

Hacia el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión para el tratamiento de aguas potables: de la investigación básica a la óptima operación en planta real

Proyecto WATSON

Meritxell Valentí¹, Jordi Suquet¹, Lluís Godo-Pla^{1,2}, Marta Verdaguer¹, Manel Poch¹, Hèctor Monclús¹, Maria Martín¹

 ¹LEQUIA. Institut de Medi Ambient. Universitat de Girona | www.lequia.udg.edu

²ATL. Ens d'Abastament Ter-Llobregat | www.atl.cat/es

EL PROYECTO **WATSON** NACE CON EL OBJETIVO DE AVANZAR HACIA UNA OPERACIÓN RESILIENTE, ROBUSTA Y FIABLE DE LAS ETAPS RESPONDIENDO A LA ELEVADA VARIABILIDAD DE LAS CIRCUNSTANCIAS A LAS QUE SE ENFRENTAN DICHAS INSTALACIONES ●

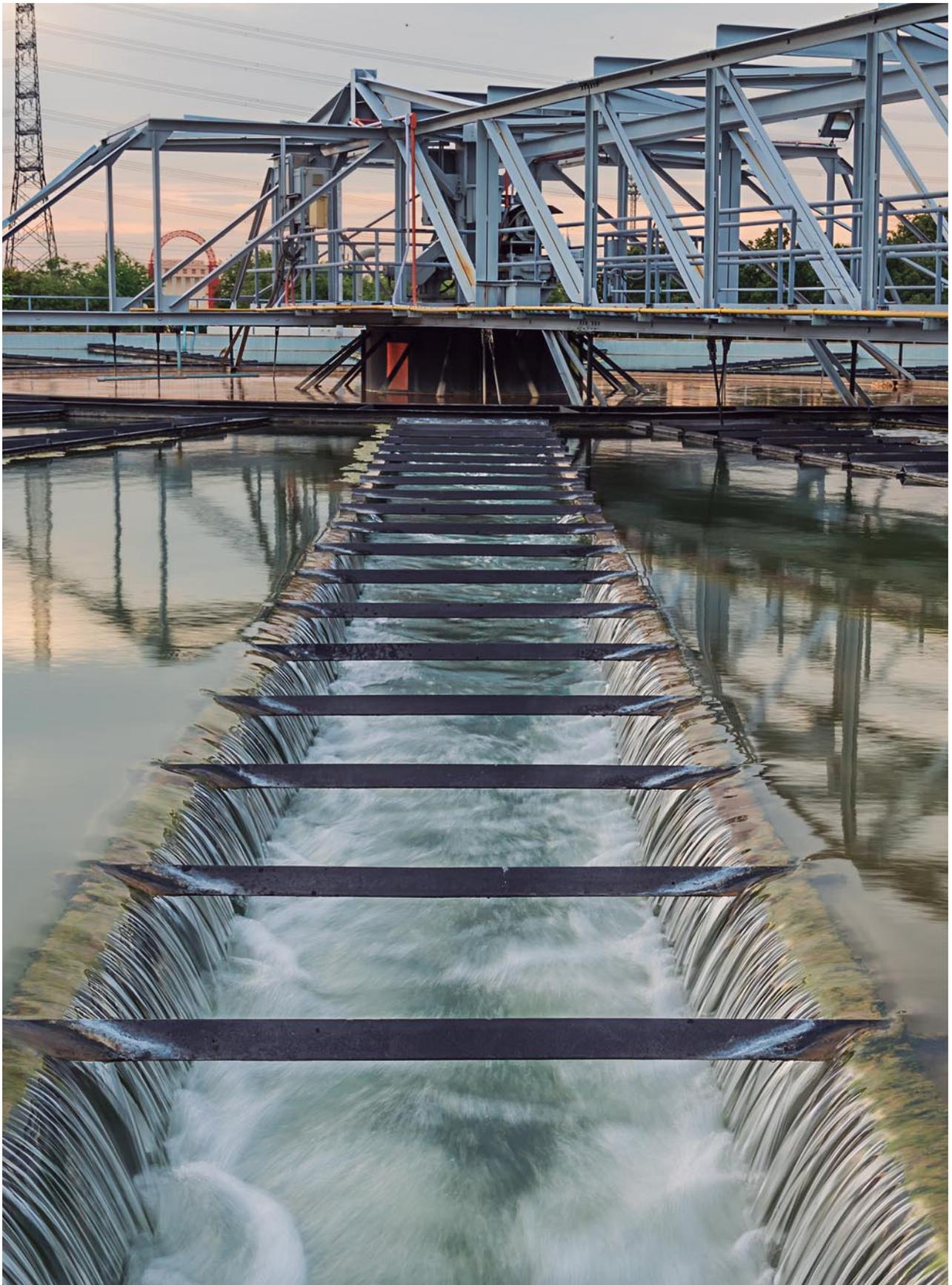
LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Las estaciones de tratamiento de aguas potables proporcionan un servicio público esencial cuyo objetivo es proporcionar agua potable. Existe un amplio número de factores que pueden afectar al proceso de potabilización: turbidez, materia orgánica natural (MON), agentes biológicos, compuestos causantes de olor y sabor y compuestos orgánicos antropogénicos. La influencia acentuada de la estacionalidad mediterránea y las características de la cuenca, configuran un conjunto prácticamente indeterminable de posibles perturbaciones que redundan en una elevada complejidad para la gestión de las instalaciones y su necesaria adaptabilidad a las condiciones del agua de entrada.

El riesgo sanitario más común y generalizado asociado al agua potable

es la contaminación microbiana, que hace que su control sea primordial. El agua potable no sólo debe ser segura teniendo en cuenta criterios microbiológicos y químicos, sino también aceptable en apariencia, sabor y olor (WHO, 2017). Para captaciones de fuentes superficiales, el tren de tratamiento de las ETAPs generalmente comprende coagulación, floculación y filtración para eliminar partículas y coloides, y etapas de desinfección química mediante cloración al final de la línea de tratamiento para garantizar así la calidad microbiológica del agua a lo largo de su distribución (Crittenden et al., 2012).

Los desinfectantes son altamente reactivos y reaccionan con principalmente la MON dando lugar a la formación de distintas familias de compuestos químicos antropogénicos conocidos como subproductos de desinfección (DBPs, del inglés Disinfectant By-Products).



tion byproducts) (Crittenden et al., 2012). Se han identificado más de 700 DBPs, entre los cuales destacan especialmente los trihalometanos (THMs) y los ácidos haloacéticos (HAAs) por su prevalencia y ubiquidad (Krasner et al., 2006).

Así pues, uno de los principales retos de la industria de tratamiento de aguas desde las últimas décadas es, precisamente, llegar a establecer un balance entre la utilización de desinfectantes para controlar los riesgos biológicos y, a su vez, prevenir la formación de compuestos químicos no deseados. Dicho equilibrio pasa por eliminar de forma satisfactoria la MON y evitar así su reacción con los reactivos de desinfección.

LA ELIMINACIÓN DE MON EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

La MON está constituida por una fracción hidrofílica y una fracción mayoritaria de carácter hidrofóbico, formada principalmente por ácidos que representan aproximadamente un 50 % del carbono orgánico disuelto (COD). Esta fracción hidrofóbica de la MON presenta elevada aromaticidad: rica en estructuras aromáticas y fenólicas, con dobles enlaces conjugados. Por el contrario, la fracción hidrofílica se constituye principalmente por carbonos alifáticos y compuestos nitrogenados, como carbohidratos, azúcares y aminoácidos (M Sillanpää, 2014). La MON representa la principal fuente de precursores para los DBP, aunque su composición molecular y reactividad han sido solo parcialmente elucidados (Wang et al., 2017).

Dada la heterogeneidad de la MON y su variabilidad estacional el enfoque multibarrera es un paradigma clave para garantizar la calidad del agua potable (Crittenden et al., 2012). Por lo tanto, las ETAPs suelen

incluir tratamientos adicionales para la eliminación de MON, mediante el uso de carbón activado y/o de sistemas basados en tecnología de membrana. La medida de la eficiencia de dichos procesos se lleva a cabo mediante parámetros subrogados, tales como el COD o la absorbancia UV a 254 nm para cuantificar la reactividad de MON hacia la formación de DBPs. La combinación de ambos parámetros proporciona un índice denominado SUVA₂₅₄ que en condiciones favorables se correlaciona razonablemente con el potencial de formación de DBPs.

Sin embargo, para algunas ETAPs dichos parámetros resultan insuficientes a lo largo del año debido a cambios estacionales en la calidad del agua de captación (Mika Sillanpää, 2014; Ritson et al., 2014; Rosario-Ortiz, 2014). En el caso del agua tratada, que debe someterse a la cloración antes y/o durante la distribución, la correlación de los parámetros relacionados con la UV₂₅₄ y el potencial de formación de DBP es escaso debido a la reducción del contenido de fracción hidrofóbica durante el tratamiento y a la prevalencia de otros compuestos orgánicos menos reactivos que, no obstante, contribuyen al potencial de formación de DBP (Golea et al., 2017).

OPERACIÓN Y CONTROL Y DE LAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN

Con influencias estacionales y una composición compleja dependiente de las características de la captación, hay un número indeterminable de factores que influyen en el agua y la composición de la MON, lo que en última instancia dificulta que las ETAPs puedan predeterminar las variaciones y adaptar en consecuencia los tratamientos.

La experiencia es hoy en día la ba-

se para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua potable. El monitoreo y análisis de la eficiencia de los procesos es una tarea regular de operarios y expertos calificados y técnicos de procesos, pero esto implica que todo el proceso se vuelve excesivamente dependiente, subjetivo y variable: es difícil para los operadores supervisar las consecuencias de sus acciones y anticipar cambios graduales en la calidad del agua, los requisitos operativos o el rendimiento del proceso.

En la actualidad, el campo de tratamiento y distribución de agua potable está evolucionando hacia la consecución de métodos de control basados en modelos que integren tanto la cantidad como la calidad del agua. La calidad del agua en diferentes etapas del tren de tratamiento se controla para demostrar que se cumplen las pautas y se realizan pruebas de laboratorio para determinar, por ejemplo, la dosificación de productos químicos. Con el desarrollo de monitoreo en línea, se recopilan y almacenan una gran cantidad de datos, posibilitando así la aparición de sistemas de ayuda a la decisión (SAD). Sin embargo, la dificultad nace en la interpretación de los datos y la capacidad de establecer correlaciones entre la calidad entrante del agua y las consignas operacionales óptimas que aseguren la máxima eliminación de la MON.

Además, la información está fragmentada: diferentes actores en circunstancias distintas adquieren conocimientos sobre los procesos de tratamiento de agua potable. Los operadores obtienen información de la planta a gran escala, los diseñadores obtienen sus datos de plantas piloto e investigadores de experimentos a escala de laboratorio.

Dada la complejidad del control de procesos en las ETAPs, incluso los sistemas de control convencionales



más avanzados se ven limitados cuando se trata de responder frente a situaciones que requieren información cualitativa y razonamiento heurístico para su resolución. Esta es también la razón por la cual los operadores de ETAPs han limitado el control de los procesos en lazo cerrado.

EL PROYECTO WATSON: SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

El proyecto WATSON (WATER treatment workS OperatioN/OptimizatioN) nace con el objetivo de avanzar hacia

una operación resiliente, robusta y fiable de las ETAPs respondiendo a la elevada variabilidad de las circunstancias a las que se enfrentan dichas instalaciones de forma recurrente. Para ello, se está desarrollando un sistema de ayuda a la decisión (SAD) como herramienta que facilite la

integración de los diferentes conocimientos complementarios que coexisten en las mismas (Figura 1).

Para cumplir con el principal objetivo propuesto, WATSON aborda tres de los grandes retos relacionados con la operación de las ETAPs: i) profusa caracterización de la MON, ii) una modelización del conjunto de operaciones unitarias y sus interrelaciones y, iii) la construcción y validación de un SAD para lograr una eficiente gestión de las ETAPs.

El desarrollo y aplicación de metodologías avanzadas de caracterización de la MON permitirá arrojar luz sobre los mecanismos y las prestaciones de las ETAPs a escala real, estudiadas desde una perspectiva integrada. Así,

el fraccionamiento de la MON mediante técnicas de cromatografía líquida (HPLC-SEC) empleando múltiples detectores (DAD/COD) podrá integrarse como un indicador más junto con los otros parámetros convencionalmente determinados (turbidez, pH, T, DOC, UV254...) logrando un conocimiento más exhaustivo de las aguas a tratar. Disponer de dicho conocimiento debe facilitar la determinación de la relación existente entre la eliminación de distintas fracciones de materia orgánica y la formación de productos de desinfección (DBPs) pudiendo ayudar de este modo en el ajuste de las condiciones óptimas necesarias en cada operación unitaria en una línea de tratamiento.

Paralelamente, el proyecto pretende evaluar el comportamiento global de la planta a partir de un modelo integrado de las diferentes operaciones que constituyen el tren de tratamiento. Para ello, se definirán distintos escenarios función del entorno (estacionalidad, episodios meteorológicos...) así como de las condiciones operativas (tipos de coagulantes, dosis, tiempo de contacto...). Dichos escenarios serán evaluados a escala de laboratorio para identificar mejor las condiciones operativas y establecer las interrelaciones entre operaciones unitarias como la coagulación/floculación, sedimentación, filtros de arena y los sistemas de filtración por membrana; y de este mo-



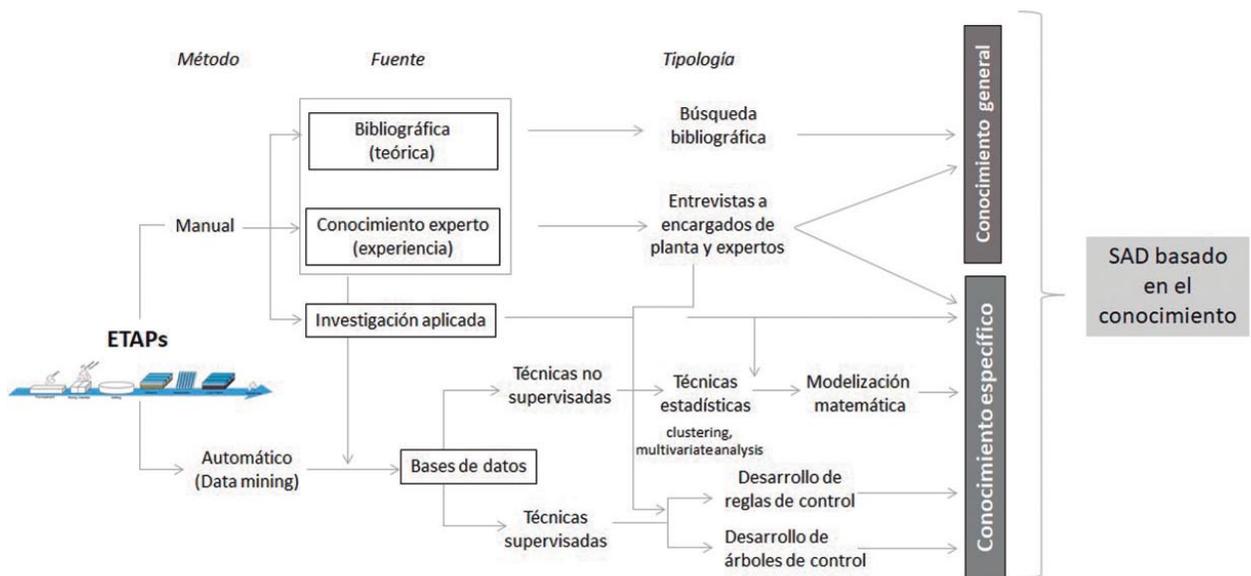


Figura 1: Procedimiento de adquisición del conocimiento para el desarrollo de un SAD basada en la MON para la supervisión de ETAPs

do poder obtener el conocimiento necesario que permita la construcción de los modelos matemáticos.

Las relaciones y patrones resultantes de la modelización serán complementados con el análisis de los datos de operación llevado a cabo en las plantas a escala real vinculadas en el proyecto para poder así obtener conocimiento específico complementario.

La integración de dicho conocimiento adquirido gracias a la modelización, sumado al conocimiento adquirido de forma bibliográfica, será lo que conllevará a constituir un SAD que permitirá identificar diferentes escenarios y proporcionar la ayuda a la decisión de los operadores bajo todo tipo de condiciones. Finalmente, la validación del SAD resultante se llevará a cabo en una de las plantas potabilizadoras implicadas en el proyecto.

El SAD es un enfoque prometedor que permite hacer frente a situaciones en las que la experiencia proporciona claves significativas y/o esenciales para encontrar soluciones, permite reducir el tiempo necesario para identificar el problema, así como el tiempo necesario para tomar una decisión y consigue además mejo-

rar la consistencia y calidad de las decisiones finales. Puesto que el desarrollo de un SAD (Figura 1) implica tanto la gestión de diferentes tipos de modelos (técnicas de inteligencia artificial, métodos estadísticos/numéricos), como adquisición de datos en línea e interacción en tiempo real, las herramientas de soporte de decisiones se convierten en las más útiles para hacer frente a la complejidad en la toma de decisiones de las ETAPs (Raseman et al., 2017).

REFERENCIAS

Ates, N., Kitis, M., Yetis, U., 2007. Formation of chlorination by-products in waters with low SUVA-correlations with SUVA and differential UV spectroscopy. *Water Res.* 41, 4139–4148. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.042>

Crittenden, J. C. et al. (2012) *MWH's Water Treatment Principles and Design*. John Wiley. Edited by W. John and S. Sons.

Golea, D. M. et al. (2017) 'THM and HAA formation from NOM in raw and treated surface waters', *Water Res.*, 112, pp. 226–235.

Krasner, S. et al. (2006) 'Occurrence of a new generation of disinfection by-products', *Environ.*

Sci. Technol., 40, pp. 7175–7185.

Raseman, W. J. et al. (2017) 'Emerging investigators series: A critical review of decision support systems for water treatment: Making the case for incorporating climate change and climate extremes', *Environmental Science: Water Research and Technology*, 3(1), pp. 18–36.

Ritson, J. . et al. (2014) 'The impact of climate change on the treatability of dissolved organic matter (DOM) in upland water supplies: A UK perspective', *Sci. Total Environ*, 473–474.

Rosario-Ortiz, F. . (2014) *Advances in the Physicochemical Characterization of Dissolved Organic Matter: Impact on Natural and Engineered Systems*. American C. Washington, DC.

Sillanpää, Mika (2014) *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*, *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*. doi: 10.1016/C2013-0-19213-6.

Sillanpää, M (2014) *Natural organic matter in water characterization and treatment methods*. Edited by Butterworth-Heinemann. IWA Publishing.

Wang, X. et al. (2017) 'New Insights into Trihalomethane and Haloacetic Acid Formation Potentials: Correlation with the Molecular Composition of Natural Organic Matter in Source Water', *Environmental Science and Technology*, 51(4), pp. 2015–2021. doi: 10.1021/acs.est.6b04817.

WHO (2017) *Guidelines for Drinking-water Quality*. ●