



# Estrategias para la descarbonización. Monitoreo y gestión en tiempo real de las emisiones de óxido nitroso

En la actualidad, se trabaja por ampliar el enfoque en el rendimiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), considerando aspectos de sostenibilidad que abarcan el control y minimización de las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI), como el óxido nitroso ( $N_2O$ ), que contribuye en gran medida a la huella de carbono en el sector del agua. El proyecto Nitrous propone un modelo de aprendizaje automático relacionado con la monitorización y gestión en tiempo real del  $N_2O$ , identificando factores clave como la demanda química de oxígeno (DQO) o la actividad de los soplantes del reactor biológico, que inciden directamente en la generación de este gas. Asimismo, no solo se ofrece un análisis detallado de los factores desencadenantes de estas emisiones, sino que también se propone una metodología pionera que sirva de guía para preverlas y gestionarlas, permitiendo la adaptación de estrategias operativas en tiempo real en las EDAR.

## Palabras clave

EDAR, óxido nitroso, ecofactoría, reactor biológico, mitigación, aireación, emisiones, gases de efecto invernadero, huella de carbono, parámetros operacionales, tratamiento de aguas residuales.

## DECARBONISATION STRATEGIES. REAL-TIME MONITORING AND MANAGEMENT OF NITROUS OXIDE EMISSIONS

*Recently, the focus on the performance of wastewater treatment plants (WWTP) is broadening, considering sustainability aspects that encompass the control and minimisation of direct greenhouse gas (GHG) emissions, such as nitrous oxide ( $N_2O$ ), which is a major contributor to the carbon footprint of the water sector. The Nitrous project proposes a machine learning model related to real-time monitoring and management of  $N_2O$ , identifying key factors such as chemical oxygen demand (COD) or the activity of the biological reactor's blowers, which have a direct impact on the generation of this gas. In this way, not only provides a detailed analysis of the drivers of these emissions, but also proposes a pioneering methodology to guide the prediction and management of these emissions, enabling the adaptation of operational strategies in real time at the WWTPs.*

## Keywords

WWTP, nitrous oxide, ecofactory, biological reactor, mitigation, aeration, emissions, greenhouse gases, carbon footprint, operational parameters, wastewater treatment.

### Miguel García Martínez

Departamento de Sostenibilidad Medioambiental, Económica y Social de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

### Laura Flores Rosell

Departamento de Sostenibilidad Medioambiental, Económica y Social de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

### Yago Lorenzo-Toja

Departamento de Sostenibilidad Medioambiental, Económica y Social de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

### Mario Ruiz Mateo

Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A.

### Kyriakos Kandris

Department of Civil & Environmental Engineering, Imperial College London y Enviva P.C.

### Vasileia Vasilaki

Department of Civil & Environmental Engineering, Imperial College London y Enviva P.C.

### Evina Katsou

Department of Civil & Environmental Engineering, Imperial College London y Enviva P.C.

### Núria Basset Olivé

Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A.

### Marta Bromsons Plana

Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A.



## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha aumentado la importancia de cuantificar, gestionar y reportar las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ) en los procesos de depuración. Este gas, que se encuentra entre los considerados gases de efecto invernadero (GEI), ha sido identificado como uno de los principales responsables del calentamiento global, generando una preocupación mundial por su control y mitigación.

Con el incremento de la conciencia sobre los impactos ambientales del  $N_2O$ , los gobiernos y las instituciones han ido implantando cambios significativos en las políticas con el fin de abordar esta problemática. Un claro ejemplo es la regulación específica para  $N_2O$  que se aplica en Dinamarca, como consecuencia del objetivo de alcanzar la neutralidad climática en el sector del agua en 2030 (Danish National Plan, 2020). En este país, la medición de  $N_2O$  es obligatoria para todas las EDAR que abarquen una población superior a 30.000 habitantes equivalentes (he).

Consciente de esta problemática, Aigües de Barcelona ha adoptado una estrategia proactiva para reducir las emisiones de  $N_2O$  en sus EDAR. Mediante la implementación de tecnologías avanzadas de monitorización en tiempo real y de la mano de su centro tecnológico Cetaqua, Aigües de Barcelona ha logrado cuantificar las emisiones de este gas, detectar dinámicas que promueven su generación e identificar mecanismos que permitan disminuir su generación, contribuyendo a mitigar el cambio climático.

Además de los beneficios ambientales, la monitorización y gestión en tiempo real de las emisiones de  $N_2O$  en los reactores biológicos también puede generar un impacto económi-

**FIGURA 1.** Inicio de la campaña de monitorización en el reactor biológico de la ecofactoría de Sant Feliu de Llobregat.



co positivo. De esta manera, las empresas pueden evitar posibles multas y sanciones por incumplimiento de regulaciones ambientales. Así mismo, la eficiencia mejorada en los procesos de tratamiento de aguas residuales puede generar ahorros significativos en costos operativos y energéticos. Esto demuestra que tener por objetivo adoptar medidas de prevención y reducción de emisiones y propiciar la economía circular para crear ecofactorías tiene una gran viabilidad no solo ambiental, sino también económica y social.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. EMPLAZAMIENTO Y CAMPAÑA DE MONITORIZACIÓN

El emplazamiento del presente proyecto fue la ecofactoría municipal de Sant Feliu de Llobregat (Barcelona, España), gestionada por Aigües de Barcelona, diseñada principalmente para tratar aguas residuales domésticas e industriales, con una población equivalente de 373.333 habitantes y un caudal de diseño de  $64.000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  ( $46.693 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  y  $17.042.783 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  durante 2022).

La depuración consiste en un pretratamiento, decantación primaria y tratamiento secundario formado por un reactor biológico de flujo pistón con recirculación interna y un decantador secundario. Los reactores biológicos tienen un volumen operativo de  $5.500 \text{ m}^3$  cada uno y están diseñados para la eliminación tanto de nitrógeno (NT) como de fósforo (PT). La zona anóxica del reactor es de  $1.500 \text{ m}^3$  y la zona aireada es de  $4.000 \text{ m}^3$ . El efluente tratado puede ser vertido al río Llobregat o someterse a un tratamiento terciario para su posterior reutilización en riego agrícola y fines recreativos. Los lodos generados se tratan mediante digestión anaerobia y posteriormente son espesados y centrifugados. El gas producido se utiliza para generar electricidad y el drenaje de las centrifugas se recircula a cabecera de planta (**Figura 1**).

La campaña de monitorización de  $N_2O$  se llevó a cabo en uno de los reactores de la ecofactoría donde se instalaron dos sensores electroquímicos tipo Clark (Unisense Environment, Dinamarca). Estos sensores estaban conectados a un controla-

dor programable que almacena los datos de concentración de  $N_2O$  en fase líquida de forma instantánea. Con el objetivo de complementar y validar los resultados de los sensores durante este período, estos se combinaron con campañas puntuales de medición de  $N_2O$  en fase gas. Se utilizó un analizador de gases en continuo (Horiba-VA3000, Japón) y un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (Thermo Fisher Scientific, Estados Unidos) conectado a una campana flotante (AC SCENT Flux Hood, 40 L) ubicada en la superficie del reactor (**Figura 2**). En paralelo, se compiló información sobre la operación de la ecofactoría, como datos en continuo y muestreos puntuales de caudales de entrada y recirculaciones, calidad del agua, condiciones de aireación en los reactores, etc.

Dicha campaña tuvo una duración total de 10 meses (de febrero a noviembre de 2023), con el objetivo de analizar condiciones típicas de verano y de invierno y tener en cuenta las diferentes condiciones diarias y estacionales de operación durante un período representativo. A lo largo del proyecto, se realizaron las tareas de mantenimiento y las calibraciones de los sensores necesarias junto a la recogida de

**FIGURA 2.** A la izquierda, campana de medición de óxido nitroso ( $N_2O$ ) en fase gas. A la derecha, analizador de gases Horiba.



datos, así como la resolución de incidencias para garantizar la calidad de la información recopilada.

## 2.2. ANÁLISIS DE DATOS Y EVALUACIÓN DEL MODELO

Durante este período, los datos recopilados fueron sometidos a un riguroso proceso de análisis mediante un sistema avanzado que engloba técnicas de minería de datos y estadística compleja. El principal propósito de este proceso fue la creación de un modelo matemático basado en *machine learning* (aprendizaje automático) que fuera capaz de anticipar el comportamiento y mag-

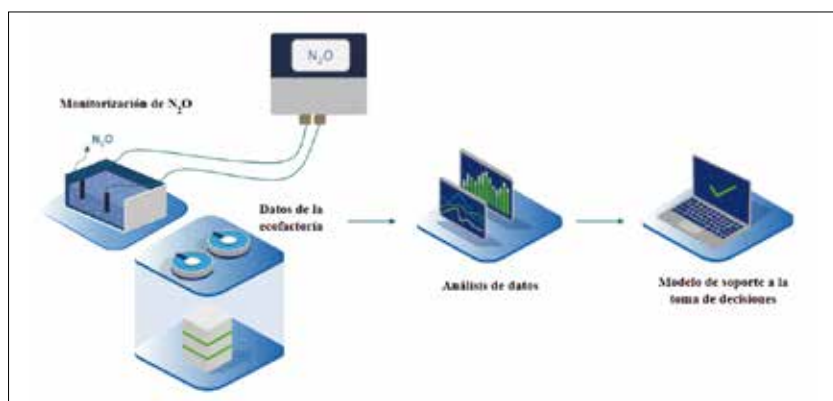
nitud de las emisiones (**Figura 3**). Además, se analizaron los parámetros operativos más relevantes y cómo estos influyen e interaccionan en la generación de  $N_2O$  en el reactor.

Para su ejecución, se contó con el soporte de Enviva P.C., que cuenta con un modelo propio de limpieza y tratamiento de datos y predicción que se implementó en la ecofactoría del presente proyecto.

El modelo se alimenta de los datos de los sensores de  $N_2O$  y de los datos recopilados de la operación de la ecofactoría. Los datos son preprocesados para gestionar información ausente, filtrar valores atípicos y suavizar el ruido. Se aplicaron métodos de detección de puntos de cambio y técnicas de aprendizaje automático (Vasilaki *et al.*, 2020) para identificar patrones en situaciones de estrés generadas por el entorno en procesos de tratamiento, en la producción de  $N_2O$  y en diferentes condiciones operativas.

Se empleó la inferencia estadística Bayesiana (Zhao *et al.*, 2019) para identificar las tendencias, la estacionalidad y los cambios bruscos en los datos de series temporales. Para

**FIGURA 3.** Conceptualización de la monitorización de óxido nitroso ( $N_2O$ ) y de la recogida y tratamiento de datos del proyecto Nitrous.





detectar los parámetros más relevantes que afectan a la generación de emisiones de  $N_2O$  en diferentes condiciones operativas se emplearon algoritmos *Random Forests* (RF, bosques aleatorios). Los RF son una técnica de aprendizaje robusta y fácil de interpretar que genera múltiples árboles de decisión sobre un conjunto de datos de entrenamiento. Esto se combinó con otras técnicas interpretativas para poder descifrar cómo el modelo predice las concentraciones de  $N_2O$ .

Posteriormente, se interpretaron las previsiones estimando los valores de Shapley (Lundberg y Lee, 2017). El valor de Shapley de un parámetro evalúa la contribución de ese parámetro a una predicción, proporcionando así un indicio de su relevancia en la predicción de extremos (Figura 4).

Esta metodología presenta beneficios duales. Por un lado, ayuda a identificar posibles desencadenantes de emisiones a partir de los datos recopilados. Y, por otro, señala formas de mejorar los modelos. Todo ello permite avanzar desde un enfoque de diagnóstico (¿por qué sucedió algo?) hacia un análisis predictivo (¿qué es probable que suceda?) e incluso prescriptivo (¿qué pasos se deben tomar a continuación?).

En definitiva, esta valorización de los datos es adaptable a diversas EDAR y puede ayudar a comprender los factores clave que contribuyen a la generación de  $N_2O$  en diferentes condiciones operativas y ambientales para poder establecer estrategias de mitigación.

Una vez validados los resultados del modelo, se podría proponer su integración en el sistema del control operativo de las EDAR, para predecir las emisiones de  $N_2O$  esperadas y poder gestionarlas a tiempo real para su mitigación.

FIGURA 4. Modelo de análisis de datos y predicción de óxido nitroso ( $N_2O$ ) elaborado por el equipo de Enviva P.C.



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. CONCENTRACIÓN DE $N_2O$ EN INFLUENTE Y EFLUENTE

El rendimiento del reactor en términos de eliminación de amonio ( $NH_4^+$ ) fue estable durante la campaña de monitorización. La eficiencia media de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) y  $NH_4^+$  fue del 97% y 95%, respectivamente. En la Tabla 1 se muestran las concentraciones del influente de la ecofactoría, el influente en los reactores biológicos y el efluente al final del tratamiento durante la campaña.

La Figura 5a muestra el perfil diario más común de la concentración de  $N_2O$  disuelto durante la campaña

de monitorización. Las concentraciones siguen los mismos perfiles de  $NH_4-N$  en el influente y efluente del reactor. La concentración de  $N_2O$  disuelto osciló entre 0,09 y 0,37  $mg L^{-1}$ . La Figura 5b ilustra el comportamiento de la concentración de  $N_2O$  con respecto a las concentraciones de  $NH_4-N$  y  $NO_3-N$  en la salida del reactor.

#### 3.2. MODELO PREDICTIVO

El modelo predictivo del proyecto busca proporcionar información y datos adicionales para la monitorización a largo plazo de  $N_2O$  en los procesos que tienen lugar en los reactores biológicos. Esto se logra al considerar las variaciones estacio-

TABLA 1

#### CONCENTRACIONES DEL INFLUENTE Y EFLUENTE DE LA ECOFACTORÍA DE SANT FELIU DE LLOBREGAT.

Parámetro	Influente	Influente biológico	Efluente
Caudal ( $m^3 día^{-1}$ )	47.000 ( $\pm 5.200$ )	7.500 ( $\pm 880$ )	-
DQO ( $mg L^{-1}$ )	790,7 ( $\pm 435,4$ )	349,3 ( $\pm 109,6$ )	24,7 ( $\pm 10,4$ )
NT ( $mg L^{-1}$ )	72,8 ( $\pm 12,3$ )	63,3 ( $\pm 9,1$ )	10,5 ( $\pm 0,2$ )
$NH_4-N$ ( $mg L^{-1}$ )	53,5 ( $\pm 9,6$ )	51,6 ( $\pm 8,9$ )	2,8 ( $\pm 1,27$ )
PT ( $mg L^{-1}$ )	9,7 ( $\pm 3,1$ )	7,90 ( $\pm 1,4$ )	1,14 ( $\pm 0,6$ )
$NO_3-N$ ( $mg L^{-1}$ )	-	-	5,0 ( $\pm 1,3$ )
$NO_2-N$ ( $mg L^{-1}$ )	-	-	0,17 ( $\pm 0,1$ )



nales y las estrategias de operación y control implementadas en las instalaciones, como la duración de la aireación. Se ha podido entender cómo influyen las variables operativas en las predicciones del modelo y también se ha revelado por qué y cuándo el modelo puede fallar o tener éxito al describir los procesos subyacentes, como los cambios en las emisiones de  $N_2O$  en procesos de depuración.

Además, el modelo logró diferenciar períodos caracterizados como estacionarios de funcionamiento 'normal' del reactor y períodos no estacionarios donde se producen eventos inesperados de emisión de  $N_2O$ .

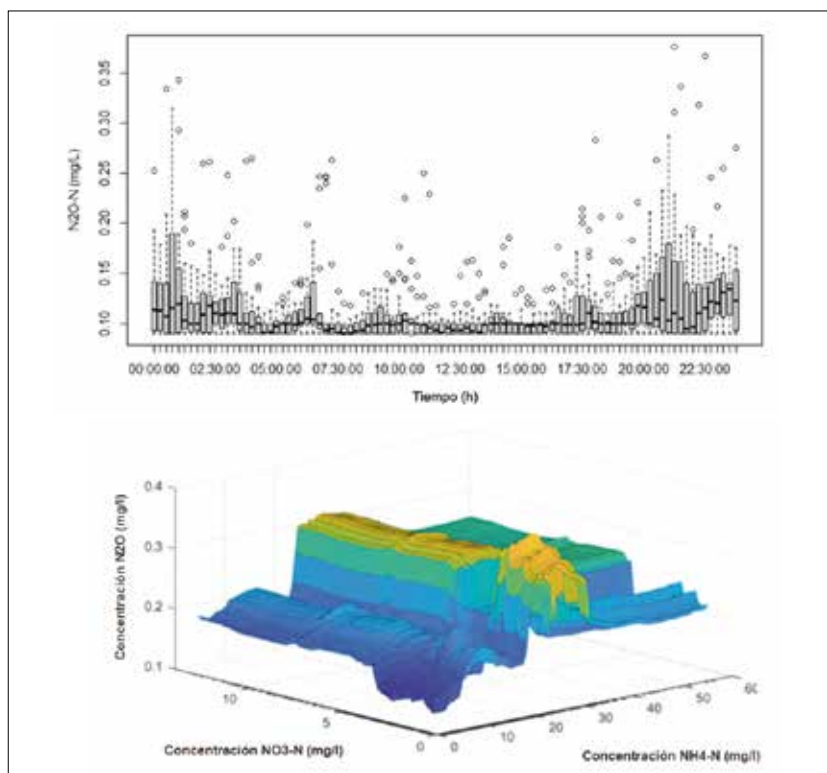
### 3.3. CONCENTRACIÓN DE $N_2O$ EN FUNCIÓN DE LA AIREACIÓN

La producción de  $N_2O$  está estrechamente relacionada con las fases de aireación del reactor biológico y su duración.

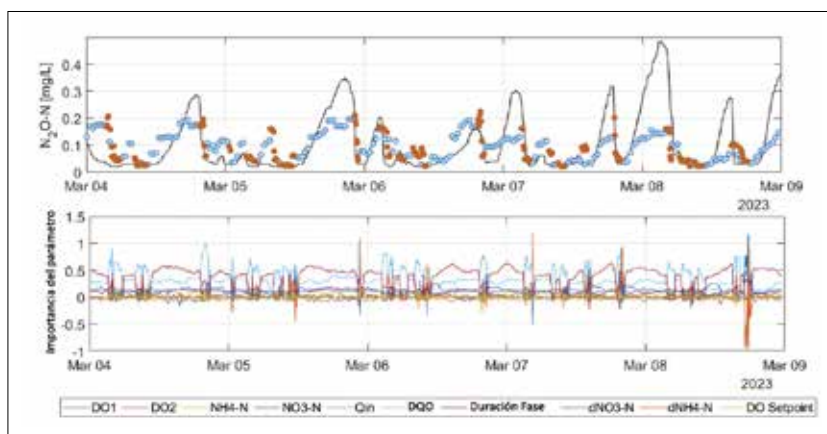
Además, también se comparó la importancia de parámetros operacionales como la DQO, el oxígeno disuelto (OD), las concentraciones de  $NH_4^+$  y nitratos ( $NO_3^-$ ), la temperatura o el pH, con la emisión de  $N_2O$  en el reactor. Se pudo observar que a medida que la concentración de OD aumenta, disminuyen las concentraciones de  $NH_4^+$  y de  $NO_3^-$ . Esto se debe a que mayores niveles de oxígeno favorecen procesos aeróbicos, promoviendo la oxidación del  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ , y reduciendo la acumulación de  $NH_4^+$  en el sistema. En adición, un incremento en la DQO suele asociarse con una disminución en la eficiencia del tratamiento y, por ende, una reducción en la concentración de OD.

En la **Figura 6** se representa la importancia de las predicciones en períodos de baja formación de  $N_2O$ , de manera que cuando los soplantes

**FIGURA 5.** Arriba, diagrama de caja de la variación diaria de la concentración de óxido nitrado ( $N_2O$ ) disuelto (Figura 5a); y abajo, impacto de las variables operativas en la concentración de  $N_2O$  en la salida del reactor (Figura 5b).



**FIGURA 6.** Arriba, concentración de óxido nitrado ( $N_2O$ ) en función de la actividad de los soplantes y, abajo, relevancia de algunos parámetros operacionales de planta durante la 2ª semana de marzo. En el gráfico superior la línea negra corresponde a los valores reales de la campaña de medición y los puntos, las predicciones. Los puntos de color azul hacen referencia al momento en que los soplantes de la aireación están encendidos y los de color naranja, apagados.



están encendidos, se relaciona más el  $N_2O$  con la duración de la fase de aireación. Por el contrario, si los soplantes están apagados, la DQO juega un papel más importante en cuanto al comportamiento del  $N_2O$ .

Otro parámetro importante a tener en cuenta es la formación de  $NH_4^+$ . En el comienzo de la aireación, el  $NH_4^+$  empieza a tener más relevancia en el comportamiento del  $N_2O$  y, si los soplantes conti-



núan funcionando, el  $\text{NO}_3^-$  también comienza a volverse más y más importante, tal y como se observa en la **Figura 7**, donde las zonas rojas indican una mayor concentración de  $\text{N}_2\text{O}$ . Esto se debe a los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, las fluctuaciones en las condiciones de oxígeno y una actividad bacteriana específica involucrada en la producción de  $\text{N}_2\text{O}$ . Asimismo, el caudal del influente adquiere relevancia en cuanto a la generación de  $\text{N}_2\text{O}$  en condiciones anóxicas.

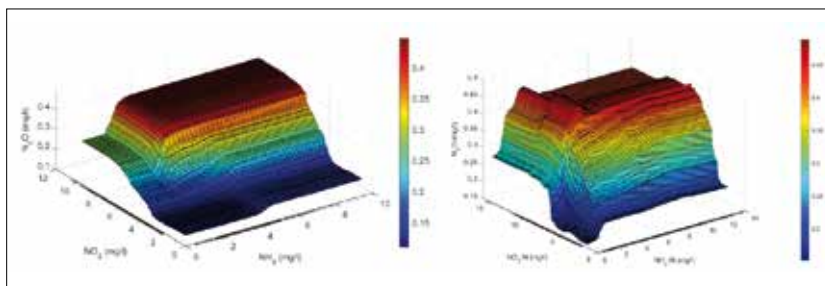
En conclusión, los días en los que las fases de aireación son más prolongadas (la aireación está encendida la mayor parte del día) están directamente relacionados con un aumento de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .

### 3.4. PERÍODOS DE FORMACIÓN DE $\text{N}_2\text{O}$

Como consecuencia de las variaciones estacionales se ha observado la existencia de dos períodos principales de formación de  $\text{N}_2\text{O}$ : uno bajo/moderado y otro alto.

- Períodos de formación baja/moderada de  $\text{N}_2\text{O}$ :
  - Durante los ciclos de nitrificación, la duración de la aireación y las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  son relevantes en la formación de  $\text{N}_2\text{O}$ . Como ya se ha mencionado anteriormente, una aireación prolongada (>200 minutos) y concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  superiores a  $5 \text{ mg L}^{-1}$  van unidas a una mayor formación de  $\text{N}_2\text{O}$ . Por lo tanto, en los períodos en los que el reactor funciona con cargas más bajas, se podría investigar la modificación de la duración de las fases de aireación e introducir períodos cortos de condiciones anóxicas entre fases aireadas largas con el objetivo de permitir el consumo de

**FIGURA 7.** Concentración de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en función del amonio y del nitrato cuando los soplantes están encendidos (izquierda) y cuando los soplantes están apagados (derecha).



$\text{N}_2\text{O}$  sin afectar a la eficiencia de eliminación de  $\text{NH}_4^+$ . Esto permitirá el consumo de  $\text{N}_2\text{O}$  y reducirá su emisión a la atmósfera.

- Períodos de alta formación de  $\text{N}_2\text{O}$ :
  - Se ha observado que el reactor opera bajo un mayor estrés, principalmente debido a mayores cargas de  $\text{NH}_4^+$ . Además, se ha detectado que en numerosas ocasiones los soplantes se apagan mientras las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en el reactor siguen siendo elevadas. En este contexto, los procesos biológicos bajo condiciones anóxicas con elevadas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  están directamente vinculadas a una mayor formación de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .
  - Las bajas concentraciones de OD, en este caso en un rango de  $0,8 \text{ mg L}^{-1}$  a  $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ , se han relacionado con emisiones elevadas.
  - La elevada formación de  $\text{N}_2\text{O}$  está relacionada con niveles elevados de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en el reactor. Cuando las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  superan los  $2 \text{ mg L}^{-1}$  y las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  superan los  $7 \text{ mg L}^{-1}$ , son indicadores de una elevada formación de  $\text{N}_2\text{O}$  en el proceso.
  - Al principio de la aireación, el  $\text{NH}_4^+$  parece ser más importante

para el comportamiento del  $\text{N}_2\text{O}$ , pero si la aireación continúa, el  $\text{NO}_3^-$  empieza a ser cada vez más relevante.

- Durante los ciclos de desnitrificación, mayores caudales se asocian con valores más altos de  $\text{N}_2\text{O}$ . Esto puede relacionarse con los tiempos de retención dentro del reactor.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la DQO constituye un parámetro importante en la formación de  $\text{N}_2\text{O}$ . Se ha observado que los niveles de DQO superiores a  $400 \text{ mg L}^{-1}$  contribuyen positivamente a la formación de  $\text{N}_2\text{O}$ , lo que indica que los niveles más altos de DQO se asocian a emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  predichas más elevadas. Además, estos valores elevados de DQO aumentan la demanda de oxígeno, ya que los microbios necesitan oxígeno para descomponer la materia orgánica, pudiendo crear condiciones no ideales para una nitrificación completa. En consonancia con las conclusiones generales del análisis global del modelo, existe un punto crítico a  $400 \text{ mg DQO L}^{-1}$ . Más allá de este umbral, la producción de  $\text{N}_2\text{O}$  tiende a aumentar, lo que podría deberse al importante consumo de DQO en los reactores anóxicos precedentes que limitan la DQO y, por tanto, la capacidad de desnitrificación en el compartimento aireado.

## 4. CONCLUSIONES


Este estudio ha proporcionado una evaluación exhaustiva del impacto de factores ambientales y operativos en la generación de  $N_2O$  en EDAR. La metodología innovadora empleada, combinando metodologías de aprendizaje automático de bajo coste, ha permitido identificar las principales vías de mitigación de  $N_2O$  a través de la operación y control de la ecofactoría de Sant Feliu de Llobregat.

Los resultados, obtenidos por Cetaqua a lo largo de una extensa campaña de monitorización, revelan la influencia directa de parámetros operativos en las emisiones del gas, destacando la DQO, la OD y la acti-

vidad de los soplantes como los más relevantes. Esta metodología, adaptable y orientada a datos, ofrece una valiosa herramienta para comprender y gestionar las emisiones de  $N_2O$  en EDAR, abriendo perspectivas para el desarrollo de estrategias de mitigación eficaces en la gestión sostenible de aguas residuales y la reducción del impacto ambiental en el sector del agua.

En definitiva, los resultados obtenidos podrán proporcionar una guía esencial para abordar el control y gestión de las emisiones directas de  $N_2O$  en el tratamiento de aguas residuales de las EDAR, además de contribuir positivamente en la lucha contra el cambio climático.

## Bibliografía

- [1] Lundberg, S.M.; Lee, S.I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*. ArXiv, <https://arxiv.org/abs/1705.07874>.
- [2] Vangsgaard, A.K.; Madsen, J.A. (2020). Dataopsamling på måling og reduktion af lattergasemissioner fra renseanlæg. *MUDP Lattergaspulje*, 37. Disponible en: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/12/978-87-7038-254-0.pdf>.
- [3] Vasilaki, V.; Danishvar, S.; Mousavi, A.; Katsou, E. (2020). Data-driven versus conventional  $N_2O$  EF quantification methods in wastewater: how can we quantify reliable annual EFs? *Computers & Chemical Engineering*, núm. 141, pág.106.997, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106997>.
- [4] Zhao, K.; Wulder, M.A.; Hu, T.; Bright, R.; Wu, Q.; Qin, H.; Brown, M. (2019). Detecting change-point, trend, and seasonality in satellite time series data to track abrupt changes and nonlinear dynamics: a Bayesian ensemble algorithm. *Remote Sensing of Environment*, núm. 232, págs. 111.181, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.034>. 

# TECNOAQUA

## Normas de publicación para autores

Estimado Colaborador:

Para facilitar la publicación de los artículos técnicos (o procesos y sistemas) en nuestra revista TECNOAQUA se han elaborado unas breves normas de forma y contenidos para sus autores.

### RECOMENDACIONES A LOS AUTORES DE ARTÍCULOS

1. Los artículos deben ser inéditos, nuestra política editorial requiere exclusividad para publicarlos. No obstante, si tuviera interés en publicarlos en otro medio a posteriori, dicho medio deberá pedirnos autorización.
2. Deberán figurar el nombre y dos apellidos del autor o autores, su titulación y/o cargo en la entidad a la que pertenezcan, dirección completa, teléfono de contacto, fax, e-mail y web.
3. El título no debe sobrepasar las 20 palabras, con su traducción al inglés. (La traducción no es necesaria en caso de procesos y sistemas).
4. Se debe incluir un breve resumen del artículo de unas 100 palabras, junto a 5-8 palabras clave, y la traducción de todo ello al inglés (Todo este punto debe obviarse en el caso de procesos y sistemas).
5. El texto seguirá una línea de explicación coherente y progresiva, contando de partes con títulos y subtítulos numerados, que habitualmente empiezan con una introducción al tema (número 1), para pasar a su estudio de planteamientos, resultados, discusión.....- número 2, 3, 4, 4.1, 4.2...), terminando con las conclusiones y, si los hubiera, los agradecimientos (punto final). Por último, se añade la bibliografía (numerada dentro de corchetes [1], [2]...).
6. El artículo se redactará evitando el lenguaje académico o excesivamente denso, sin por ello dejar de mantener un rigor conceptual, explicando cuando convenga aquellos términos o conceptos de uso poco habitual.
7. Preferentemente se utilizarán frases y párrafos cortos. Debe evitarse la inclusión de notas a pie de página, incorporándolas dentro del texto.

8. Se cuidará la correcta expresión de las unidades, símbolos y abreviaciones.
9. El texto tendrá una extensión de unas 5-8 hojas, formato DIN A4 a espacio simple. Tipo de letra preferente: Times New Roman, 12.
10. Se incluirán gráficos, esquemas o fotografías en color para facilitar la comprensión del texto, todos ellos bajo el epígrafe de Figura, indicándose su ubicación en el texto escrito. Cada figura llevará su número y pie explicativo. Todas las figuras deben tener la suficiente calidad gráfica para su reproducción (300 píxeles por pulgada) y deben enviarse por separado. (Es aconsejable añadirles en el texto escrito en baja calidad para, al menos, conocer su ubicación).
11. Las fotografías y dibujos deben tener un mínimo de 300 píxeles de resolución, tamaño 13x8 cm (mínimo), y en formato jpg, tiff o bmp, preferentemente.
12. El artículo se dirigirá al coordinador editorial de la revista TECNOAQUA, vía e-mail a: [tecnoaqua@infofedita.net](mailto:tecnoaqua@infofedita.net)
13. Una vez recibido el artículo, la dirección de la revista estudiará su contenido. En caso de aceptación se indicará la fecha aproximada de publicación, que depende del tema del artículo y su relación con el contenido de cada número de la revista, así como del orden de artículos recibidos con anterioridad.
14. Una vez publicado el artículo, la revista envía un ejemplar de cortesía a cada autor firmante. A solicitud del interesado se puede enviar una carta o fax donde se especifique la aceptación del mismo antes de su publicación.