

# Proyecto DrinkIA: Desarrollo, implementación y validación de un Sistema de Ayuda a la Decisión para el tratamiento de aguas potables

Lluís Godo<sup>1,2</sup>, Jordi Suquet<sup>1</sup>, Pere Emiliano<sup>2</sup>, Fernando Valero<sup>2</sup>, Manel Poch<sup>1</sup> y Hèctor Monclús

<sup>1</sup> LEQUIA. Instituto de Medio Ambiente. Universitat de Girona. c/ M<sup>a</sup> Aurèlia Capmany, 69. 17003 Girona. España

<sup>2</sup> Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat (ATL), c/ Sant Martí de l'Erm, 30. 08970 Sant Joan Despí, Barcelona, España.

\* hector.monclus@udg.edu

## Resumen

La gestión de las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAPs) está aumentando su complejidad debido a la incorporación de nuevas tecnologías para hacer frente a una legislación cada vez más restrictiva. La gran cantidad de datos generados en las ETAPs permitiría el desarrollo de modelos basados en datos y a su vez, la experiencia de sus gestores, el desarrollo de modelos basados en conocimiento que, fácilmente podrían ser integrados en un sistema de ayuda a la decisión (SAD). Los SAD son herramientas del campo de la inteligencia artificial (IA) que reducen el tiempo de la toma de decisiones complejas a la vez que las hacen más robustas y objetivas. Este estudio se centra en el desarrollo e implementación de un SAD en la ETAP del Llobregat (Abrera, Barcelona) para objetivar la toma de decisiones en la gestión hidráulica de la ETAP y la optimización de las operaciones unitarias. La ETAP del Llobregat (gestionada por ATLL) es una estación híbrida que incluye la tecnología de electrodiálisis reversible (EDR) como parte en su tratamiento incrementando el coste pero mejorando la calidad del agua tratada. La decisión del porcentaje de agua que debe ser tratada por EDR es compleja y multi-paramétrica debido a los diferentes agentes que intervienen en esta toma de decisiones, siendo la meteorología, legislación, distribución y la calidad de entrada los más relevantes. Diferentes modelos matemáticos se han comparado y ajustado incorporándose en el SAD. Los modelos de redes neuronales y los de lógica difusa, juntamente con reglas supervisoras han permitido que el SAD se ajuste de forma satisfactoria y actualmente ya está implementado en los sistemas de información y seguimiento de ATLL, siendo una herramienta útil de consulta regular y diaria para los gestores y operadores de la ETAP.

**Palabras Clave:** Agua potable, inteligencia artificial, optimización, sistema de ayuda a la decisión

## Introducción

Las plantas de tratamiento de aguas potables (ETAPs) tienen como objetivo tratar aguas de diferente procedencia y calidad para ser potabilizada y abastecida a la población. El tratamiento convencional de aguas potables consiste en procesos químicos y físicos para eliminar materia orgánica y microorganismos. El típico esquema de proceso de una ETAP consiste en un proceso de coagulación-floculación, seguido por una decantación, filtración por lechos de arena y finalmente un proceso de desinfección mediante cloro (Crittenden *et al.*, 2012). En la última década numerosas ETAPs han ampliado y mejorado su proceso de tratamiento mediante la incorporación de procesos de filtración por membrana y lechos de filtración por carbón activo, alcanzándose así los estándares de las nuevas regulaciones legislativas sobre los productos de desinfección, dentro de los cuales cabe destacar los trihalometanos (THM). La cuenca mediterránea presenta una climatología que provoca elevada fluctuación en los caudales y calidades de los ríos que repercute en un mayor estrés en las masas de agua disponibles. Las ETAPs deben gestionarse para hacer frente a estas fluctuaciones obligando a adaptarse para alcanzar los estándares de calidad en todo momento. Esta gestión consiste en una serie de decisiones multi-paramétricas con el fin de garantizar la calidad, optimizando el proceso y minimizando los costes económicos y ambientales.

En las dos últimas décadas se ha demostrado que los sistemas de ayuda a la decisión (SAD) son herramientas que mejoran la toma de decisiones, mejorando la robustez de las mismas y reduciendo la incertidumbre del proceso, así como reduciendo el tiempo de la toma de decisiones (Cortés *et al.*, 2000). Estos sistemas incluyen el uso de diferentes tipologías de modelos: modelos basados en datos, redes neuronales artificiales, modelos expertos (incluyendo los basados en conocimiento) y a su vez estos sistemas pueden integrar diferentes metodologías de la Inteligencia artificial (IA), como son las técnicas matemáticas y/o estadísticas, sistemas de información geográfica y ontologías ambientales, entre otras (Poch *et al.*, 2004).

En este estudio, se presenta el procedimiento de construcción de un SAD para la gestión de una ETAP en la cuenca del río Llobregat en el marco del proyecto DrinkIA (Figura 1). Dicho proyecto ha sido recientemente galardonado al premio al talento joven para el desarrollo sostenible del agua (Fundación Botín). En dicho estudio el uso de un modelo basado en datos y un modelo basado en conocimiento ha permitido la construcción del SAD con el objetivo de facilitar la toma de decisiones en la ETAP de Abrera. Las dos tomas de decisiones que se presentan son la etapa de pre-oxidación y la etapa de Electrodiálisis Reversible (EDR). Además, se presentan los procesos de validación e implementación del SAD.



Figura 1. Proyecto DrinkIA

## Materiales y Métodos

### Caso de estudio (ETAP del Llobregat):

La ETAP del Llobregat gestionada por ATLL se encuentra en la población de Abrera (Barcelona) y abastece su agua a la región metropolitana de Barcelona. El caudal máximo de tratamiento de esta ETAP es de  $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mediante la Tabla 1 se presentan las características de captación del agua de entrada donde se puede observar los valores elevados de conductividad y materia orgánica debido a las características de la cuenca y de la actividad industrial de la misma.

Tabla 1. Influyente de la ETAP del Llobregat. Muestras del periodo Enero 2012-Diciembre 2017 (N=1004)

Parámetro	Unidad	Promedio	Desv. est.	Min	Max
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	16.2	6.0	1.2	27.7
TOC	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	3.35	0.81	1.32	7.96
Turbidez	NTU	41.9	35.8	1.3	420
UV254	$\text{Abs}\cdot\text{m}^{-1}$	6.92	1.87	0.07	23.2
Color	$\text{Pt}\cdot\text{Co}^{-1}$	12.91	8.01	0.81	97.61
Conductividad eléctrica (EC)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	1371	236	542	2920
Influyente	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1.92	0.71	0.45	3.30

Por este motivo la ETAP fue ampliada con un proceso EDR para reducir la conductividad del agua y así reducir el potencial de formación de THMs (Valero and Arbós, 2010). La ETAP del Llobregat consiste por lo tanto en un proceso convencional con una capacidad de tratamiento de  $3,3\text{m}^3/\text{s}$  seguido de una etapa EDR con una capacidad de  $2,4\text{m}^3/\text{s}$ .

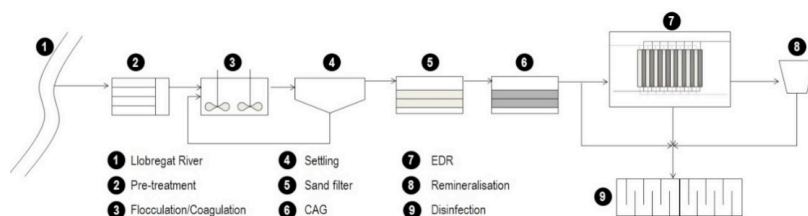


Figura 2. Esquema del proceso de la ETAP del Llobregat

Finalmente, el agua tratada por convencional juntamente con el agua tratada por EDR se mezclan y se desinfectan para ser almacenadas en los depósitos de la ETAP (Figura 2).

### Desarrollo y arquitectura del SAD:

Las etapas de desarrollo de un SAD dependen del tipo de problema y del conocimiento disponible. Es cierto que existen diferencias de metodología en la construcción de un SAD, pero hay relativo consenso en las etapas de construcción pudiéndose generalizar con las siguientes etapas: a) análisis del problema, b) adquisición de datos y conocimiento, c) selección de modelos, d) integración e implementación y e) validación (Cortés *et al.*, 2000; Hamouda *et al.*, 2009; Poch *et al.*, 2004).

El SAD se debe estructurar de forma sencilla y flexible permitiendo la visualización de los diferentes niveles jerárquicos, así como de los modelos implementados y las diferentes conexiones entre niveles. Diferentes autores proponen el uso de tres niveles: Nivel de adquisición y procesamiento de datos; nivel de diagnóstico, donde se localizan los diferentes modelos usados; y el nivel supervisor que regula que las acciones tomadas en el nivel inferior sean las óptimas (Comas *et al.*, 2010).

## Resultados y Discusión

### Módulo del SAD para la pre-oxidación

El permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ) se usa en el proceso de pre-oxidación del agua de entrada a la ETAP, para oxidar tanto el manganeso como el hierro presente en el agua, para oxidar los compuestos causantes de olor y color y para la oxidación de los precursores de la formación THMs, siendo la materia orgánica el mayor de ellos.

La dosis de  $\text{KMnO}_4$  dependerá de diversos factores de la calidad de entrada, del caudal y de las condiciones climáticas actuales (temperatura). Mediante la Figura 3A se puede observar como se ha estructurado el módulo SAD para la gestión de esta etapa y los resultados obtenidos en la validación del mismo.

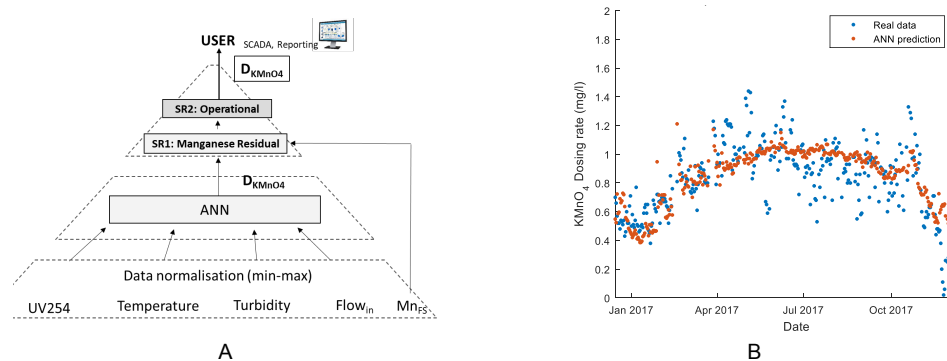


Figura 3. A) Estructura jerárquica del módulo de pre-oxidación. B) Validación del módulo en la dosificación de  $\text{KMnO}_4$ .

En la Figura 3, se observa que en el nivel de control del SAD se utiliza un modelo de redes neuronales artificiales (ANN), este tipo de modelos son de gran utilidad cuando se requiere de un modelo predictivo y para modelizar fenómenos no lineales multi-paramétricos en el tratamiento de agua. En este caso se identificaron las variables requeridas para el SAD (UV254, temperatura, Turbidez, Caudal, Mn) y si incorporaron reglas supervisoras expertas (SR1 y SR2). La validación del modelo fue satisfactoria alcanzando un valor promedio de error absoluto  $\pm 0.13 \text{ mg/L}^{-1}$  de  $\text{KMnO}_4$ , considerándose satisfactorio por parte de los gestores de la ETAP (Godo-Pla et al., 2019).

### Módulo del SAD para la etapa EDR

Esta etapa de tratamiento avanzado por EDR, puede llegar a tratar hasta el 72% del caudal máximo del tratamiento convencional. En este caso el agua que trata la EDR se pondera en base diferentes parámetros con el objetivo de minimizar el riesgo de formación de THMs. El % de EDR a tratar variará por tanto en base de la calidad del recurso de entrada, así como de las condiciones de la ETAP, de las características climáticas, de las condiciones de abastecimiento y de los costes energéticos.

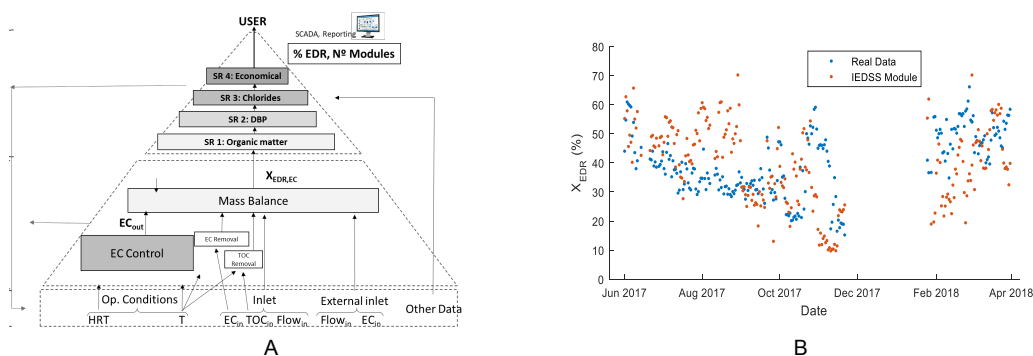


Figura 4. A) Estructura jerárquica del módulo del proceso EDR. B) Validación del resultado del SAD para la etapa EDR.

En la Fig. 4A se pueden visualizar las variables de entrada del SAD. En este caso el modelo que describía mejor el razonamiento en esta toma de decisiones, son los modelos de lógica difusa o fuzzy en inglés. El objetivo de este módulo SAD es la de proponer el porcentaje óptimo necesario de EDR para conseguir un agua de una calidad óptima.

En este caso 4 diferentes reglas supervisoras permiten ajustar el % óptimo de EDR. El resultado de validación permitió detectar algunas limitaciones y permitió la consolidación de los rangos de las reglas supervisoras, consiguiendo un promedio de error absoluto de un 13%. La implementación actual será clave para poder reducir este error y llegar a tener un modelo óptimo.

### Conclusiones

La construcción del SAD y la definición de su estructura jerárquica, ha permitido la modelización de dos operaciones unitarias en el ETAP de Abrera y la integración de diferentes modelos basados en inteligencia artificial.

El uso de un modelo basado en redes neuronales y uno basado en lógica difusa, juntamente con diversas reglas expertas, ha permitido una buena modelización de la toma de decisiones de dos procesos unitarios de la ETAP.

## Referencias

- Comas, J., Meabe, E., Sancho, L., Ferrero, G., Sipma, J., Monclús, H., Rodríguez-Roda, I., 2010. Knowledge-based system for automatic MBR control. *Water Sci. Technol.* 62, 2829–2836.
- Cortés, U., Sánchez-Marrè, M., Ceccaroni, L., Rodríguez-Roda, I., Poch, M., 2000. Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. *Appl. Intell.* 13, 77–91.
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K. j., Tchobanoglous, G., Borchartd, J.H., 2012. *MWH 's Water Treatment Principles and Design*.
- Godo-Pla, L., Emiliano, P., Valero, F., Poch, M., Sin, G., Monclús, H., 2019. Predicting the Oxidant Demand in Full-Scale Water Treatment using an Artificial Neural Network: Uncertainty and Sensitivity Analysis. *Process Saf. Environ. Prot.* in press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.017>
- Hamouda, M.A., Anderson, W.B., Huck, P.M., 2009. Decision support systems in water and wastewater treatment process selection and design: A review. *Water Sci. Technol.* 60, 1767–1770.
- Poch, M., Comas, J., Rodríguez-Roda, I., Sánchez-Marrè, M., Cortés, U., 2004. Designing and building real environmental decision support systems. *Environ. Model. Softw.* 19, 857–873.
- Valero, F., Arbós, R., 2010. Desalination of brackish river water using Electrodialysis Reversal (EDR). Control of the THMs formation in the Barcelona (NE Spain) area. *Desalination* 253, 170–174.