



PhD dissertation by **Laura Ferràndez Galceran**

Towards the integrated operation of advanced technologies in the Figueres Drinking Water Treatment Plant

Supervisors: Dr Hèctor Monclús Sales and Alba Cabrera Codony

Industrial doctorate with FISERSA

Jury members: Dr Irene Jubany (Eurecat), Dr Beñat Elduayen (CEIT) and Dr Andrea Turolla (Politecnico di Milano)

Friday 13th March 2026, 10:00h, UdG Faculty of Sciences (“Aula Magna”)

Carrer M^a Aurèlia Capmany 61, Campus Montilivi, 17003 Girona



Abstract

Drinking water treatment plants (DWTPs) are aimed at producing safe and high-quality drinking water under increasingly variable environmental and operational conditions. These facilities must continuously adapt their treatment strategies to ensure both chemical and microbiological safety, especially under the growing influence of anthropogenic pressures, climate variability, and more stringent regulations. Achieving this balance requires advanced monitoring and control strategies capable of integrating process knowledge, sensor data, and operational decision-making.

Within this context, Laura Ferràndez's doctoral research proposes the development of control modules and a conceptual framework for an Environmental Decision Support System aimed at enhancing risk-based management and operational intelligence in DWTPs. The work has been conducted within the framework of an industrial doctorate in collaboration with water utility Figueres de Serveis S.A. (Catalonia, Spain), using the **Figueres DWTP as case study**. The research integrates experimental, modelling, and operational approaches to address the dual challenge of mitigating both chemical and microbiological risks in drinking water production.

The main outcome of this doctoral thesis is the **design, implementation, and full-scale validation of a fuzzy inference system for dynamic ozone dose optimisation**. By coupling 254 nm absorbance and temperature as real-time surrogates of natural organic matter reactivity, the model enables adaptive oxidation control under fluctuating raw-water conditions. The fuzzy-based controller demonstrated consistent predictive and adaptive behaviour, maintaining oxidation efficiency while minimising reagent consumption. This represents a robust proof of concept for the implementation of data-driven and knowledge-based control tools in DWTPs.

Beyond this validated module, **two additional control modules have been conceptually developed**. The first focuses on chemical risk assessment through predictive estimation of DBP formation potential, while the second targets microbiological risk evaluation based on organic carbon and bacterial regrowth indicators. Together, these modules constitute the foundation for a modular decision support framework proposed for future integration, enabling comprehensive, risk-informed operation across treatment processes.

In summary, this thesis contributes to bridging the gap between mechanistic understanding, experimental knowledge, and real-time operational control. The outcomes provide a methodological and conceptual basis for the gradual development of intelligent decision-support tools in drinking water treatment, moving towards predictive, adaptive, and resilient water management systems that ensure long-term safety, sustainability, and regulatory compliance.

The thesis has been directed by Dr Hèctor Monclús and Dr Alba Cabrera from LEQUIA research of the University of Girona (UdG), with a long-track record of research and technology transfer in drinking water systems. The PhD dissertation, which is open to the public, will be held on Friday 13th March at 10:00h at UdG Faculty of Sciences.

Resum

Les estacions de tractament d'aigua potable (ETAPs) han de produir aigua segura i de qualitat sota condicions ambientals i operatives cada vegada més variables. Així, han d'adaptar contínuament les seves estratègies de tractament per garantir la seguretat química i microbiològica, especialment davant la creixent pressió antròpica, la variabilitat climàtica i unes regulacions cada vegada més estrictes. Aconseguir aquest equilibri requereix estratègies de monitoratge i de control avançades, capaces d'integrar coneixement de procés, dades sensorials i suport a la presa de decisions operatives.

En aquest context, la tesi de Laura Ferràndez proposa el desenvolupament de mòduls de control i la definició conceptual d'un Sistema de Suport a la Decisió Ambiental orientat a millorar la gestió basada en el risc i la intel·ligència operativa en ETAPs. El treball s'ha dut a terme en el marc d'un **doctorat industrial amb l'empresa Figueres de Serveis S.A. (FISERSA)**, utilitzant **l'ETAP de Figueres com a cas d'estudi**. La recerca integra enfocaments experimentals, de modelització i operatius per abordar el repte de reduir els riscos químics i microbiològics en la producció d'aigua potable.

El resultat principal és el **disseny, la implementació i la validació a escala real d'un sistema d'inferència difusa per a la dosificació adaptativa d'ozó**. El model utilitza la senyal d'absorbància a 254 nm i la temperatura com a indicadors en temps real de la reactivitat de la matèria orgànica natural, permetent un control d'oxidació sota condicions variables. El controlador difús va mostrar un comportament predictiu i robust, mantenint l'eficiència d'oxidació alhora que reduïa el consum de reactius, constituint una prova de concepte sòlida per a eines de control basades en dades i coneixement.

A més d'aquest mòdul validat, s'han **desenvolupat conceptualment dos mòduls addicionals**: un per a l'avaluació del risc químic mitjançant la predicció del potencial de formació de subproductes de desinfecció, i un altre per al risc microbiològic basat en indicadors de carboni orgànic i de recreixements bacterians. Aquests components constitueixen la base per a la futura integració dins d'un marc d'ajuda a la decisió modular que permeti una gestió integral i informada del risc al llarg dels diferents processos de tractament.

En conjunt, aquesta tesi estableix un marc de connexió entre coneixement mecanístic, experimentació i control operatiu en temps real. Els resultats proporcionen una base metodològica i conceptual per al desenvolupament progressiu d'eines intel·ligents de suport a la decisió en el tractament d'aigua potable, avançant cap a sistemes de gestió predictius, adaptatius i resilients que garanteixin la seguretat, la sostenibilitat i el compliment normatiu a llarg termini.

La tesi ha estat dirigida pel Dr. Hèctor Monclús i per la Dra Alba Cabrera del grup de recerca LEQUIA de la Universitat de Girona (UdG), que compta amb un important bagatge de recerca i transferència en sistemes de tractament d'aigua potable. La defensa de la tesi doctoral, que està oberta al públic, tindrà lloc el divendres 13 de març a les 10:00h a la Facultat de Ciències de la UdG.

Resumen

Las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs) tienen que producir agua segura y de calidad bajo condiciones ambientales y operativas cada vez más variables. Así, deben adaptar continuamente sus estrategias de tratamiento para garantizar la seguridad química y microbiológica, especialmente ante la creciente presión antrópica, la variabilidad climática y unas regulaciones cada vez más estrictas. Conseguir este equilibrio requiere estrategias de monitorización y control avanzadas, capaces de integrar conocimiento de proceso, datos sensoriales y apoyo a la toma de decisiones operativas.

En este contexto, la tesis de Laura Ferràndez propone el desarrollo de módulos de control y la definición conceptual de un Sistema de Apoyo a la Decisión Ambiental orientado a mejorar la gestión basada en el riesgo y la inteligencia operativa en ETAPs. El trabajo se ha llevado a cabo en el marco de un **doctorado industrial con la empresa Figueres de Serveis S.A. (FISERSA)**, utilizando la **ETAP de Figueres como caso de estudio**. La investigación integra enfoques experimentales, de modelización y operativos para abordar el reto de reducir los riesgos químicos y microbiológicos en la producción de agua potable.

El resultado principal es el **diseño, implementación y validación a escala real de un sistema de inferencia difusa para la dosificación adaptativa de ozono**. El modelo utiliza la señal de absorbancia a 254 nm y la temperatura como indicadores en tiempo real de la reactividad de la materia orgánica natural, permitiendo un control de oxidación bajo condiciones variables. El controlador difuso mostró un comportamiento predictivo y robusto, manteniendo la eficiencia de oxidación a la vez que reducía el consumo de reactivos, constituyendo una prueba de concepto sólida para herramientas de control basadas en datos y conocimiento.

Además de este módulo validado, **se han desarrollado conceptualmente dos módulos adicionales**: uno para la evaluación del riesgo químico mediante la predicción del potencial de formación de subproductos de desinfección y otro para el riesgo microbiológico basado en indicadores de carbono orgánico y de recrecimientos bacterianos. Estos componentes constituyen la base para la futura integración dentro de un marco de ayuda a la decisión modular que permita una gestión integral e informada del riesgo a lo largo de los distintos procesos de tratamiento.

En su conjunto, esta tesis establece un marco de conexión entre conocimiento mecanístico, experimentación y control operativo en tiempo real. Los resultados proporcionan una base metodológica y conceptual para el progresivo desarrollo de herramientas inteligentes de apoyo a la decisión en el tratamiento de agua potable, avanzando hacia sistemas de gestión predictivos, adaptativos y resilientes que garanticen la seguridad, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo a largo plazo.

La tesis ha sido dirigida por el Dr. Héctor Monclús y por la Dra. Alba Cabrera del grupo de investigación LEQUIA de la Universidad de Girona (UdG), que cuenta con un importante bagaje de investigación y transferencia en sistemas de tratamiento de agua potable. La defensa de la tesis doctoral, abierta al público, tendrá lugar el viernes 13 de marzo a las 10:00h en la Facultad de Ciencias de la UdG.