planta BRM a escala real per tal d'identificar quins eren els paràmetres més sensibles respecte l'operació integrada dels processos d'eliminació de nutrients, filtració i hidrodinàmica. A més a més, degut a la complexitat del procés d'embrutiment de les membranes, dos models de diferent naturalesa (un de determinístic i un més tipus caixa negra, basat en dades, que intenta ajustar les dades de sortida a les dades d'entrada en base a la història del procés) es van utilitzar per identificar quines eren les condicions d'operació òptimes per a la filtració.

D'altra banda, dos estudis experimentals van permetre fer un pas més enllà a les prediccions dels models. D'una banda, es va estudiar quin era l'efecte de l'aeració del compartiment biològic i de les membranes sobre els processos de filtració biològics i l'estat de la biomassa. Aquest estudi va permetre identificar les condicions d'operació òptimes dels BRM, amb una reducció del 42% en el cabal d'aire total, aconseguint un 75% d'estalvi energètic respecte l'operació inicial. D'altra banda, el segon estudi es va centrar en la validació d'un sistema innovador de control de l'aeració de les membranes en una planta a escala real. El sistema de control va poder ser validat amb èxit durant 320 dies. La mitjana de reducció del cabal d'aeració va ser del 13%, amb un estalvi màxim limitat per l'usuari al 20%, sense afectar a la velocitat d'embrutiment de les membranes, ni a les característiques del fang ni a la qualitat de l'efluent. Aquesta reducció del cabal d'aire es va traduir en una disminució mitjana del 14% del consum energètic de l'aeració de membranes, aconseguint-se estalvis màxims del 22%.

Els resultats obtinguts en aquesta tesi permetran millorar l'operació i el control automàtic dels processos biològics i de filtració d'una forma integrada, reduir també els costos energètics i contribuir d'aquesta manera a la millora de la competitivitat de la tecnologia BRM, especialment com a solució per a problemes d'escassetat d'aigua.