



PhD dissertation by **Oriol Carbó Monmany**

Towards energy neutral WWTPs: piloting mainstream partial nitrification AGS and anammox

Supervisors: Dr Jesús Colprim (LEQUIA-UdG), Dr Belén Gutiérrez (GS INIMA) and Dr Albert Magrí

Thursday, 24th October 2024, 10:30h, Aula Magna Rosalind Franklin, Facultat de Ciències, UdG,

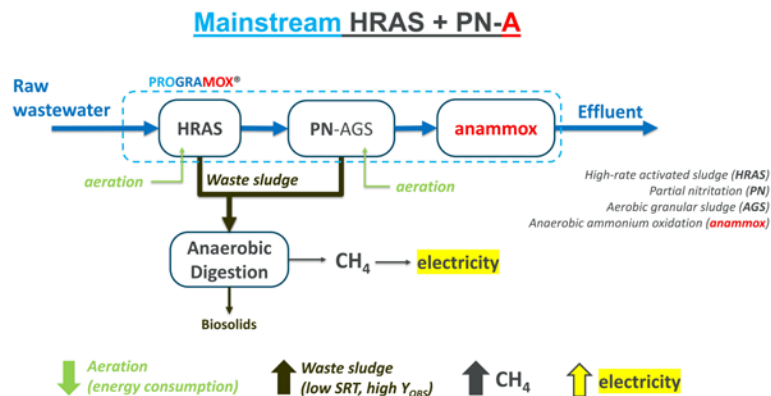
c/ M^a Aurèlia Capmany 69, 17003 Girona



Abstract

Wastewater treatment plants (WWTPs) play a crucial role in safeguarding public health by treating wastewater to return it to the natural environment in the best conditions. However, they are high-energy intensive. According to some estimations, wastewater treatment accounts for about 3% of the total electricity consumption worldwide, with significant associated greenhouse gas emissions and operational costs.

In this context, GS INIMA, a leading global company within the water sector, is currently working in a new water treatment configuration in WWTPs to reduce energy consumption (due to a lower need of aeration) and optimize biogas production and recovery from sludge anaerobic digestion (through a lower organic matter consumption in the denitrification process).



Patented and registered under the trade name PROGRAMOX[®], this configuration is based on a first high rate activated sludge (HRAS) reactor where organic matter is redirected to the sludge line to boost biogas production. This is followed by the autotrophic removal of nitrogen in two stages: i) a partial nitritation (PN)-aerobic granular sludge (PN-AGS) reactor, and ii) an anaerobic ammonium oxidation (anammox) reactor. The goal is to save energy and make the wastewater treatment process more environmentally and economically sustainable.

To achieve this goal, GS INIMA has collaborated with the Laboratory of Chemical and Environmental Engineering of the University of Girona (LEQUIA), one of the pioneer groups in Spain in studying PN-AGS and anammox treatments. Oriol Carbó's thesis, focused on both processes, had two scientific objectives: 1) to optimize these processes to ensure its robustness and replicability, and 2) quantify the energy consumption and the potential of energy recovery in WWTPs. The experimental work was initiated at LEQUIA laboratories with an AGS reactor. The researcher then continued working in a pilot plant specially constructed to study the PROGRAMOX[®] configuration (HRAS + PN-AGS + anammox) and able to treat 1.5m³ per day. The plant was installed in La Garriga WWTP (Barcelona) and was operated with wastewater from this facility.

Results obtained allowed the research group and the enterprise to acquire new knowledge and expertise on the processes investigated. In fact, GS INIMA is currently working on the construction of a new demonstration plant to validate the PROGRAMOX[®] configuration at full-scale. In the AGS reactor, a selective wasting from the top of the settled sludge bed was found to be a successful strategy to effectively trigger the formation and establishment of aerobic granules in the system. However, full granulation was not seen as crucial to the proper performance of the AGS reactor. The maintenance of a low solids volumetric index (SVI < 100 mL/g) with a mixture of granules and flocs was helpful enough for an improved operation with high organic matter removal and nitratation repression. Stable PN was achieved under mainstream conditions by treating real HRAS effluent. Nitrite oxidizing bacteria (NOB) activity was successfully repressed by the free nitrous acid (FNA) produced in the reactor. In the anammox reactor, an effluent with a suitable quality (i.e., total nitrogen, TN, < 8 mg/L) could be achieved in the reactor by controlling the previous PN conversion at NO₂/NH₄⁺ ratios lower (0.80 g N/g N) than the theoretical 1.32 g N/g N, which implies a lower oxygen requirement. Finally, the energy balance indicates that energy savings (kWh/m³) of 44 % could be reached, which could have a significant impact on the sustainability of these facilities.

This doctoral thesis was carried out within the framework of an industrial doctoral project cofounded by the Spanish Ministry of Science and had two directors from academia (Dr Jesús Colprim and Dr Albert Magrí) and one from the business sector (Dr Belén Gutiérrez, RD Area of GS INIMA).

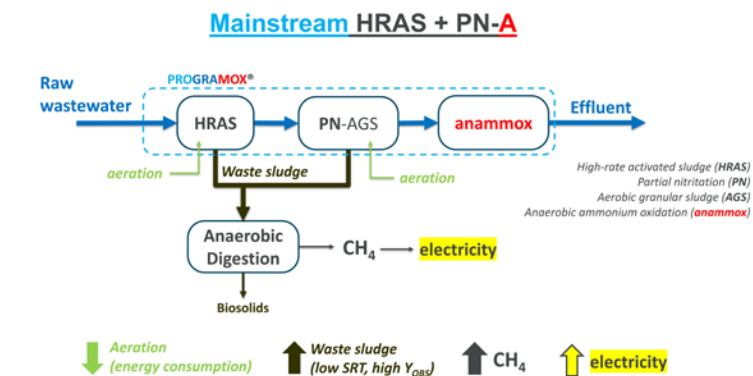
Publication:

- Oriol Carbó, Jaume Teixidó, Joan Canals, Antonio Ordóñez, Albert Magrí, Mercè Baldi, Belén Gutiérrez, Jesús Colprim, Achieving mainstream partial nitritation with aerobic granular sludge treating high-rate activated sludge effluent, Journal of Water Process Engineering, Volume 60, 2024, 105165, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105165>.

Resum

Les estacions depuradores d'aigües residuals (EDARs) tenen un paper crucial en la protecció de la salut pública, ja que tracten l'aigua residual per poder retornar-la en bon estat al medi natural. Tanmateix, també consumeixen grans quantitats d'energia. D'acord amb algunes estimacions, el tractament de l'aigua residual representa el 3% del consum elèctric global, amb les emissions de gasos d'efecte hivernacle i els costos econòmics que això comporta.

En aquest context, l'empresa GS INIMA, un referent mundial en el sector d'aigua, està treballant en una nova configuració de tractament d'aigua a les EDARs que redueixi el consum d'energia (gràcies a una menor necessitat d'aportació d'oxigen), i optimitzi la producció i recuperació del biogàs resultant de la digestió anaeròbia dels fangs (a través d'un menor consum de matèria orgànica en el procés de desnitrificació).



Aquesta configuració, patentada i registrada amb el nom comercial de PROGRAMOX[®], consta d'un primer reactor de fangs actius d'alta càrrega (en anglès, *high-rate activated sludge* o HRAS) en el qual la matèria orgànica de l'aigua es redirigeix a la línia dels fangs per afavorir la producció de biogàs. A continuació, té lloc una eliminació autòtropa del nitrogen en dues etapes: la primera, un reactor de biomassa aeròbia granular (en anglès, *aerobic granular sludge* o AGS) adaptat a un procés de nitrificació parcial (en anglès, *partial nitritation* o PN) i la segona, un reactor *anammox* (anaerobic ammonium oxidation). L'objectiu final, estalviar energia i fer que el procés de depuració sigui més sostenible, tant mediambientalment com econòmicament.

Per assolir aquest objectiu, GS INIMA ha col·laborat amb el Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental de la Universitat de Girona (LEQUIA), un dels grups de recerca pioners a Espanya en l'estudi dels tractaments PN-AGS i *anammox*. La tesi d'Oriol Carbó, centrada en aquests dos processos, tenia dos objectius científics: 1) optimitzar aquests processos per garantir la seva robustesa i replicabilitat, i 2) quantificar el consum energètic i el potencial de recuperació d'energia de l'EDAR. L'investigador va iniciar el treball de recerca en un reactor AGS als laboratoris del LEQUIA. Després va realitzar més experiments en una planta pilot especialment construïda per estudiar tota la configuració PROGRAMOX[®] (HRAS + PN-AGS + *anammox*) i capaç de tractar 1.5m³ per dia. La planta es va ubicar a l'EDAR de La Garriga i es va operar amb aigua residual d'aquesta instal·lació.

Els resultats obtinguts han permès tant al grup de recerca com a l'empresa adquirir nous coneixements i experteses en els processos investigats. De fet, actualment GS INIMA està treballant en la construcció d'una nova planta de demostració per validar la configuració PROGRAMOX[®] a escala real. Al reactor AGS, una purga selectiva de dalt del llit de fangs decantats va demostrar ser una estratègia exitosa per sostenir la formació de grànuls aerobis al sistema. Tot i així, una completa granulació de la biomassa no va ser crucial per al correcte funcionament del reactor. Mantenir una bona decantabilitat (SVI, < 100 mL/g) amb una barreja de grànuls i flocs va resultar ser suficient per eliminar la matèria orgànica i reprimir la formació de NO₃⁻. Es va aconseguir una PN estable a la línia d'aigua tractant l'efluent d'un HRAS. Es va reprimir l'activitat dels bacteris nitrít-oxidants (NOB) gràcies a la producció d'àcid nítrós lliure (FNA) al reactor. Pel que fa al reactor *anammox*, es va aconseguir un efluent amb una qualitat adequada (TN < 8 mg/L) controlant la conversió de la prèvia PN a ratis NO₂⁻/NH₄⁺ inferiors (0.8 g N/g N) del teòric 1.32 g N/g N, implicant un requeriment d'oxigen inferior. Finalment, el balanç energètic realitzat indica que amb la nova configuració PROGRAMOX[®] es podria assolir un 44% d'estalvi energètic (kWh/m³) en les EDARs, la qual cosa podria tenir un impacte significatiu en la sostenibilitat d'aquestes infraestructures.

Aquesta tesi s'ha desenvolupat en el marc d'un projecte de doctorat industrial cofinançat pel Ministeri de Ciència, i ha tingut dos directors a l'entorn acadèmic (els Drs. Jesús Colprim i Albert Magrí) i una directora a l'entorn empresarial (la Dra. Belén Gutiérrez, de l'àrea de R+D de GS INIMA).

Publicació:

- Oriol Carbó, Jaume Teixidó, Joan Canals, Antonio Ordóñez, Albert Magrí, Mercè Baldi, Belén Gutiérrez, Jesús Colprim, Achieving mainstream partial nitritation with aerobic granular sludge treating high-rate activated sludge effluent, Journal of Water Process Engineering, Volume 60, 2024, 105165, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105165>.

Resumen

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) juegan un papel crucial en la protección de la salud pública, ya que tratan el agua residual para poder devolverla en buen estado al medio natural. Sin embargo, también consumen gran cantidad de energía. Según algunas estimaciones, el tratamiento de agua residual representa el 3% del consumo eléctrico global, con las emisiones de gases de efecto invernadero y los costos económicos que ello conlleva.

En este contexto, la empresa GS INIMA, referente mundial en el sector del agua, está trabajando en una nueva configuración de tratamiento de agua en las EDARs que reduzca el consumo de energía (gracias a una menor necesidad de aporte de oxígeno), y que optimice la producción y recuperación del biogás resultante de la digestión anaerobia de los lodos (a través de un menor consumo de materia orgánica en el proceso de desnitrificación).

Esta configuración, patentada y registrada con el nombre comercial de PROGRAMOX[®], consta de un primer reactor de lodos activos de alta carga (en inglés, *high-rate activated sludge* o HRAS) en el cual la materia orgánica del agua se redirige a la línea de lodos para favorecer la producción de biogás. A continuación, tiene lugar una eliminación autótrofa del nitrógeno en dos etapas: la primera, un reactor de biomasa aerobia granular (en inglés, *aerobic granular sludge* o AGS) adaptado a un proceso de nitrificación parcial (en inglés, *partial nitrification* o PN) y la segunda, un reactor *anammox* (*anaerobic ammonium oxidation*). El objetivo final, ahorrar energía y conseguir que el proceso de depuración sea más sostenible medioambiental y económicamente.

Para lograrlo, GS INIMA ha colaborado con el Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad de Girona (LEQUIA), uno de los grupos de investigación pioneros en España en el estudio de los tratamientos PN-AGS y *anammox*. La tesis de Oriol Carbó, focalizada en ambos procesos, tenía dos objetivos científicos: 1) optimizar estos procesos para garantizar su robustez y replicabilidad, y 2) cuantificar el consumo energético y el potencial de recuperación de energía de la EDAR. El investigador inició su trabajo en un reactor AGS en los laboratorios del LEQUIA. Después prosiguió con sus experimentos en una planta piloto especialmente construida para estudiar toda la configuración PROGRAMOX[®] (HRAS + PN-AGS + *anammox*) y capaz de tratar 1.5 m³ de agua por día. La planta se ubicó en la EDAR de La Garriga (Barcelona) y se operó con agua residual de esta instalación.

Los resultados obtenidos han permitido que el grupo de investigación y la empresa adquieran nuevos conocimientos y capacidades sobre los procesos investigados. De hecho, GS INIMA está trabajando actualmente en la construcción de una nueva planta de demostración para validar la configuración PROGRAMOX[®] a escala real. En el reactor AGS, una purga selectiva de la parte superior del lecho de fango decantado demostró ser una estrategia exitosa para sostener la formación de gránulos. Sin embargo, la granulación total de la biomasa no fue crucial para el correcto funcionamiento del reactor. Mantener una buena decantabilidad (SVI, < 100 mL/g) con una mezcla de gránulos y flóculos demostró ser suficiente para eliminar la materia orgánica y reprimir la formación de NO₃⁻. Se logró una PN estable tratando el efluente de un HRAS. Se reprimió la actividad de las bacterias nitrato-oxidantes (NOB) gracias a la producción de ácido nitroso libre (FNA) en el reactor. En cuanto al reactor *anammox*, se logró un efluente con una calidad adecuada (TN < 8 mg/L) controlando la conversión de la PN a ratios NO₂⁻/NH₄⁺ inferiores (0.8 g N/g N) al teórico 1.32 g N/g N, implicando un inferior requerimiento de oxígeno. Finalmente, el balance energético indicó que con la nueva configuración PROGRAMOX[®] se podría alcanzar un 44% de ahorro energético (kWh/m³) en las EDARs, lo cual podría tener un impacto significativo en la sostenibilidad de estas infraestructuras.

Esta tesis se desarrolló en el marco de un proyecto de doctorado industrial cofinanciado por el Ministerio de Ciencia, y ha tenido dos directores en el entorno académico (el Dr. Jesús Colprim y el Dr. Albert Magrí) y una directora en el entorno empresarial (la Dra. Belén Gutiérrez, del área de I+D de GS INIMA).

Publicación:

- Oriol Carbó, Jaume Teixidó, Joan Canals, Antonio Ordóñez, Albert Magrí, Mercè Baldi, Belén Gutiérrez, Jesús Colprim, Achieving mainstream partial nitrification with aerobic granular sludge treating high-rate activated sludge effluent, Journal of Water Process Engineering, Volume 60, 2024, 105165, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105165>.

