



PLATAFORMA
TECNOLÓGICA
ESPAÑOLA DEL AGUA

REVISTA

IDIAGUA

REVISTA SOBRE TENDENCIAS EN LA I+D+I DE LA
PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL AGUA (PTEA)

7ª EDICIÓN. 2025.

INFRAESTRUCTURAS
DEL AGUA



EDICIÓN, DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Dña. Paula Menéndez

Executive Manager de Plataforma Tecnológica Española del Agua (PTEA)

pmenendez@ptea.es

+34 671 475 721

Secretaría Técnica de PTEA

secretariatecnica@ptea.es

www.ptea.es

REVISORES COLABORADORES

Dña. Alicia Andreu (ITC)- Secretaria General de PTEA

D. Félix Francés (IIAMA-UPV)- Vicepresidente de PTEA

D. Jordi Cros (ADASA)- Vocal de la Junta Directiva de PTEA

D. Jorge García (AINIA)- Vocal de la Junta Directiva de PTEA

D. Juan Sobreira (ITG)- Vocal de la Junta Directiva de PTEA

Dña. Marián Serrano (GLOBAL OMNIUM)- Presidenta de PTEA

Dña. Raquel López (CARTIF)- Vocal de la Junta Directiva de PTEA



ARTÍCULO 8

Resiliencia de las infraestructuras del agua

FLUENT 2.0

Un ejemplo de plataforma para la toma de decisiones data-driven en la renovación de redes de abastecimiento a través del uso compartido de datos

Palabras clave

TUBERÍA, AVERÍA, PLANIFICACIÓN, INVERSIONES, REDES, ABASTECIMIENTO, DATA-DRIVEN

Muchas de las redes urbanas de distribución de agua se encuentran en un momento crítico debido a la convergencia de diversos factores: el envejecimiento de las infraestructuras, la presión creciente sobre el recurso hídrico derivada del aumento de la demanda y los escenarios de sequía cada vez más frecuentes que alteran su comportamiento hidráulico. En este contexto, el disponer de herramientas avanzadas que permitan anticipar averías, priorizar inversiones y mejorar la eficiencia global de dichas redes, se hace imprescindible y se ha convertido en una necesidad estratégica para operadores y administraciones.

El **proyecto FLUENT 2.0**, continuación directa del proyecto FLUENT financiado en la convocatoria Iniciatives de Reforç a la Competitivitat de ACCIÓ, responde precisamente a este reto de manera colaborativa, mediante la creación de una plataforma de uso abierto y orientada a datos que va a permitir mejorar la toma de decisiones en la renovación de redes de abastecimiento y la asignación de recursos.

Adrián Oliva Granados

Jefe de distribución (Taigua)

adrian.oliva@taigua.cat**Anna Cussó Torner**

Desarrolladora full stack (AVENTEC)

acusso@aventec.cat**Claudia Dragoste**

Project manager GIS (Aigües de Manresa)

cdragoste@aiguesmanresa.cat**David Lianes Palomino**

Jefe de estudios técnicos (Aigües de Mataró)

dlianes@aiguesmataro.com**María Guzmán Nieto**

Analista GIS-Giswater i Coordinadora RDI (B'GEO Open GIS)

mguzman@bgeo.es**Enric Corbella Reventós**

Director de operaciones (Aigües de Mataró)

ecorbella@aiguesmataro.com**Ramón Pérez Magrané**

Profesor asociado (Univ. Politècnica de Catalunya)

Ramon.perez@upc.edu**Sergi Compte Port**

R&D area manager (Catalan Water Partnership)

sergi.compte@cwp.cat**Sergi Grau Torrent**

Subdirector técnico y jefe de dpto de innovación (Aigües de Manresa)

sgrau@aiguesmanresa.cat**Xavier Torret Requena**

Socio director (B'GEO Open GIS)

xtorret@bgeo.es

REVISTA IDIAGUA 2025

Infraestructuras del Agua

FLUENT 2.0 trabaja sobre el algoritmo predictivo, ya desarrollado en la primera fase del proyecto, ampliando sus capacidades técnicas, incorporando nuevas fuentes de datos y estableciendo un marco metodológico más robusto para evaluar el riesgo asociado a las averías.

La principal innovación es la compartición de datos de averías entre diferentes operadoras con el objetivo de aumentar la muestra estadística, y como consecuencia, definir un modelo de datos de averías común. También se ha realizado la integración explícita del concepto común de riesgo, entendido como la combinación entre la probabilidad de fallo y sus consecuencias potenciales en diversos ámbitos como pueden ser el económico, social o medioambiental. Para ello, se han desarrollado sistemas de aprendizaje automático capaces de trabajar con múltiples series temporales y distintos niveles de precisión en la segmentación de red, integrando, a su vez información económica, ambiental y social. Este enfoque permite no solo identificar los puntos más vulnerables de una red, sino también cuantificar el impacto que tendría una avería en cada tramo, ofreciendo un criterio de priorización mucho más completo y alineado con las necesidades reales de planificación.

Paralelamente, FLUENT 2.0 ha mejorado la plataforma de datos, incorporando funcionalidades como la sectorización automática, y la definición de sectores mínimos que permitan obtener resultados más concretos. También se ha desarrollado un visor interactivo que facilita la interpretación de resultados y permite a los operadores explorar escenarios, comparar periodos y visualizar los tramos críticos de manera intuitiva.

El proyecto se ha desarrollado bajo la coordinación del Catalan Water Partnership, con la participación de operadores de redes de diversos perfiles —Aigües de Manresa, Aigües de Mataró, Taigua y Aigües de Vic— junto con entidades tecnológicas como AVENTEC y BGEO y la Universitat Politècnica de Catalunya. Esta colaboración ha permitido construir un modelo escalable y replicable, que será especialmente útil para municipios pequeños y medianos que tradicionalmente no disponen de herramientas avanzadas de apoyo a la decisión.

Introducción

Las redes urbanas de distribución de agua atraviesan en la actualidad un periodo marcado por una creciente complejidad operativa. El envejecimiento de las infraestructuras, la presión progresiva sobre el recurso hídrico derivada del aumento de la demanda urbana e industrial y de la población (tanto permanente como estacional) y la recurrencia de episodios de sequía prolongada, que alteran el funcionamiento hidráulico de las infraestructuras, configuran un escenario donde la fiabilidad y la eficiencia de la red se ven y se verán cada vez más comprometidas. La combinación de estos factores impacta tanto en la capacidad de mantener un servicio continuo como en la sostenibilidad física del sistema a medio y largo plazo.

REVISTA IDIAGUA 2025

Infraestructuras del Agua

Las recientes situaciones de sequía, principalmente fuertes en Cataluña y Andalucía, han evidenciado la necesidad de reducir pérdidas, minimizar averías e intensificar y priorizar inversiones con criterios objetivos y fundamentados en datos.

El proyecto FLUENT 2.0, financiado en el marco de la convocatoria Iniciatives de Reforç a la Competitivitat de ACCIÓ, nace como respuesta a estas necesidades. Su objetivo ha sido construir una plataforma colaborativa, abierta y basada en datos que incorpore técnicas avanzadas de aprendizaje automático, integre nuevas fuentes y tipologías de información y establezca un marco metodológico más robusto para evaluar el riesgo asociado a cada tramo de red.

La participación de operadores como Aigües de Manresa, Aigües de Mataró, Aigües de Terrassa (Taigua) y Aigües de Vic, combinada con el conocimiento tecnológico de AVENTEC y BGEO y el soporte científico de la Universitat Politècnica de Catalunya, ha permitido desarrollar una solución versátil, replicable y alineada con los retos reales del ciclo urbano del agua.

Metodología

La **metodología de FLUENT 2.0 se ha construido sobre la base de los aprendizajes de la primera fase del proyecto, con el propósito de generar un modelo más preciso, comprensible y operativo.** En primer lugar, se ha llevado a cabo una ampliación sustancial de la base de datos, incorporando información procedente de distintos operadores con redes de características diversas. Este incremento en la representatividad ha requerido la estandarización de formatos y la consolidación de un marco común para la definición de averías y atributos de red.

El proyecto ha definido sectores de cierre que permiten segmentar la red con un nivel de detalle que mejora la sensibilidad del modelo predictivo. Esta mayor resolución espacial permite segmentar la red con criterios de consecuencias operativas.

El tratamiento e integración de los datos han sido elementos centrales de la metodología. BGEO y AVENTEC han desarrollado una plataforma que actúa como repositorio centralizado y que incorpora procesos automatizados de limpieza, filtrado y enriquecimiento de datos.

Esta infraestructura, estructurada como un datawarehouse, permite no solo integrar información procedente de distintas fuentes, sino también segmentarla por periodos, sectores o tipologías de variables con el fin de entrenar modelos específicos o escenarios de análisis diferenciados.

Aunque se ha trabajado con información de las operadoras Aigües de Manresa, Aigües de Mataró, Taigua y Aigües de Vic, la automatización de los flujos de entrada de datos habilita un sistema flexible y preparado para incorporar progresivamente a nuevos operadores, con la visión de futuro de poder ampliar así la masa crítica sobre la cual se sustenta el modelo predictivo.



BGEO y AVENTEC han desarrollado una plataforma que actúa como repositorio centralizado y que incorpora procesos automatizados de limpieza, filtrado y enriquecimiento de datos.

Para ello, se han desarrollado algoritmos de aprendizaje automático capaces de trabajar con múltiples series temporales y de analizar variaciones relacionadas con la antigüedad de la infraestructura, los materiales, los parámetros hidráulicos y otros factores que condicionan el comportamiento de la red. Concretamente se han usado la regresión logística, bosques aleatorios y redes neuronales artificiales.

Estos modelos predictivos se han entrenado de forma iterativa, permitiendo ajustar la sensibilidad y el peso de las variables en función del comportamiento específico de cada red. Esto dota al sistema de una gran flexibilidad y favorece que pueda ser replicado en entornos con características distintas, manteniendo un equilibrio entre precisión y generalización.

Para la comparativa de los resultados se ha usado la validación cruzada [2]. También se ha aplicado como metodología para la interpretación de los modelos la evaluación de los valores shap [1] basada en la teoría de juegos cooperativa.

Uno de los avances metodológicos más significativos introducidos en FLUENT 2.0 ha sido la integración del concepto de riesgo como eje central del análisis.

A diferencia de los modelos puramente probabilísticos, que se limitan a estimar la probabilidad de fallo de un tramo de red, la aproximación adoptada en este proyecto bajo el liderazgo de la Universitat Politècnica de Catalunya entiende el riesgo como el resultado de combinar dicha probabilidad con las consecuencias potenciales asociadas a una avería. Estas consecuencias se han evaluado en dimensiones económicas, sociales y ambientales, construyendo un indicador que recoge de forma integrada la criticidad de cada tramo.

Paralelamente, el proyecto ha desarrollado un visor interactivo que facilita la interpretación de los resultados y permite explorar visualmente los tramos críticos, comparar periodos de análisis o analizar escenarios de inversión alternativos.

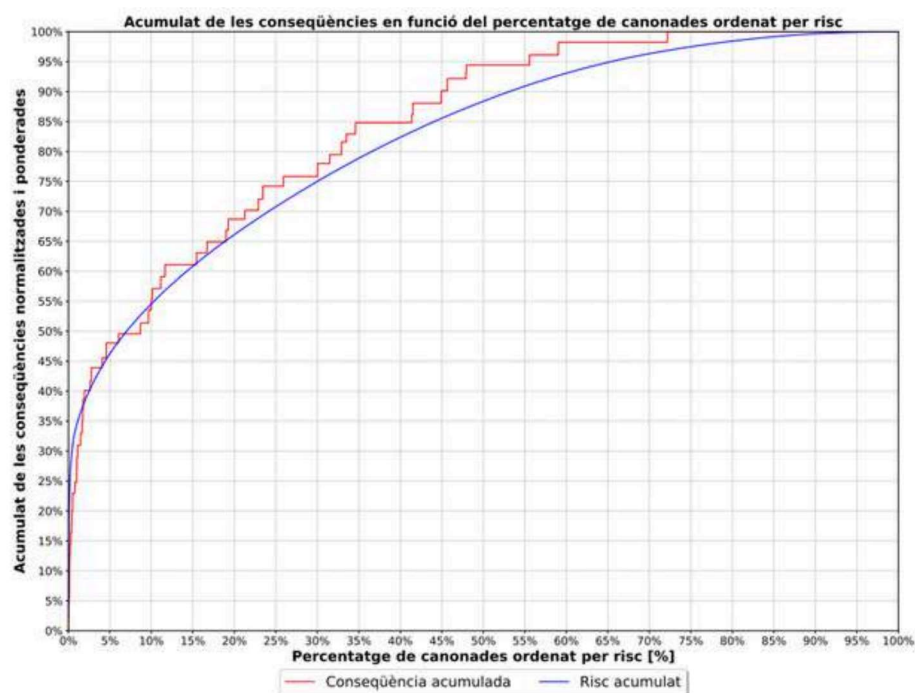
Esta herramienta constituye un puente entre el modelado avanzado y las necesidades operativas de los técnicos de explotación, que deben tomar decisiones basadas tanto en criterios técnicos como económicos.

REVISTA IDIAGUA 2025

Infraestructuras del Agua

Resultados

Los resultados de FLUENT 2.0 muestran un avance notable respecto a la primera fase del proyecto y consolidan la utilidad práctica de la plataforma desarrollada. La mejora en la calidad y diversidad de los datos ha permitido generar un modelo predictivo más robusto, capaz de identificar con mayor precisión los tramos más vulnerables de la red. La segmentación avanzada ha proporcionado un nivel de detalle que permite detectar patrones locales que anteriormente pasaban desapercibidos, facilitando una interpretación más afinada del riesgo de avería. Este avance es especialmente relevante en contextos donde las redes presentan heterogeneidades marcadas, tanto en antigüedad como en materiales o características hidráulicas.



La integración del análisis del riesgo ha transformado profundamente la capacidad de priorización dentro de las estrategias de renovación. Al evaluar simultáneamente la probabilidad de fallo y las consecuencias asociadas, los operadores disponen ahora de una herramienta que les permite justificar decisiones de inversión de forma más objetiva, transparente y alineada con la realidad operativa.

Figura 1 . Curva de las consecuencias acumuladas evitadas en función del porcentaje de sustitución basado en el riesgo. La curva roja representa las consecuencias reales mientras que la azul son las estimadas a partir de la integral del riesgo.

Este enfoque basado en la criticidad ofrece un marco claro para planificar actuaciones de renovación, apoyar la toma de decisiones presupuestarias y optimizar la asignación de recursos, especialmente en un contexto de limitaciones económicas y creciente exigencia social. **La Fig. 1 presenta las consecuencias evitadas para un conjunto de validación cuando se usa el riesgo como factor de ordenación en la sustitución de tuberías.**

REVISTA IDIAGUA 2025

Infraestructuras del Agua

El proyecto ha concebido como una solución abierta, interoperable y escalable. Esto facilita que operadores de distintos tamaños, especialmente los municipios pequeños y medianos, puedan incorporar sus datos y beneficiarse del modelo sin necesidad de infraestructuras tecnológicas complejas ni elevados costes. La naturaleza colaborativa del proyecto permite construir de manera progresiva una base de datos más rica, en la que cada nuevo operador contribuye a mejorar la capacidad predictiva global del sistema. Este enfoque colectivo representa un cambio de paradigma en la gestión del ciclo urbano del agua y abre la puerta a iniciativas similares en otros territorios.

El visor interactivo constituye uno de los elementos más valiosos desde el punto de vista operativo. Su capacidad para representar visualmente los resultados del modelo, mostrar mapas de riesgo, explorar tramos críticos y analizar patrones históricos transforma el conocimiento generado por el algoritmo en información accionable para los técnicos responsables de la explotación de la red. La validación realizada por los operadores participantes ha permitido ajustar funcionalidades, mejorar la usabilidad y garantizar que el sistema responda a las necesidades reales del día a día.

Conclusiones

FLUENT 2.0 se consolida como un ejemplo de cómo la colaboración sectorial, el intercambio de datos y la aplicación de técnicas avanzadas de análisis pueden transformar la gestión de las redes de distribución de agua. El proyecto ha demostrado que, cuando operadores, entidades tecnológicas y empresas trabajan bajo un marco común, es posible superar limitaciones históricas relacionadas con la disponibilidad de información, la heterogeneidad de las redes y la dificultad de anticipar fallos con criterios objetivos.

Esta cooperación ha permitido desarrollar un modelo predictivo más robusto, transparente y adaptable, hecho a medida de los retos reales del sector. La introducción de la metodología de análisis de riesgo, ofreciendo un enfoque mucho más completo que los modelos tradicionales basados únicamente en las probabilidades. Este cambio metodológico facilita una planificación más eficiente y alineada con los objetivos de sostenibilidad, resiliencia y optimización de recursos que demandan tanto las administraciones como la ciudadanía.



FLUENT 2.0 se consolida como un ejemplo de cómo la colaboración sectorial, el intercambio de datos y la aplicación de técnicas avanzadas de análisis pueden transformar la gestión de las redes de distribución de agua

REVISTA IDIAGUA 2025

Infraestructuras del Agua

El desarrollo y mejora de la plataforma de datos y del visor interactivo han permitido traducir el conocimiento generado por los algoritmos en una herramienta práctica para los equipos técnicos. La capacidad de visualizar escenarios, explorar historiales, comparar periodos o detectar patrones locales dota a los operadores de una comprensión más profunda del comportamiento de sus redes.

Esta accesibilidad al conocimiento técnico contribuye a reducir la toma de decisiones en base de enfoques reactivos y favorece un modelo de gestión preventiva, donde las actuaciones se justifican con evidencias claras y cuantificables. Cabe destacar que una solución escalable y replicable será especialmente valiosa para municipios pequeños y medianos que suelen disponer de menos recursos para adquirir o desarrollar herramientas avanzadas.

La arquitectura abierta del sistema es un aspecto importante, ya que permite que nuevos operadores se incorporen progresivamente, enriqueciendo la base de datos común y potenciando la robustez y capacidad predictiva del modelo. FLUENT2.0 pretende ser también una estructura colaborativa que seguirá creciendo y mejorando con el tiempo.

Referencias

[1] Christoph Molnar. Interpretable Machine Learning. A Guide for Making Black Box Models Explainable. 3a ed. Christoph Molnar, 2025.

[2] Shamsuddin Daulat et al. "Evaluating the generalizability and transferability of water distribution deterioration models". A: Reliability Engineering & System Safety 241 (2024), pàg. 109611.