

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

SADAR

Sistema Avanzado Digitalizado para el control de la calidad de las Aguas Regeneradas



Autor Principal: Núria Zamorano López (FACSA)

Otros autores: Ana Fernández Blanco (LUMENSIA), Santiago Simón (LUMENSIA), Sergio Peransi (LUMENSIA), Ángel Fresneda (LUMENSIA), Inmaculada Solís (EUROFINS-IPROMA), Itxaso Carranza (EUROFINS-IPROMA), Estefanía Ferrer (EUROFINS-IPROMA), Luis García (FACSA), Joan Pere Avariento (FACSA), Francisco David Bellvis (FACSA), Mairena García (FACSA), Inés Beltrán (Ajuntament de Castelló)



ÍNDICE MÍNIMO

Resumen.....	2
Introducción	2
Materiales y métodos	3
Caracterización de la regeneración de aguas	3
Análisis de datos mediante machine learning	3
Desarrollo del sensor fotónico de E. coli.....	4
Diseño de la plataforma digital	4
Resultados y discusión	4
Modelo predictivo en tiempo real para la calidad del agua regenerada.....	4
Conclusiones	7
Agradecimientos	8

RESUMEN

El proyecto SADAR busca el desarrollo de una plataforma innovadora para la gestión de la calidad de las aguas regeneradas atendiendo a parámetros microbiológicos. El objetivo es digitalizar la EDAR convencional, mediante la gestión remota de los tratamientos de regeneración de aguas residuales y un sistema de soporte a las decisiones conectado al biosensor fotónico, a desarrollar en el proyecto para la detección simultánea de bacterias y protozoos patógenos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos hasta la fecha de este proyecto, cuya ejecución se ha iniciado en marzo 2021 y finalizará en agosto 2023.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de gran valor e imprescindible para la vida desde el punto de vista medioambiental, social y económico. En Europa se requieren acciones innovadoras y continuas para el ahorro de agua, como la reutilización de las aguas residuales tratadas. En este contexto, se estima que en Europa se podrían reutilizar 6.000 millones de metros cúbicos de agua en el futuro, aunque informes recientes informan que actualmente solo se reciclan 1.000 millones de metros cúbicos de agua (un 2,4% de los efluentes de tratamiento de aguas residuales de las estaciones depuradoras de aguas residuales, EDAR).

En España, el 10% de las aguas residuales tratadas denominadas aguas regeneradas se utiliza en prácticas agrícolas para el riego de cultivos, pudiendo alcanzar el 70% en regiones con más estrés hídrico. Sin embargo, el agua regenerada conlleva riesgos asociados a la salud debido a la posible presencia de microorganismos patógenos transmitidos por el agua. Más concretamente, las enfermedades y brotes pueden originarse por el contacto directo con agua reutilizada no libre de patógenos o por la ingestión de cultivos regados con esta fuente. El mercado de alimentos asociado al uso sostenible del agua reutilizada en el riego de cultivos requiere protección a través de la regulación de la calidad del agua ya que existe un alto riesgo para la salud al reciclar las aguas residuales. El nexo agua-alimento debe garantizarse cuidadosamente desde la fuente, lo que significa un estricto control de calidad microbiana del agua regenerada y de los procesos que la generan en las EDAR, para evitar riesgos graves para la salud.

El objetivo del proyecto SADAR es digitalizar el proceso de regeneración del agua residual teniendo en cuenta las nuevas directivas en materia de reutilización segura del agua tratada¹. La conversión de datos generados a señales digitales en un dispositivo innovador que permita la detección de múltiples patógenos que son a su vez indicadores de la calidad de las aguas regeneradas es uno de los objetivos y principales resultados de este proyecto. Además, la digitalización y transformación del dato en origen, desde la EDAR hasta una infraestructura inteligente de gestión de la información, permiten la consecución de una mejora en el control de la producción de agua regenerada. Para ello, en el proyecto se están aplicando estudios de

REGLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua ¹

SADAR: SISTEMA AVANZADO DIGITALIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

inteligencia artificial que están analizando en tiempo real la información generada en la EDAR y combinándola con la información obtenida sobre la calidad microbiológica. En paralelo, se está desarrollando un biosensor fotónico específico para *E. coli* y *Cryptosporidium*, dos de los indicadores de calidad microbiológica que entrarán en vigor a partir de junio 2023 según la nueva normativa europea en materia de reutilización de aguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de la regeneración de aguas

Se ha seleccionado una EDAR localizada en la provincia de Castellón para la realización de este proyecto. El esquema de la EDAR se muestra en la Figura 1. Se han definido un total de cuatro puntos para la caracterización microbiológica de los tres bioindicadores de la calidad del agua regenerada: *E. coli* (directo, bacterias), esporas de *C. perfringens* (indirecto, protozoos) y colifagos totales (directo, virus). Los puntos definidos son: entrada de EDAR (P01), salida de agua regenerada (P02), entrada de sistema de tratamiento terciario (P03) y salida de canal UV (P04).

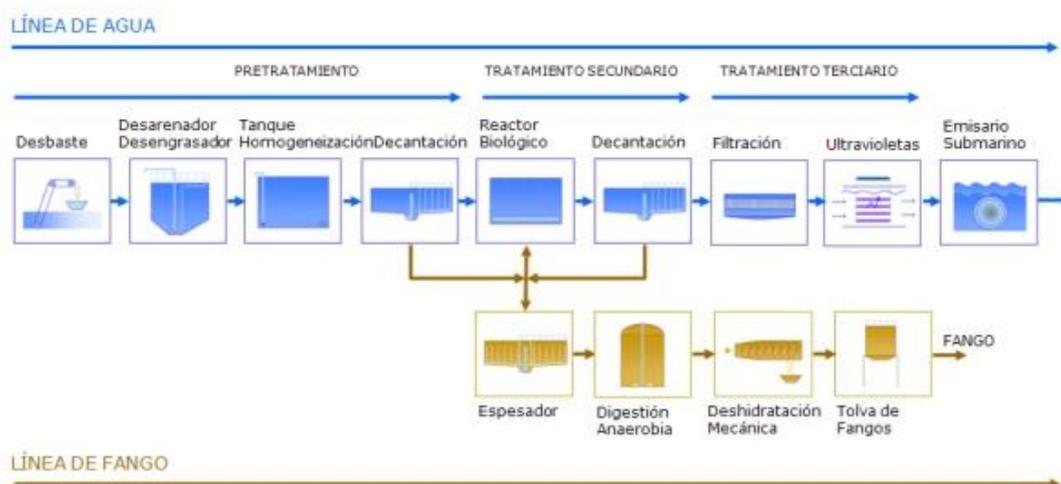


Figura 1 Esquema de tratamiento de la EDAR

Se ha establecido una rutina de seguimiento quincenal durante la primera fase de proyecto, para la determinación de los tres indicadores a través de las normas UNE-EN-ISO 9308-1-2-3 para *E. coli*, UNE-EN ISO 14189 para *C. perfringens* y UNE-EN ISO 10705-2 para los bacteriófagos. Junto a estas analíticas se han compilados los análisis de pH, sólidos suspendidos, DBO5, DQO, nitrógeno total (NT), nitratos, fósforo total (PT) y turbidez.

Análisis de datos mediante machine learning

Junto con los datos analíticos, se han recopilado los datos en tiempo real en un histórico de 7 años de funcionamiento para la elaboración del análisis predictivo mediante técnicas de machine learning. En total se están analizando 47 variables con registros agrupados cada 5 minutos. Las variables corresponden a datos en continuo sobre el funcionamiento del proceso

de la planta, incluyendo los sensores de conductividad, transmitancia y cloro libre para el control de la regeneración del agua. Estas variables se han asignado a los puntos de control establecidos para el análisis microbiológico. La hipótesis que se ha planteado es que, mediante las variables, combinando datos en tiempo real y de laboratorio, es posible predecir un cambio en la calidad del agua regenerada en cuanto a su concentración de los bioindicadores bacterianos elegidos (E. coli). Los datos se han tratado mediante el relleno de los datos faltantes, la sustitución de valores con un límite de cuantificación por cero y la eliminación de las variables constantes por tener baja variabilidad. En la transformación de los datos se han incluido las agrupaciones de día, mes y número de semana del año para la elaboración de modelos temporales que tengan en cuenta la variabilidad estacional. Se ha aplicado un análisis de correlaciones de Pearson (correlación lineal) y Spearman (correlación de orden) sobre el set de datos. Para el análisis, se ha preparado una tubería de entrenamiento para la automatización de los datos generados y se ha aplicado un modelo de regresión basado en XGBoost, que suele proporcionar unos resultados muy competitivos con unos tiempos de entrenamiento reducidos. Además, para contrastar los resultados de la técnica se probarán dos baselines basados en regresiones de Ridge y Support Vector Machines. Modelos más clásicos y con resultados probados.

Desarrollo del sensor fotónico de E. coli

El sensor se basa en la tecnología fotónica y permitirá la detección simultánea de múltiples patógenos presentes en el agua regenerada de manera específica, gracias a la implementación de inmunoensayos sobre Circuitos Integrados Fotónicos (PIC). El equipo se está desarrollando para la detección de bacterias viables específicas (E. coli) y protozoos (Cryptosporidium) en muestras de entrada y salida de EDAR. Para ello, se están analizando en paralelo los controles realizados mediante análisis estandarizados de ambos bioindicadores, y adaptando los inmunoensayos sobre PIC en el prototipo del biosensor.

Diseño de la plataforma digital

La plataforma digital se estructura sobre un modelo de datos geoespacial que permite la integración de datos de distintas fuentes (tiempo real, analíticas de laboratorio y de biosensores). El despliegue del sistema digital permitirá su funcionalidad en cloud, para lo cual se están valorando distintos servidores y proveedores de este servicio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo predictivo en tiempo real para la calidad del agua regenerada

El modelo predictivo con XGBoost presentó los mejores resultados en cuanto a acierto de la predicción (23x) con respecto a Ridge (4x) y SVM (12x). Con el set de datos del primer análisis realizado, se ha obtenido un modelo con R2 de 0.64 (ver Figura 2). Por tanto, será necesario el reentrenamiento con nuevas variables generadas en tiempo real o con menor frecuencia de muestreo. Para ello se va a incrementar la frecuencia de medición de E. coli en salida, ya que en la actualidad tan sólo se obtienen datos de los puntos de muestreo una vez a la semana,

SADAR: SISTEMA AVANZADO DIGITALIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

resultando un set de datos con unas dimensiones inferiores a las necesarias para obtener una buena predicción. A pesar de ello, está siendo posible elaborar un primer modelo predictivo de detección de anomalías en la calidad del agua regenerada, a partir de los datos analizados.

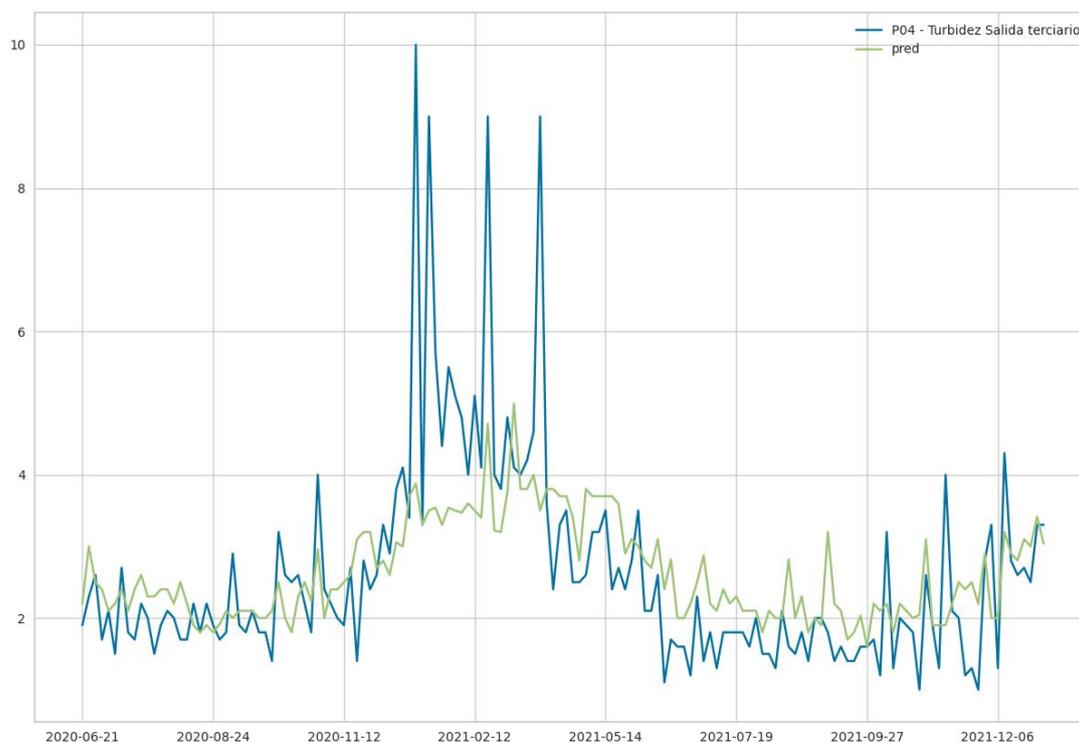


Figura 2 Demostración del modelo predictivo para la calidad del agua regenerada en base a la turbidez.

En la fase final del proyecto se implementará una sonda de medición de parámetros indirectos que permite obtener una aproximación no específica de los datos de E. coli presentes en la muestra. Esta sonda genera información en tiempo real y permitirá aumentar los datos a analizar mediante el modelo de machine learning XGBoost generado.

Resultados preliminares de la detección de E. coli mediante sensores fotónicos

Los resultados de las primeras muestras analizadas en paralelo mediante la norma UNE-EN-ISO 9308-1-2-3 para la determinación de E. coli en aguas y el prototipo de sensor fotónico de esta bacteria se muestra en la Figura 3. Los coeficientes de correlación son 0.9848 para el agua de entrada y 0.9771 para el agua regenerada.

SADAR: SISTEMA AVANZADO DIGITALIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

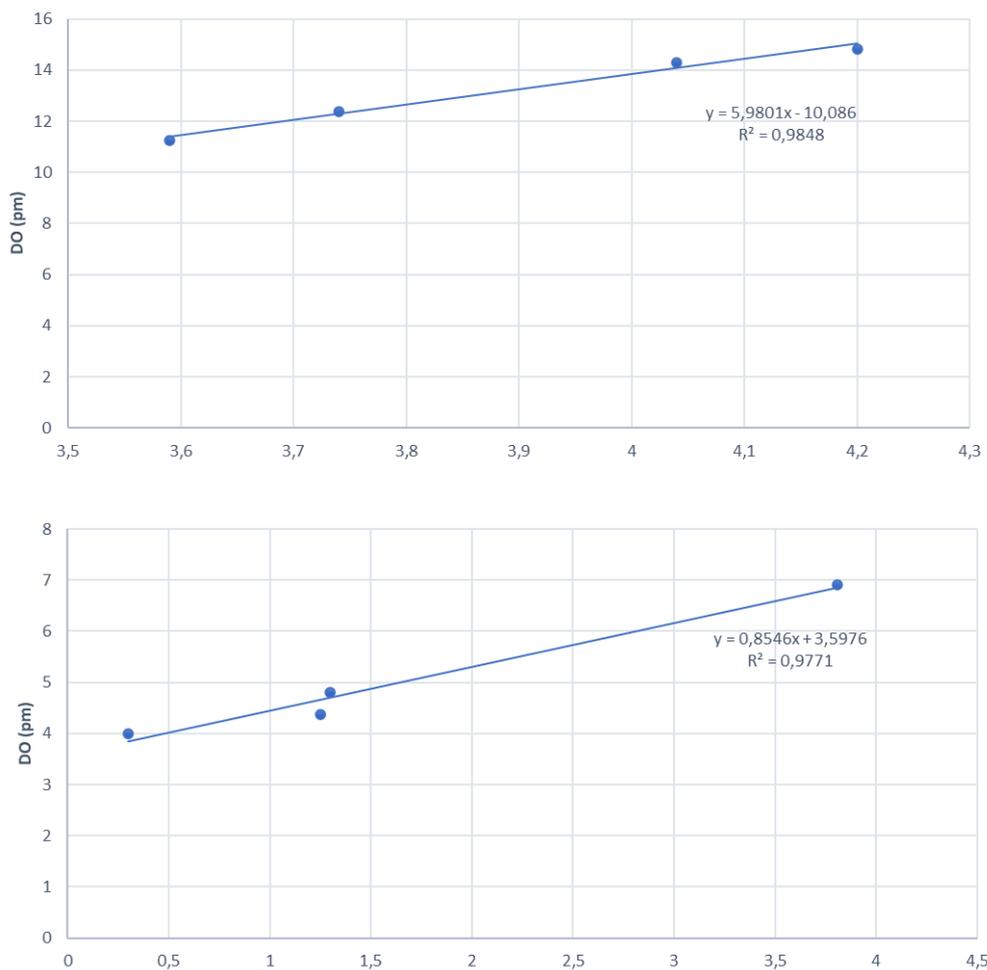


Figura 3 Resultados preliminares biosensor fotónico en aguas regeneradas (abajo) y de entrada (arriba).

Esquema conceptual de la plataforma

En la Figura 4 se muestra el esquema de la relación del modelo de datos, en su fase conceptual, que combina toda la información necesaria para la ubicación geoespacial de la información y su análisis posterior mediante técnicas de machine learning.

SADAR: SISTEMA AVANZADO DIGITALIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

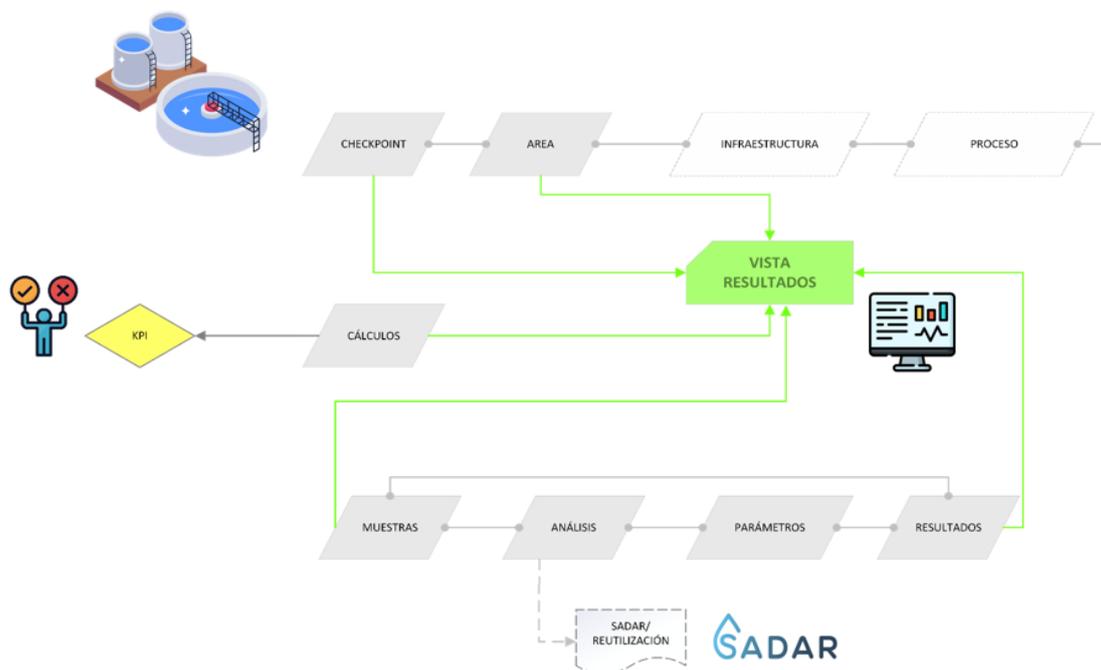


Figura 4 Esquema conceptual de la plataforma SADAR

CONCLUSIONES

El desarrollo de una plataforma digital para el control de la calidad de las aguas regeneradas es posible y puede permitir la mejora de la detección temprana de los cambios en este parámetro. Con ello, se espera que este proyecto contribuya a la mejora de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales y tenga un impacto positivo directo sobre el medio ambiente, al proteger la destinación final del agua regenerada, especialmente en los casos en los que se usa para agricultura.

- En los próximos meses se continuará optimizando el biosensor fotónico y se implementará la detección del segundo indicador, permitiendo el análisis simultáneo de dos de los tres bioindicadores de importancia para la producción de agua regenerada (E. coli y Cryptosporidium).
- Los resultados obtenidos a partir del prototipo de biosensor en desarrollo permitirán la revalidación del modelo de machine learning elaborado, mejorando con ello su capacidad predictiva.

SADAR: SISTEMA AVANZADO DIGITALIZADO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido cofinanciado por la Agència Valenciana de la Innovació (AVI), bajo número de expediente INNCAD/2021/95-96-101 y en él participan las entidades de la Comunidad Valenciana: Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense S.A. (FACSA), Lumensia Sensors S.L. y Eurofins Iproma y cuenta con la colaboración del Ajuntament de Castelló.



GENERALITAT
VALENCIANA



AVI AGÈNCIA VALENCIANA
DE LA INNOVACIÓ