



PhD dissertation by **Carla Vázquez Gómara**

Development of an integrated CFD and biokinetic model of a full-scale oxidation ditch: a case study of La Almunia WWTP

Supervisors: Dr Jesús Colprim (UdG) and Maria del Mar Micó (ACCIONA)

Industrial Doctorate – ACCIONA and LEQUIA research group of Universitat de Girona

21st January 2026, 10:30h, UdG Faculty of Sciences (“Aula Magna”)

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



Abstract

Urban wastewater treatment plants (WWTPs) are currently facing increasing regulatory and energy pressures. New European discharge limits for nitrogen, phosphorus and micropollutants require higher treatment performance, while also aiming to reduce energy use. These demands expose a long-standing challenge: although biological treatment processes have been modelled for decades, most modelling tools still treat large reactors as if they were perfectly mixed tanks. In reality, full-scale reactors exhibit complex circulation patterns, oxygen gradients and zones with very different biological activity. Without understanding these internal heterogeneities, it becomes difficult to optimise operation or to reduce aeration and mixing costs, which remain the most energy-intensive parts of the process.

Carla Vázquez's doctoral thesis addresses that need by applying detailed **Computational Fluid Dynamics (CFD)** together with **Activated Sludge Models (ASM)** at full scale, showing how their integration can reveal the hydrodynamic and biological behaviour of operating reactors. The work focuses on a full-scale oxidation ditch at La Almunia WWTP (Zaragoza, Spain). In constructing the model, particular care was taken to achieve a balance between accuracy (capturing key geometrical and operational details) and computational cost, in order to build a practical tool for real-case applications.

The validated hydrodynamic model reproduced key flow features observed on site, such as the faster velocities in the outer channel and the presence of recirculation and low-velocity regions. These insights were used to evaluate the effect of different agitation configurations. Results showed that the total mixing input could be reduced by about 30% without exceeding commonly accepted thresholds for low-velocity zones, indicating potential energy savings without compromising process stability.

In the final part of the work, the ASM2d biokinetic model was embedded inside the CFD environment to simulate how oxygen and key pollutants evolve throughout the reactor. The model revealed spatial gradients that conventional models cannot capture, including the coexistence of aerobic and anoxic areas during aeration. The study also assessed the representativeness of the plant's dissolved-oxygen sensor and found that the current position slightly overestimates the average oxygen level of the aerated region. Nearby locations showed differences of up to 1 mg/L, a significant deviation that could influence control performance and reinforces the importance of sensor placement.

Overall, the thesis demonstrates how **full-scale CFD–ASM2d modelling can improve wastewater treatment process understanding**, highlight mixing and transfer limitations, and support more energy-efficient operational decisions. This work was carried out as an **industrial doctorate with ACCIONA and LEQUIA research group (University of Girona)**, within the framework of the HADES project (Herramienta de Apoyo a la Decisión para la optimización de la operación de EDARs; references CPP2021-009097, DI 068).

Resum

Les estacions depuradores d'aigües residuals urbanes (EDARs) afronten una pressió creixent en termes regulatoris i energètics. Els nous límits europeus de nitrogen, fòsfor i microcontaminants exigeixen un rendiment de depuració més elevat, alhora que es busca reduir el consum energètic. Aquestes demandes posen de manifest un repte persistent: tot i dècades de modelització, moltes eines continuen representant els reactors com si fossin tancs perfectament barrejats. A escala real, però, els reactors presenten patrons de circulació complexos, gradients d'oxigen i zones amb activitat biològica molt diferent. Sense entendre aquestes heterogeneïtats internes, és difícil optimitzar l'operació o reduir el consum d'aeració i mescla, que continuen sent les parts més intensives en energia del procés.

La tesi de Carla Vázquez aborda aquesta necessitat mitjançant l'aplicació detallada de la **Dinàmica de Fluids Computacional** (en anglès, *Computational Fluids Dynamics* o CFD) combinada amb els **Models de Fangs Actius** (*Activated Sludge Models* o ASM) a escala real, mostrant com aquesta integració pot revelar el comportament hidrodinàmic i biològic dels reactors en funcionament. El treball se centra en un canal d'oxidació a escala real a l'EDAR de La Almunia (Saragossa). En la construcció del model es va posar especial atenció a aconseguir un equilibri entre la precisió (capturant els detalls geomètrics i operatius més rellevants) i el cost computacional, per tal de desenvolupar una eina pràctica aplicable a casos reals.

El model hidrodinàmic validat va reproduir les principals característiques del flux observades in situ, com ara les velocitats més elevades al canal exterior i la presència de zones de recirculació i de baixa velocitat. Aquest coneixement es va utilitzar per avaluar diferents configuracions dels agitadors. Els resultats van mostrar que la potència total de mescla es podia reduir aproximadament un 30% sense superar els límits habitualment acceptats per al volum de zones de baixa velocitat, fet que indica un potencial estalvi energètic sense comprometre l'estabilitat del procés.

En l'última part del treball, el model biocinètic ASM2d es va integrar dins de l'entorn CFD per simular l'evolució de l'oxigen i dels principals contaminants al llarg del reactor. El model va revelar gradients espacials que els models convencionals no capturen, incloent-hi la coexistència de zones aeròbies i anòxiques durant l'aeració. L'estudi també va avaluar la representativitat de la sonda d'oxigen dissolt de la planta i va trobar que la ubicació actual tendeix a sobreestimar lleugerament la concentració mitjana d'oxigen de la zona airejada. Es van detectar punts propers amb diferències de fins a 1 mg/L, una desviació significativa que pot influir en el control del procés i que reforça la importància d'escollir adequadament la posició de la sonda.

En conjunt, la tesi demostra com **la modelització integrada CFD-ASM2d a escala real pot millorar la comprensió del procés de tractament d'aigües residuals**, identificar limitacions de mescla i transferència, i donar suport a decisions operatives més eficients energèticament. Aquest treball s'ha dut a terme com a **doctorat industrial amb ACCIONA i el grup de recerca LEQUIA (Universitat de Girona)**, en el marc del projecte HADES (Herramienta de Apoyo a la Decisión para la optimización de la operación de EDARs; referències CPP2021-009097, DI 068).

Resumen

Las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDARs) se enfrentan a una presión creciente en términos regulatorios y energéticos. Los nuevos límites europeos de nitrógeno, fósforo y microcontaminantes exigen un rendimiento de depuración más alto, persiguiendo a la vez la reducción del consumo de energía. Estas demandas manifiestan un reto persistente: a pesar de décadas de modelización, muchas herramientas continúan representando los reactores como si fueran tanques perfectamente mezclados. A escala real, sin embargo, los reactores presentan patrones de circulación complejos, gradientes de oxígeno y zonas con actividad biológica muy distinta. Sin comprender estas heterogeneidades internas, es difícil optimizar o reducir el consumo de aeración y mezcla, que continúan siendo las partes más intensivas en energía del proceso.

La tesis de Carla Vázquez aborda esta necesidad mediante la aplicación detallada de la **Dinámica de Fluidos Computacional** (en inglés, *Computational Fluids Dynamics* o CFD) combinada con los **Modelos de Fangos Activos** (*Activated Sludge Models* o ASM) a escala real, mostrando como esta integración puede revelar el comportamiento hidrodinámico y biológico de los reactores en funcionamiento. El trabajo se centra en un canal de oxidación a escala real en la EDAR de La Almunia (Zaragoza). En la construcción del modelo se puso especial atención en conseguir un equilibrio entre la precisión (capturando los detalles geométricos y operativos más relevantes) y el coste computacional, con el fin de desarrollar una herramienta práctica aplicable a casos reales.

El modelo hidrodinámico validado reprodujo las principales características del flujo observadas in situ, como las velocidades más elevadas en el canal exterior y la presencia de zonas de recirculación y de baja velocidad. Este conocimiento se utilizó para evaluar las distintas configuraciones de los agitadores. Los resultados mostraron que la potencia total de la mezcla se podía reducir alrededor de un 30% sin superar los límites habitualmente aceptados por el volumen de zonas de baja velocidad, lo cual indica un potencial de ahorro energético sin comprometer la estabilidad del proceso.

En la última parte del trabajo, el modelo biocinético ASM2d se integró dentro del entorno CFD para simular la evolución del oxígeno y de los principales contaminantes a lo largo del reactor. El modelo reveló gradientes espaciales que los modelos convencionales no capturan, incluyendo la coexistencia de zonas aerobias y anóxicas durante la aeración. El estudio también evaluó la representatividad de la sonda de oxígeno disuelto en la planta, hallando que la ubicación actual tiende a sobreestimar ligeramente la concentración media de oxígeno de la zona aireada. Se detectaron puntos cercanos con diferencias de hasta 1 mg/L, una desviación significativa que puede influir en el control del proceso y que refuerza la importancia de escoger de forma adecuada la posición de la sonda.

En conjunto, la tesis demuestra cómo **la modelización integrada CFD-ASM2d a escala real puede mejorar la comprensión del proceso de tratamiento de aguas residuales**, identificar limitaciones de mezcla y transferencia, y dar apoyo a decisiones operativas más eficientes energéticamente. Este trabajo se ha llevado a cabo como **doctorado industrial con ACCIONA y el grupo de investigación LEQUIA (Universitat de Girona)**, en el marco del proyecto HADES (Herramienta de Apoyo a la Decisión para la optimización de la operación de EDARs; referències CPP2021-009097, DI 068).