CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTRE

3ª JORNADA TÉCNICA DE LA CÁTEDRA ATL DEL AGUA POTABLE

Modelización de los SPDs: de la ciencia a la aplicación

Gestión preventiva de subproductos de desinfección mediante digitalización y sensores virtuales

Marina Arnaldos Orts, PhD, MBA
Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

FECHA
26 de octubre de 2026

CETAQUA
CENTRO TECNOLÓGICO DEL AGUA

Quiénes Somos

Modelo pionero de colaboración público-privada

Somos el resultado de un modelo único de colaboración público-privada, orientado a proponer nuevas **soluciones de I+D+i para garantizar la sostenibilidad y eficiencia del ciclo del agua**, teniendo en cuenta las necesidades locales.

El modelo se ha convertido en una referencia para la aplicación de los conocimientos académicos a la gestión del agua y del medio ambiente. De hecho, se ha **reproducido en 3 centros independientes** que replican la estructura, comparten estrategia y trabajan en colaboración.

Red de Centros e Alianzas Estratégicas

CETAQUA BARCELONA — VEOLIA — Aigües de Barcelona — UPC UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH — CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

CETAQUA ANDALUCÍA — VEOLIA — HIDRALIA — Universidad de Málaga — CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

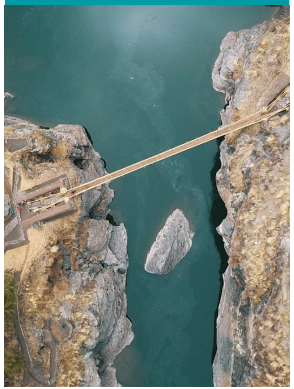
CETAQUA GALICIA — VEOLIA — USC Universidade de Santiago de Compostela — CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

ÁREAS DE INNOVACIÓN

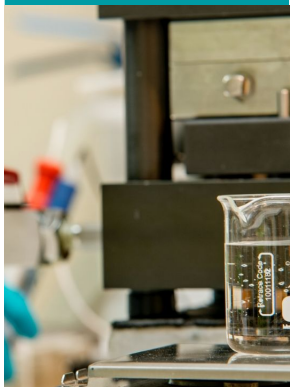
Nos enfocamos en cinco **áreas estratégicas de innovación** diseñadas para responder a las necesidades de las empresas y territorios y hacer frente a los desafíos de la sociedad, beneficiando directamente a las personas y al planeta.

Nuestras áreas de innovación están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por las Naciones Unidas:

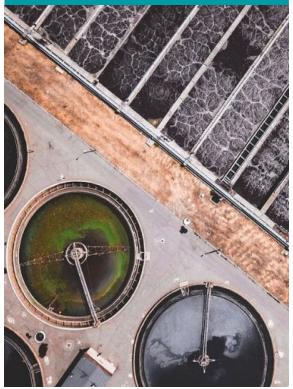
Planificación y gestión de recursos hídricos



Producción y nuevos recursos



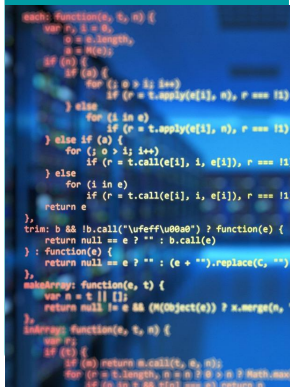
Residuo cero y descarbonización



Sostenibilidad territorial y social



Operación eficiente, segura y digital



PLATAFORMAS EXPERIMENTALES: Plantas piloto

Nuestras plantas piloto son espacios clave en nuestro proceso de innovación. Probamos y validamos los resultados de nuestra investigación en estas instalaciones, en condiciones reales, antes de su implementación a escala real.

33 plantas piloto

500 m2 de infraestructura dedicada



*And a pilot plant in Turkey

ALIANZAS ESTRATÉGICAS

Colaboramos con nuestros actores clave para generar un impacto en el territorio.

Patrocinadores

Aigües de Barcelona · HIDRALIA · VEOLIA

Consejo asesor científico y técnico

CSIC · UPC Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech · Universitat de Barcelona · Universidad de Málaga · USC Universidade de Santiago de Compostela

Consejo científico y técnico

CSIC · UPC Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech · UAB Universitat Autònoma de Barcelona · Universitat de Girona · IREC · eurecat Centre Tecnològic de Catalunya · USC Universidade de Santiago de Compostela · Universidade da Coruña · Universidade de Vigo · Universidad de Málaga · Universidad de Almería · UCA Universidad de Cádiz · Universidad de Granada · Universidad de Córdoba · Universidad de Valparaíso Chile

Otras alianzas de valor

Water Europe · Ship2B Foundation · CIEC · The Collider · Fundación CYD · COTEC · UCAM Universidad Católica de Murcia · Universidad de Valparaíso Chile · Universidad de Córdoba · Universidad de Granada · Fundación General CSIC · Universidad Politécnica de Cartagena · Universidad de Granada · Universidad de Huelva · ULPGC Universidad de Las Palmas de Gran Canaria · UA · UNED · valgrAI Valencian Graduate School and Research Network of Artificial Intelligence · Universidad de Murcia · CIDAI Centre of Innovation for Data tech and Artificial Intelligence · asersa · Bio-Based Industries · CWP Catalan Water Partnership · AEDyR Asociación Española de Desalación y Reutilización · water footprint network · arc

MARCO NORMATIVO & DESAFÍOS TÉCNICOS (RD 3/2023)

El Reto Operativo: De la Gestión Reactiva al Control Preventivo

01

Marco normativo (RD 3/2023)

Exigencias más estrictas en la vigilancia de Trihalometanos (THMs), Ácidos Haloacéticos (HAAs), Cloratos y Bromatos.

02

Inercia analítica tradicional

La gestión mediante laboratorio o cromatografía implica altos costes, uso de reactivos y retrasos de 24-48 horas en la obtención del dato.

03

Complejidad físico-química

Dinámica estacional de la Materia Orgánica Natural (MON), cambios temperatura y pérdida de cloro residual en conducciones largas.

No podemos gestionar la calidad del agua de mañana con los datos de laboratorio de ayer

Cronología Tecnológica (2018–2027)

Evolución Tecnológica: Una Década Construyendo Soluciones Digitales

FASE 01 | En Planta

SpectroETAP & TRON

2018 - 2021

Desarrollo del primer sensor virtual en ETAP Sant Joan Despí (Aigües de Barcelona). Espectrometría UV y MLOps.

FASE 02 | Las Mezclas

DESALA & DOMA

2020 - 2023

Evaluación de la introducción de agua desalada en Roquetas de Mar y trazabilidad en tiempo real del origen de mezclas (hasta 4 fuentes) en Barcelona.

FASE 03 | En Red

LAGAR & LAGAR 2.0

2020 - 2023

Despliegue de sensores virtuales en depósitos de la Costa del Sol (Marbella/Estepona) para la estimación de THMs.

FASE 04 | Sistema Integral

TRIATHLON

2024 - 2027

Desarrollo de un Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) multicriterio para la gestión de THMs en planta y puntos críticos de la red de distribución.

FASE 01 | CAPTACIÓN Y SALIDA DE PLANTA

Sensórica Virtual sin Reactivos

Proyecto: SpectroETAP & TRON | **Ubicación:** ETAP Sant Joan Despí (Aigües de Barcelona)

01
Espectrometría UV

Implementación de espectrómetro en continuo (**spectro::lyser**) cada 5 min.



02
SCADA & Cloud

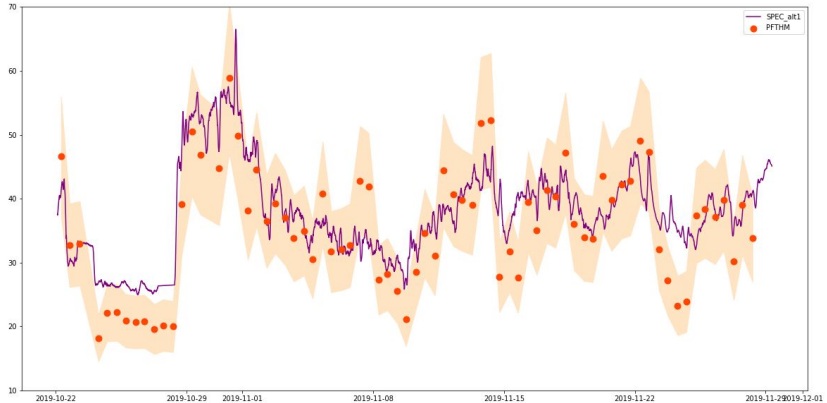
Streaming con SCADA (pH, temp, cond) en Azure Cloud.



03
MLOps & Calibración

Re-calibración automática del algoritmo ante variaciones.





RESULTADO OPERATIVO

Predicción a 24 horas del potencial de formación de THMs (pfTHM) en la salida de planta sin consumo de reactivos ni costes analíticos adicionales.

Comparación modelo predicción del pfTHMs 24h vs análisis de laboratorio

FASE 02 | RED DE DISTRIBUCIÓN Y DEPÓSITOS

Gestión Dinámica en Red: Modelización de Puntos Críticos

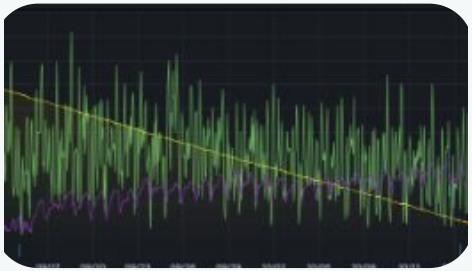
Proyecto: LAGAR & LAGAR 2.0 | **Ubicación:** Red de Marbella y Depósito Bahía Dorada en Estepona (Hidralia / Acosol)



01

Sondas Multiparamétricas e Hidráulicas

Combinación de sondas multiparamétricas (UV254, pH, temperatura, turbidez) con variables hidráulicas (nivel de depósito y caudal).



02

Algoritmo de "Serie Sintética"

Integración ponderada de las predicciones en continuo del sensor virtual con la tendencia de las analíticas del LIMS.

RESULTADO OPERATIVO

20% → 2%

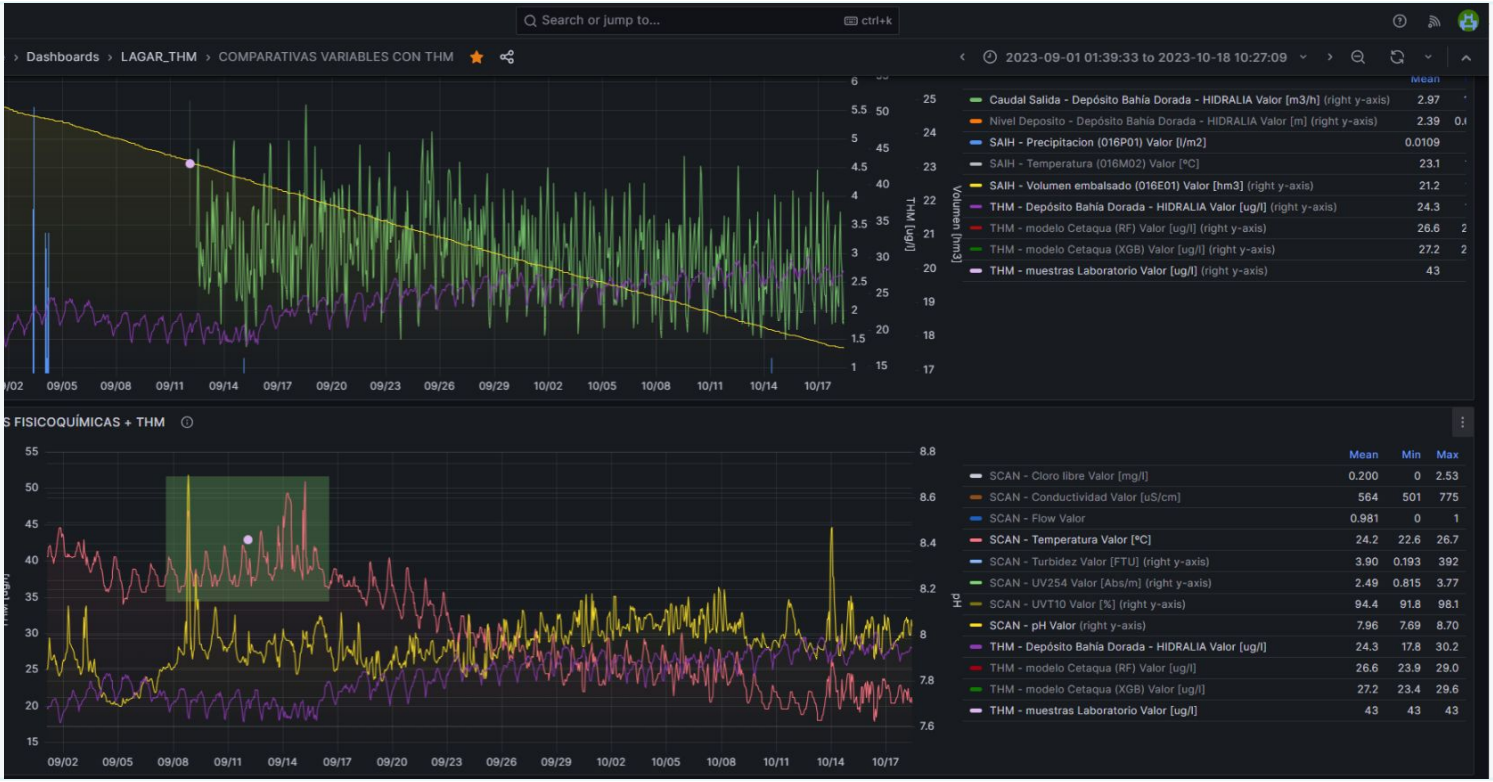
REDUCCIÓN DE ERROR MEDIO

- **Reducción del error medio del modelo del 20% (LAGAR 1.0) al 2% (LAGAR 2.0).**
- Visualización interactiva en tiempo real para operadores mediante paneles Grafana.

MONITOREO EN TIEMPO REAL | PANELES GRAFANA

Evolución de Parámetros de Calidad y Predicción de THMs

Visualizador Grafana de la evolución de parámetros de calidad y predicción de THMs en depósitos



FASE 03 | MEZCLAS Y FUENTES COMPLEJAS

Redes Multiorigen: Gestionando el Impacto de las Mezclas

Proyectos: DESALA & DOMA (Lab Digital Twins) | **Ubicación:** Roquetas de Mar y Red de Aigües de Barcelona

01 DESALA

Estudio del impacto de la desalinización en el incremento de THMs por la presencia de bromuros en periodos estivales.

02 DOMA

Modelos de predicción para la determinación en tiempo real del porcentaje exacto de agua procedente de hasta 4 fuentes distintas (Ter, Llobregat Sant Joan Despí, Llobregat Abrera Desaladora).



RESULTADO OPERATIVO

Ajuste dinámico del sensor virtual según el origen real del agua.

FASE 04 | SOLUCIÓN INTEGRAL

Sistema de Ayuda a la Decisión Basado en IA

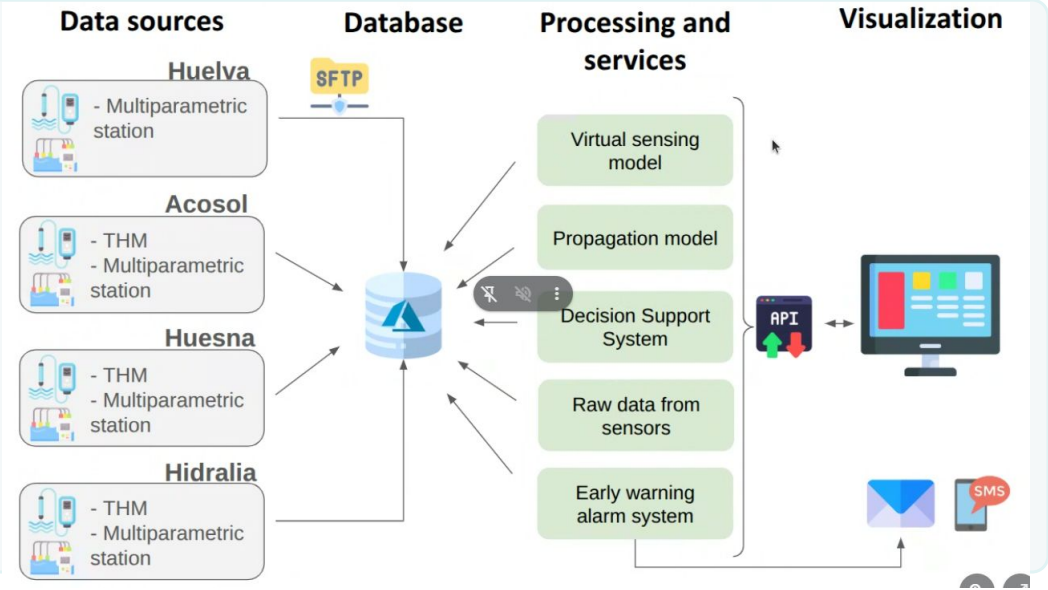
Proyecto: TRIATHLON (Colaboraciones Público Privadas) | **Ubicación:** Costa del Sol, Huelva, Sevilla/Huesna

01 Módulo de Propagación en Red

Simulación en EPANET para calcular la edad del agua, la degradación del cloro y THMs en nodos lejanos.

02 Sistema de Alerta Temprana

Notificación automática de desviaciones y sugerencia de consignas de optimización en tiempo real.



3 CASOS DE ESTUDIO REALES

Costa del Sol

Gestión de mezclas y recloración.

Huelva

Control en conducciones largas.

Sevilla / Huesna

Depósitos de gran volumen.

RESULTADOS DE IMPACTO | MEDIDA DE VALOR

Impacto Tangible en la Operación y Reducción de Costes

INDICADOR DE IMPACTO

Frecuencia de dato

MÉTODO TRADICIONAL

Muestreo discontinuo

SOLUCIÓN TRIATHLON

Lecturas cada 5 minutos

BENEFICIO CUANTIFICADO

Visibilidad 24/7

de la red

INDICADOR DE IMPACTO

Tiempo de respuesta

MÉTODO TRADICIONAL

Días (respuesta analítica)

SOLUCIÓN TRIATHLON

Predicción a tiempo real

BENEFICIO CUANTIFICADO

-75%

tiempo detección

INDICADOR DE IMPACTO

Incumplimientos normativos

MÉTODO TRADICIONAL

Gestión reactiva

SOLUCIÓN TRIATHLON

Prevención de picos

BENEFICIO CUANTIFICADO

100%

Garantizar cumplimiento normativo

CAMBIO DE PARADIGMA | EL ROL DEL LABORATORIO

¿Sustituye la IA al Laboratorio? Una Sinergia Necesaria

01 | PILAR OPERATIVO

El Sensor Virtual (24/7)

Asume el control operativo en tiempo real, el ajuste de consignas y las alertas a 48 horas.

- **Reducción masiva del coste marginal.**

02 | PILAR ANALÍTICO

El Laboratorio (LIMS)

Mantiene la acreditación legal (RD 3/2023) y actúa como estándar de calibración periódica para el algoritmo (*MLOps*).

- **Garantía de calidad y cumplimiento normativo.**

CONCEPTO CLAVE

"El sensor virtual no sustituye al laboratorio, pero sí nos da la capacidad de reacción operativa, con reducción de riesgos y aseguramiento de la continuidad operativa a un coste óptimo"

CONCLUSIONES TÉCNICAS | FACTORES CLAVE

Industrialización de Modelos de SPDs

01

Garantizar el cumplimiento normativo

El desarrollo de modelos de SPD permiten agilizar y eficientar el cumplimiento con las nuevas normativas de agua potable.

02

Complementariedad con laboratorio

Los modelos de SPD complementan el análisis tradicional de laboratorio, proporcionando rapidez para la toma de decisiones

03

Monitorización en la red

La unión de sensores virtuales con modelos hidráulicos (EPANET) permite predecir concentraciones a 48h en puntos críticos o en nodos no sensorizados.

04

Sostenibilidad de los modelos

La automatización de la re-calibración es indispensable para mantener la fiabilidad operativa de los modelos, minimizando la intervención de personal

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTRE

Thank You For Your Attention