

# Jornadas de Automática

## Dispositivo configurable para modelar y analizar comportamientos de consumo de agua

Álvarez-Crespo, M.<sup>a,\*</sup>, García-Fischer, A.<sup>a</sup>, Rubiños, M.<sup>a</sup>, Díaz-Longueira, A.<sup>a</sup>, Quintián, H.<sup>a</sup>, Calvo-Rolle, JL.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade de A Coruña, CTC, CITIC, Departamento de Ingeniería Industrial, Rúa Mendizábal s/n, Campus de Esteiro, 15403, Ferrol, A Coruña, España

**To cite this article:** Álvarez-Crespo, M., García-Fischer, A., Rubiños, M., Díaz-Longueira, A., Quintián, H., Calvo-Rolle, JL. 2024. Configurable device for modeling and analyzing water consumption behavior. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10923>

### Resumen

En el presente artículo se exponen las directrices fundamentales necesarias para desarrollar un modelo didáctico, modular y escalable que permita personalizar y recopilar datos relacionados con el consumo de agua. Este modelo servirá como herramienta para alcanzar el objetivo de proporcionar información valiosa sobre los patrones de consumo de agua y facilitar la toma de decisiones informadas en torno a la gestión de este recurso vital. El concepto parte de generar un conjunto de módulos individuales capaces de operar de forma autónoma, que se interconectan unos con otros, permitiendo ampliar el sistema, generar nuevas configuraciones y abordar nuevos retos. También admite la realización de diferentes experimentos y estudios enfocados en la optimización de los procesos sometidos a análisis. Sus resultados contribuirán a una gestión más eficiente y sostenible del consumo de agua.

**Palabras clave:** Metodologías de diseño, Modelado, Supervisión y testeo, Estructuras inteligentes, Métodos de identificación y control

### Configurable device for modeling and analyzing water consumption behavior.

### Abstract

This article outlines the fundamental guidelines needed to develop a didactic, modular, and scalable model to customize and collect data related to water consumption. This model will serve as a tool to achieve the goal of providing valuable information on water consumption patterns and facilitate informed decision-making around the management of this vital resource. The concept is based on generating a set of individual modules capable of operating autonomously, which interconnect with each other, allowing for the expansion of the system, the generation of new configurations, and the addressing of new challenges. Additionally, the system supports the performance of different experiments and studies focused on the optimization of the processes under analysis. The results of these experiments and studies will contribute to a more efficient and sustainable management of water consumption.

**Keywords:** Design methodologies, Modeling, Supervision and testing, Smart structures, Identification and control methods

## 1. Introducción

En la actualidad, cada vez es más habitual que las personas se aglutinen en núcleos urbanos, y se prevé que la tendencia continúe creciendo en los próximos años. Si bien es cierto que esta propensión aporta beneficios vinculados al crecimiento y

desarrollo económico, político y social, también contribuye a la aparición de nuevos retos y necesidades asociadas, entre los que destacan la gestión eficiente de los recursos disponibles y, en consecuencia, del impacto ambiental generado. Ello supone un desafío complejo donde se destacan los parámetros fundamentales, cuya correcta gestión se relaciona estrechamente

con la consecución de un desarrollo sostenible real: energía, agua y residuos (Dąbrowska et al., 2023).

A lo largo de los años, se han ido produciendo una gran cantidad de avances en la producción de energía y en la gestión de residuos (Dąbrowska et al., 2023). Existen más y mejores sistemas de generación de energía verde, inclusive vinculados directamente al tratamiento de residuos. Por otro lado, cada vez se mejora el tratamiento de los residuos y se recicla más. Sin embargo, en el ámbito de la correcta gestión del abastecimiento de agua apta para usos agrícolas, industriales, de servicios y domésticas, existen pocas innovaciones orientadas a optimizar su gestión eficiente. En consecuencia, la disponibilidad de agua ha disminuido, ya sea debido a la contaminación o a la devastación de las fuentes de agua protegidas. Por lo tanto, las fuentes de suministro de agua que quedan están situadas a mayor distancia de los centros urbanos, lo que las hace cada vez más caras y exclusivas. (Groppo et al., 2019).

Alcanzar este óptimo, implica que los elementos que conforman la sociedad tengan acceso a los recursos hídricos necesarios para el desarrollo de su actividad normal y habitual, entendida esta como la realización de todas las actividades previstas y deseadas por cada consumidor, individual o colectivo, así como profesional y personalmente, sin que, en ningún caso, sea el usuario final el que tenga que preocuparse por dicha gestión, si bien es cierto que está en sus manos utilizar de forma responsable los recursos disponibles. Esto supone un desafío debido a las dificultades que acarrea la gestión de las infraestructuras en sí mismas, en las que la capacidad de realizar pruebas o experimentos es limitada, debido a las consecuencias que en una red de suministro pueden tener cualquier ligero cambio o modificación sobre la garantía de suministro por parte del sistema. Sin embargo, son los propios sistemas de abastecimiento de agua los que se consolidan como capaces de responder a la fluctuación de la demanda con respecto al tiempo, mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo el gasto energético global derivado de la gestión de los recursos hídricos (Ahmed et al., 2021).

La gestión eficiente del agua se presenta como uno de los desafíos más apremiantes en la actualidad, especialmente en entornos urbanos en crecimiento. Es fundamental desarrollar estrategias integrales que aborden tanto la disponibilidad como la calidad del agua, promoviendo la conservación, el reciclaje y la reutilización para garantizar un suministro seguro, robusto y equitativo para todos los sectores de la sociedad (Donkor et al., 2014; Groppo et al., 2019; Fong et al., 2024).

En este sentido, el progreso y desarrollo tecnológico desempeñan un rol fundamental en la gestión eficaz del agua. Adoptar soluciones inteligentes, así como la gestión descentralizada y la incorporación de energías renovables, pueden contribuir significativamente a la sostenibilidad hídrica.

### 1.1. Caso de estudio

Los sistemas de abastecimiento de agua se constituyen como una red de diferentes estaciones y depósitos interconectados entre sí, de los que parten las diferentes redes de distribución. El aspecto general de un sistema de este tipo se muestra en la Figura 1:

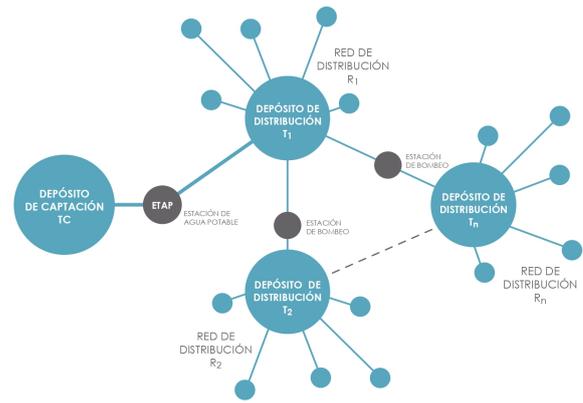


Figura 1: Esquema de conexionado y elementos de una red de distribución de aguas tipo de una ciudad.

El recorrido seguido por el agua para alcanzar a todos los consumidores que forman parte de una red se inicia en el depósito de captación ( $TC_1$ ). Este se constituye en la reserva de recursos hídricos destinados al abastecimiento de todos los partícipes de la red conectados, directa o indirectamente, a dicho depósito mediante tuberías, sistemas de bombeo y todos aquellos elementos necesarios para la alimentación de los tanques de menor tamaño, denominados depósitos de distribución ( $T_n$ ). Estos tanques secundarios se encargan de distribuir los recursos hídricos desde el tanque principal, permitiendo un abastecimiento directo del agua a sus respectivas redes de distribución asociadas.

Para simplificar y reducir el sistema a los elementos fundamentales de la gestión del agua, en este modelo se prescinde de los elementos propios asociados al tratamiento y potabilización de las aguas para consumo y del consiguiente flujo de aguas residuales. De esta manera, el esquema de distribución de agua se condensa en una serie de núcleos interconectados entre sí y un núcleo mayor que los abastece y que, en su conjunto, dan servicio a grupos de usuarios pertenecientes a diversas zonas geográficas, como se ilustra en la Figura 2.

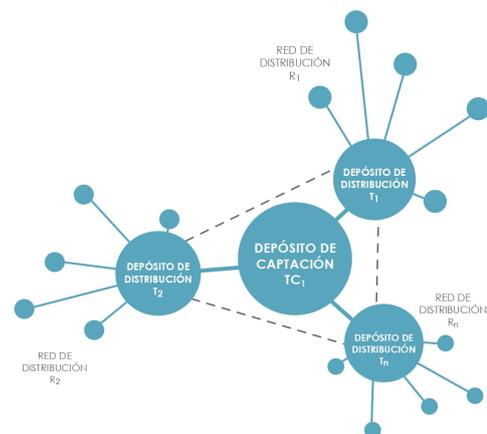


Figura 2: Esquema simplificado de una red de distribución de agua potable.

En las ciudades, a su vez, se puede asumir cierta agrupación poblacional: existen áreas donde se concentra el turismo, zonas exclusivamente residenciales o zonas donde se concentra la actividad industrial o el comercio. A priori, la existencia de estas agrupaciones permite el estudio y caracterización de

usuarios por núcleo o tanque de abastecimiento, dependiendo de la configuración de cada ciudad. Se podría, por ejemplo, y como posible estrategia para la consecución del objetivo de mejorar y optimizar la gestión del agua, prever picos de demanda estacionales o situacionales en el sistema de forma que el tanque principal y los tanques de abastecimiento optimicen su nivel de llenado en cada momento en función de la demanda prevista, mejorando la gestión energética, optimizando las infraestructuras existentes y minimizando el riesgo de falta de abastecimiento en cualquier sección, evitando la realización de trasvases innecesarios entre núcleos interconectados. También sirve para anticipar posibles fallas o insuficiencias mediante la realización de dichos movimientos antes de que se produzca un fallo en el sistema (Donkor et al., 2014).

El estudio y modelización eficaz del comportamiento de los consumidores se erige como un pilar fundamental en la gestión adecuada de los recursos hídricos en entornos urbanos. Esta tarea es crucial para lograr la caracterización de los usuarios, la predicción de los patrones de consumo y la implementación de estrategias efectivas ante los resultados obtenidos. A través de la aplicación de algoritmos predictivos y estrategias de gestión personalizadas, es posible no solo comprender la situación actual, sino también anticiparse a escenarios futuros (Grosso et al., 2019).

La escasez de recursos asociados a la adquisición y análisis de datos en este campo, así como la complejidad inherente a la modelización del comportamiento humano en relación con el consumo de agua en entornos urbanos, plantea desafíos significativos. Sin embargo, mediante el uso de herramientas analíticas avanzadas, incluyendo técnicas de inteligencia artificial, es factible superar estas limitaciones y obtener resultados valiosos que respalden la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos (Brentan et al., 2023).

Teniendo en cuenta las limitaciones y problemáticas derivadas de la realización de pruebas y estudios sobre un sistema de gestión de agua real debido a las implicaciones que la detención o modificación de su funcionamiento tendría sobre los consumidores sometidos a estudio y la falta de recursos disponibles para su investigación, se propone la modelización de un sistema real a pequeña escala que permita la caracterización de usuarios reales o simulados y la detección de anomalías producidas o inducidas artificialmente en el sistema para, en definitiva, lograr estudiar y generar conocimiento aplicable a un sistema real a través de la construcción física de la función de transferencia de un sistema genérico de abastecimiento de agua para una ciudad tipo, donde el objetivo final será la correcta gestión de los recursos desde el depósito de captación o embalse, hasta los consumidores. A través de esta metodología, no es necesario realizar costosos cálculos para obtener dicha función, favoreciendo y facilitando la experimentación por parte de todo tipo de usuarios.

## 2. Desarrollo de la Propuesta

Para el desarrollo del proyecto, se analiza, en primer lugar, la distribución y composición real de los sistemas de abastecimiento de agua, con el objetivo de extraer y modelizar una estructura funcional, pero simplificada, que permita la extracción y análisis de datos, así como la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias.

### 2.1. Conceptualización

Se parte de un sistema cerrado basado en tres secciones principales: depósitos de captación, depósitos de abastecimiento y consumidores finales. Para simplificar el modelo y permitir un estudio e implementación sencilla, se obvian sistemas y pasos intermedios relativos a la potabilización, control de presiones y tratamientos o procesamientos concretos del agua en determinadas secciones, reduciendo el sistema a aquellos elementos fundamentales que afectan de manera directa a la correcta gestión y distribución del agua. No obstante, su carácter modular hace posible introducir estos pasos intermedios en caso de ser necesario.

A través de la Figura 3, se propone un posible montaje físico simplificado compuesto por un panel frontal que permite el anclaje de un sistema que se encargará de la simulación de puntos de consumo, mientras que los módulos de perfil de aluminio soportarían la infraestructura general compuesta por los depósitos y su correspondiente conexionado. Cada módulo individual se compone, a su vez, de dos módulos interconectados, de forma que se favorece en mayor medida la escalabilidad, modularidad y manejo del sistema por parte de los usuarios.



Figura 3: Ejemplo de bastidor sobre el que modelizar un módulo individual de abastecimiento de agua en relación al tamaño de una persona.

### 2.2. Diseño

Para favorecer la escalabilidad y adaptabilidad del sistema, se propone una composición modular que permita la simulación tanto de planteamientos sencillos, como de experimentaciones y estudios de mayor complejidad.

Para su consecución, se parte de piezas comerciales que permitan simular cada uno de los elementos con los que cuentan las plantas reales. En este caso, y partiendo de la simplificación realizada sobre el sistema real se plantea, en la Figura 4, un diagrama de la arquitectura del sistema.

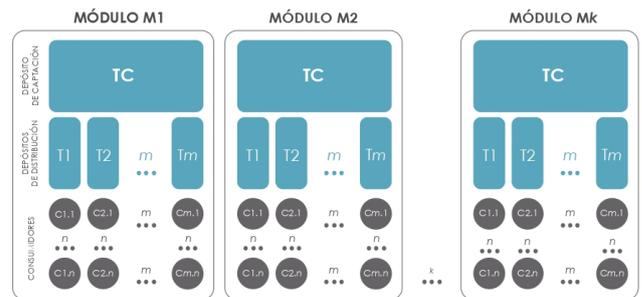


Figura 4: Esquema de la estructura seleccionada para el desarrollo de un modelo para la simulación del abastecimiento de agua en las ciudades.

Donde  $TC$  representa el tanque de captación de cada módulo,  $T_m$  cada uno de los tanques de abastecimiento y  $C_{m-n}$  los consumidores que forman parte de cada red generada en el modelo.

Cada módulo individual, por su parte, permitirá su conexión con otros módulos similares, aportando mayor flexibilidad en la experimentación a realizar.

En cuanto a su fabricación, en la Figura 5 se plantea un diagrama de conexionado entre todos los elementos con los que cuenta la simplificación de la planta.

Para lograr una ejecución robusta, se utilizan tres tanques abiertos de gran capacidad conectados entre sí para que, en su conjunto, actúen como tanque de captación  $TC_n$ . Su interconexión se realiza mediante secciones de tubería, dimensionada en función de la magnitud de la maqueta a construir, y sus correspondientes accesorios, tal y como se ilustra en el esquema de la Figura 5.

Para controlar el nivel de agua presente en la presa y, a su vez, evitar desbordamientos indeseados, se sensoriza cada uno de los tres tanques mediante un sensor de nivel y un interruptor de flotador, siguiendo las directrices propuestas en la Figura 6.

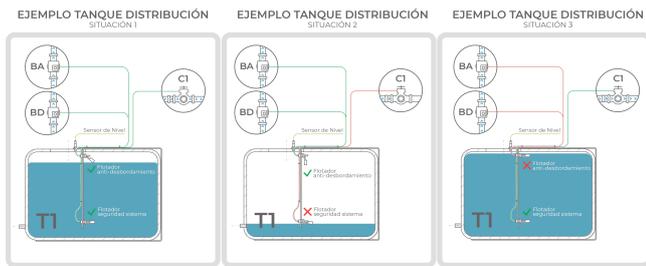


Figura 6: Sensorización y conexionado de los sistemas de sensorización y actuación relativos a los tanques de captación.

Cuando el sensor flotador de alguno de los tanques  $TC_1$  o  $TC_2$  se cierra, las válvulas proporcionales de las conexiones se cierran por completo, interrumpiendo el flujo de agua hacia los tanques  $TC_1$  y  $TC_2$  respectivamente, deteniendo el proceso de llenado. Si el tanque  $TC_3$  se encuentra en el máximo de su capacidad y, en consecuencia, también lo están  $TC_1$  y  $TC_2$ , se procederá a apagar la bomba responsable de suministrar agua a los tanques, deteniendo por completo el proceso de llenado y toda la red en su conjunto. En caso contrario, el sistema continuará con el llenado y bomba permanecerá activa con normalidad.

El agua recogida en la presa se envía mediante bombeo al sistema de abastecimiento, cuyo caudal de entrada es regulado, a su vez, por una serie de válvulas proporcionales que habilitan o restringen el paso de agua a través de la sección divisora que permite el llenado de cada tanque de manera individual. Este diseño permite reducir al máximo el número de bombas a utilizar, disminuye costes y permite una mayor escalabilidad porque, desde la bomba, se podrán interconectar un número  $n$  variable de acometidas hacia un mismo número  $n$  de depósitos, sin tener que variar el conexionado global del sistema.

Los tanques de abastecimiento representados en la Figura 7 incluyen una sensorización análoga a las anteriores, vi-

sualizables en la Figura 6, incluyendo un nuevo interruptor flotador situado en la parte inferior de cada tanque, que impide, en todo caso, que entre aire en el circuito de agua orientado al estudio de los consumidores y evita que se produzcan anomalías en el funcionamiento.

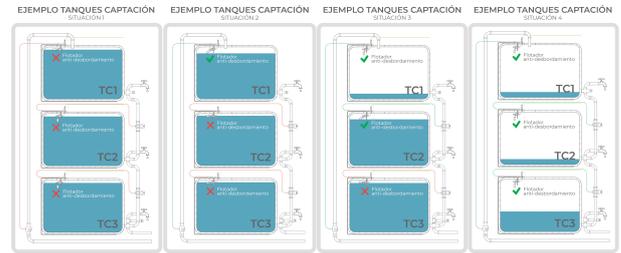


Figura 7: Sensorización y conexionado de los sistemas de sensorización y actuación relativos a los tanques de abastecimiento.

Cada uno de los tanques de abastecimiento ( $T_n$ ) se conecta, directamente, con su consumidor asociado  $C_n$  ( $T_1$  con  $C_1$ ,  $T_2$  con  $C_2$ ...  $T_n$  con  $C_n$ ). A la salida de los tanques, los consumidores se modelan como tuberías horizontales compuestas por una válvula proporcional, un caudalímetro y un contador. De esta manera, la válvula se encarga de simular la demanda de consumo por un sector, edificio o consumidor individual, lo que dependerá del tipo y alcance del experimento a realizar. Cabe destacar la necesidad de inducir el agua al sistema de contadores de forma que, en caso de detención del sistema, se priorice su estanqueidad para garantizar su durabilidad.

Siguiendo el planteamiento de un módulo individual, se asocian, y a modo de punto de partida, cada uno de los tanques a un consumidor único. Las dos bombas con las que cuenta el sistema, tanto la bomba de abastecimiento como la bomba de distribución, funcionan de manera constante a lo largo del tiempo, de forma que se personaliza el flujo del agua mediante la apertura y cierre de las diferentes válvulas asociadas a cada circuito, permitiendo la regulación del caudal en las distintas secciones del sistema, tal y como se esquematiza en la Figura 8.

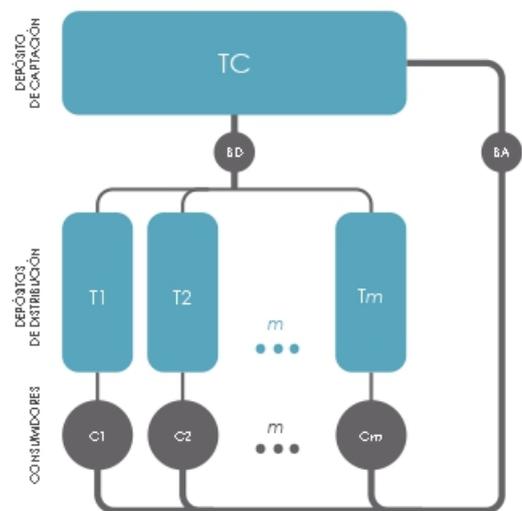


Figura 8: Esquema de conexionado de los tanques de abastecimiento del modelo.

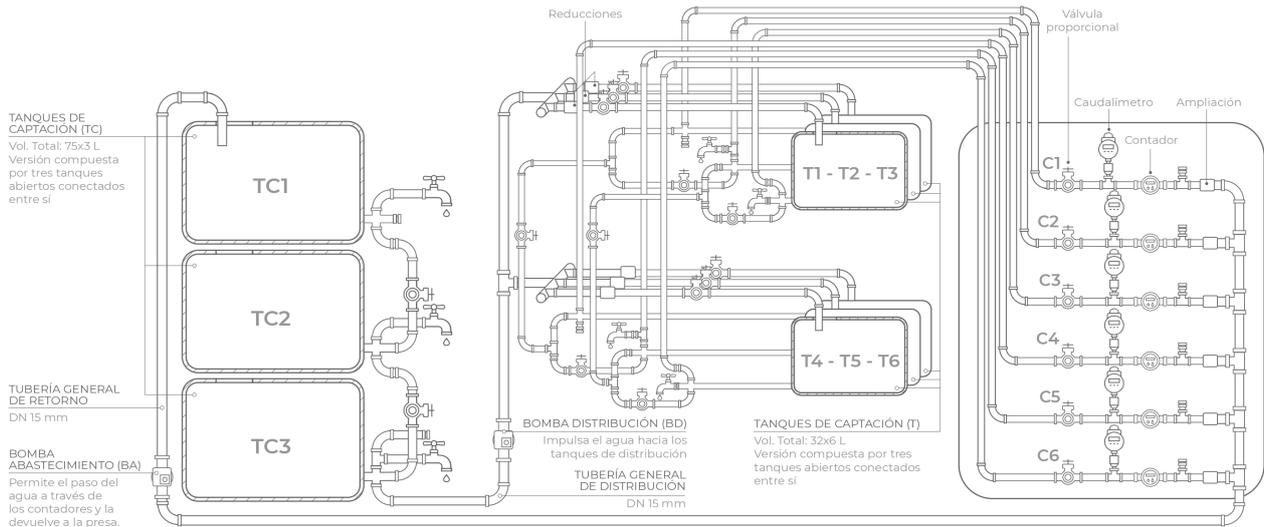


Figura 5: Esquema de conexionado y montaje de un modelo de un sistema de abastecimiento de agua en ciudad.

Una parte fundamental del modelo es el diseño del interconexionado de los tanques, es decir, la infraestructura física que permite simular el trasvase de agua entre las diferentes redes de distribución planteadas, asociadas, cada una, a cada tanque  $T_n$ .

Teniendo en cuenta el contexto de funcionamiento descrito, el conexionado de estos depósitos secundarios se realiza en forma de red, de manera que los tanques se comunican entre sí de dos en dos mediante su correspondiente tubería y válvula de paso. A su vez, cada uno de los enlaces generados se relacionan directamente con otra unión a través de un nuevo conjunto de tubería y válvula proporcional. De esta manera, se genera una red íntegramente conectada donde es posible el trasvase de agua entre todos los depósitos que la alimentan.

### 3. Resultados

A través de la sensorización propuesta en las Figuras 7 y 8, se pueden obtener datos relativos al nivel de agua en cada uno de los tanques, de forma que se puede conocer si los depósitos se encuentran en plena capacidad o existe escasez de agua en alguna de las secciones. Por su parte, los comportamientos de consumo se podrán simular enviando señales de control a la válvula proporcional de manera manual y arbitraria, mediante un autómatas o incluso programando el paso del agua en función de datos de consumo ya existentes, permitiendo el estudio de casos reales.

En un caso práctico, si al analizar y estudiar los datos simulados y recogidos de un consumidor  $C_1$  a lo largo de una cantidad de tiempo  $t_1$  se determina que podría existir un pico de demanda inminente durante el tiempo  $t_2$  y, por otro lado, su tanque de abastecimiento se encuentra por debajo del nivel necesario para garantizar su suministro, se enviará, con la suficiente antelación, la señal de control necesaria para la apertura o cierre de las válvulas  $B_{nm}$  correspondientes. Por ejemplo, si el tanque  $T_4$  se encuentra con un nivel de agua superior a la demanda estimada para su consumidor asociado  $C_4$ , se abrirán las válvulas necesarias para el trasvase de agua desde el tanque  $T_4$  al tanque  $T_1$ , hasta lo que el consumo estimado por parte del usuario  $C_4$  permita.

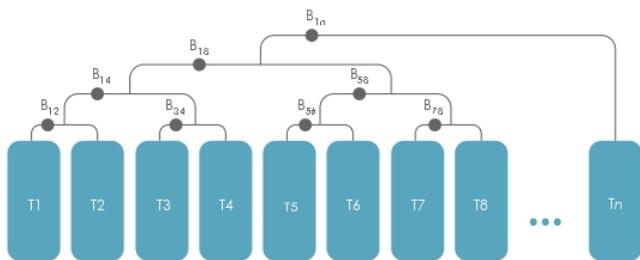


Figura 9: Esquema de conexionado de los tanques de abastecimiento del modelo.

Todo el sistema físico descrito en este artículo se deberá montar sobre una infraestructura capaz de soportar su peso y dimensión, favoreciendo en todo momento el flujo del agua. Al tratarse de un diseño modular, la escalabilidad a través de la adición o sustracción de tanques, ilustrada en la Figura 9, y la variación del número de consumidores está prevista, por lo que se pueden añadir o eliminar elementos en función de las necesidades y características de los experimentos.

Los estudios realizados sobre la maqueta y los resultados obtenidos son susceptibles de ser implementados en una planta real, de forma que se puedan prever con suficiente antelación picos y valles de demanda, permitiendo el trasvase de agua entre puntos de abastecimiento. De esta forma, se logra una gestión eficiente de los recursos hídricos en la red, ya que se evita tener una red compuesta de tanques que permanecen a altos porcentajes de su capacidad durante todo el año, coexistiendo con tanques de abastecimiento donde el servicio continuo de agua no está garantizado por la aparición de picos de consumo imprevistos.

#### 4. Discusión

La eficiencia en la gestión del suministro de agua es crucial, así como reconocer la necesidad de sistemas adaptables a la demanda variable, mejorando la eficiencia y minimizando el consumo energético. Es igualmente vital adoptar estrategias sostenibles, como nuevas infraestructuras o tecnologías para una gestión adecuada del agua. Se enfrentan retos al modelar el comportamiento humano en el uso del agua y la limitación de recursos para obtener y analizar datos. Una solución podría ser el uso de analítica avanzada e inteligencia artificial para crear y analizar datasets simulados, facilitando estrategias efectivas para la correcta gestión de recursos.

El modelo presentado permite múltiples combinaciones de consumidores y flujos de agua entre tanques, lo que ayuda en la generación de datos, detección de anomalías y testeo de estrategias.

Es esencial recordar que en sistemas reales no todos los tanques están conectados, ni se permite el movimiento libre del agua. Por lo tanto, es imprescindible ajustar las conexiones del modelo para que se asemejen lo más posible al sistema real en estudio.

La modularidad y escalabilidad diseñadas permiten la realización de cualquier modificación en el número de tanques a comunicar, así como variar el número de interconexiones permitidas o la cantidad de consumidores simulados por cada tanque. De esta manera, y aunque el esquema inicial propuesto en la Figura 5 muestra una configuración de tres tanques principales y seis secundarios, cada uno asociado directamente a un consumidor, el modelo permite una amplia gama de arquitecturas personalizadas, manteniendo los mismos principios de ensamblaje propuestos.

Se concluye que el modelo propuesto ofrece una base sólida para la caracterización de usuarios y la detección de anomalías, con potencial para ser aplicado a sistemas reales. A través de la simulación de datos de consumo reales en la maqueta, se pueden generar y poner en práctica diferentes estrategias de gestión de agua sin comprometer los sistemas de abastecimiento reales de las ciudades, agilizando el proceso de desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías asociadas en un ámbito donde la realización de experimentos de esta índole es limitada, ya que en ningún caso se debe comprometer el suministro. Se propone la continuación de la investigación para refinar el modelo y explorar su aplicación en nuevos ámbitos.

En este sentido, la implementación de algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de optimización puede ser de gran utilidad para mejorar la eficiencia del sistema. Estos algoritmos pueden aprender de los datos generados por el sistema y ajustar las estrategias de gestión del agua en consecuencia. Esto puede resultar en una reducción significativa del consumo de agua y energía, así como en una mejora de la calidad del servicio.

Por otro lado, a través de la creación de este tipo de infraestructuras, se propone la selección, estudio y análisis de diferentes sensores y actuadores a implementar en la planta, así como la experimentación de formas innovadoras de comunicación entre los elementos que conforman el sistema, como infraestructuras IoT que permitan la monitorización de la planta en remoto y, por consiguiente, la creación de bases de

datos para el análisis de los hábitos de consumo de los usuarios. Además, se sugiere el desarrollo e implementación de algoritmos y sistemas que permitan la detección temprana de anomalías y ciberataques, desarrollando estrategias eficaces orientadas a detectar y combatir posibles vulnerabilidades en este tipo de sistemas.

#### Agradecimientos

Xunta de Galicia. Ayudas para la consolidación y estructuración de unidades de investigación competitivas, GPC (ED431B 2023/49)

El CITIC, como centro con acreditación en excelencia del Sistema universitario de Galicia y miembro de la Red CIGUS, es subvencionado por la Consellería de Educación, Ciencia, Universidades y Formación Profesional de la Xunta de Galicia y cofinanciado a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), Programa operativo FEDER Galicia 2021-27, (Ref. ED431G 2023/01)

Esta investigación resulta del Proyecto Estratégico Infraestructuras críticas ciberseguras mediante modelado inteligente de ataques, vulnerabilidades y aumento de seguridad de sus dispositivos IoT para el sector de abastecimiento de agua (C061/23), fruto del convenio de colaboración suscrito entre el Instituto Nacional de Ciberseguridad (INCIBE) y la Universidade da Coruña. Esta iniciativa se realiza en el marco de los fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiados por la Unión Europea (Next Generation).

Ayuda PID2022-137152NB-I00 financiada por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE

La investigación de Antonio Díaz-Longueira ha sido apoyada por la Xunta de Galicia a través de ayudas al doctorado (<http://gain.xunta.gal>), dentro de la beca Ayudas á etapa predoctoral con referencia: ED481A2023072.

#### Referencias

- Ahmed, S. S., Bali, R., Khan, H., Mohamed, H. I., Sharma, S. K., 10 2021. Improved water resource management framework for water sustainability and security. *Environmental Research* 201, 111527. DOI: 10.1016/J.ENVRES.2021.111527
- Brentan, B. M., Zanfei, A., Mazzoni, F., Marsili, V., Oberascher, M., Stelzl, A., Fuchs-Hanusch, D., 12 2023. Forecasting urban peak water demand based on climate indices and demographic trends. *Water* 2024, Vol. 16, Page 127 16, 127. DOI: 10.3390/W16010127
- Donkor, E. A., Mazzuchi, T. A., Soyer, R., Roberson, J. A., 2 2014. Urban water demand forecasting: Review of methods and models. *Journal of Water Resources Planning and Management* 140, 146–159. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000314
- Dąbrowska, J., Orellana, A. E. M., Kilian, W., Moryl, A., Cielecka, N., Michałowska, K., Policht-Latawiec, A., Michalski, A., Bednarek, A., Włóka, A., 11 2023. Between flood and drought: How cities are facing water surplus and scarcity. *Journal of Environmental Management* 345, 118557, este es muy útil para contextualizar. DOI: 10.1016/J.JENVMAN.2023.118557
- Fong, B., Housh, M., Hong, G. Y., Wang, J. M., 1 2024. Pipeline management technologies for sustainable water supply in a smart city environment. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 671–679. DOI: 10.1016/B978-0-323-90386-8.00055-3
- Groppo, G. D. S., Costa, M. A., Libânio, M., 12 2019. Predicting water demand: A review of the methods employed and future possibilities. *Water Science and Technology: Water Supply* 19, 2179–2198. DOI: 10.2166/WS.2019.122