

Desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real para la gestión sostenible del agua potable mediante Internet de las Cosas

Andrés Antonio Venialgo¹, Pablo Matias Madrid², Sofía Milagros Luquez³

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

¹andres.venialgo@ingenieria.uner.edu.ar

²pablo.madrid@ingenieria.uner.edu.ar

³sofia.luquez@ingenieria.uner.edu.ar

Resumen. El agua, un recurso tan importante como limitado, nos invita a pensar en las acciones que tomamos para garantizar su conservación y disponibilidad. El uso y la gestión sostenible de este recurso escaso es una preocupación global que no está pudiendo ser evaluada a causa de la falta de datos, sobre todo en sistemas de agua potable. Por lo tanto, es crucial contar con información relevante y accesible de manera clara y concisa para la toma de decisiones en el ámbito de la gestión sostenible del agua. Este trabajo describe el diseño y desarrollo de un software que funciona como servicio para monitorear el estado de una red de agua potable. El sistema registra mediciones realizadas en tanques seleccionados de la red, proporcionando visualizaciones en tiempo real, almacenando los datos de manera persistente y facilitando la generación de reportes estadísticos y gráficos históricos. El desarrollo del sistema fue colaborativo y permitió integrar conocimientos y diversas herramientas informáticas aplicadas a Internet de las Cosas.

Palabras clave: Monitoreo en tiempo real · Node-RED · IoT · Gestión sostenible del agua

1. Introducción

El agua potable es de vital importancia para el bienestar, la salud y el desarrollo de las comunidades. Sin embargo, garantizar la calidad del agua es una tarea compleja que requiere la medición de múltiples parámetros para detectar posibles contaminantes. En Argentina, las empresas prestadoras de servicios y organismos gubernamentales son quienes tienen la responsabilidad de recopilar muestras de agua en diferentes puntos de redes de distribución y realizar los respectivos análisis para obtener resultados de la calidad del servicio para su posterior control.

La calidad del agua se mide analizando diversos parámetros de la misma, para establecer si se encuentran en la norma. Sin embargo, existe una gran variedad de

dificultades a la hora de analizar la calidad del agua de una red que se entrega en cada domicilio. Entre ellas se puede mencionar la falta de acceso a laboratorios y escasez de personal capacitado para muestrear en redes muy amplias.

Una adecuada implementación de la tecnología informática apropiada podría habilitar el monitoreo constante de los parámetros del agua potable en las redes de suministro. Daría acceso a los datos en tiempo real, disminuyendo la frecuencia de análisis en laboratorios y la carga del personal para recolectar estos datos. Además, habilitaría un análisis pormenorizado de los datos históricos, para prevención y toma de decisiones. Adicionalmente, si esto está soportado por las medidas políticas y regulatorias adecuadas, permitiría abordar integralmente las diversas problemáticas relacionadas [1,2,3].

En este contexto, surge como posible solución tecnológica Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés “*Internet of things*”). IoT es un concepto que se refiere a la interconexión de dispositivos físicos y objetos cotidianos con conexión a internet, permitiendo la comunicación y el intercambio de datos entre ellos. Estos dispositivos pueden incluir desde sensores hasta vehículos y equipos industriales, así como prácticamente cualquier dispositivo. “Si tuviésemos computadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saber de cualquier cosa (‘las cosas’) - usando datos recolectados sin intervención humana- seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos” [4].

Para que estos dispositivos estén funcionando de manera efectiva la arquitectura de IoT comprende una colección de objetos físicos, sensores, servicios en la nube, actuadores, capas de comunicación y protocolos, que proporciona un marco claro para el diseño y la implementación de soluciones IoT.

Como propuesta tecnológica que permitiría abordar de manera efectiva las problemáticas anteriormente planteadas, el presente trabajo se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real del agua potable para ser aplicado a redes de suministro. Está pensado desde un enfoque basado en IoT, en la que los datos se obtienen a través de distintos sensores integrados en módulos que se colocan en puntos estratégicos de la red de distribución, principalmente tanques de compensación. Los datos que llegan de cada punto de la red son almacenados en una base de datos y a la vez presentados en pantallas de monitoreo en tiempo real. El sistema de monitoreo emplea el protocolo de comunicación MQTT, que establece una estructura de software integrada con las tecnologías y arquitectura de Internet de las cosas (IoT).

MQTT es un protocolo de comunicación M2M (*machine to machine*), se basa en el protocolo TCP/IP y utiliza una conexión abierta que se reutiliza en cada comunicación. Esto permite una comunicación más eficiente y confiable entre dispositivos en una red de IoT. Es un servicio de mensajería push con patrón de publicador (*pub/sub*). Este modelo *pub/sub* elimina la comunicación directa entre el editor del mensaje/publicador y el destinatario/suscriptor. Para filtrar cada mensaje enviado, estos disponen de *topics*, organizados jerárquicamente, y el suscriptor se suscribe a los tópicos de interés, [5]:

La arquitectura de referencia que se utilizó en este trabajo es la de tres capas, [4]:

- Capa de percepción o de objetos: Es la capa física o de reconocimientos que se utilizan para la recopilación de datos del entorno. En esta capa se encuentran los sensores de calidad de agua conectados a placas controladoras.
- Capa de red: Es la capa de comunicaciones y la responsable de conectar los dispositivos o cosas inteligentes a la red o servidor, utilizando el protocolo MQTT al servidor.
- Capa de aplicación: Es la responsable de entregar servicios específicos al usuario final. Es el conjunto de aplicaciones que permiten interaccionar en alto nivel con los datos y resultados recolectados por todo el sistema IoT. En este trabajo la capa de aplicación consiste en un dashboard desarrollado en el que se puede visualizar gráficas en tiempo real e históricas, así como también otras interacciones con el usuario.

2. Materiales y métodos

La herramienta principal para el desarrollo del prototipo de sistema de monitoreo fue una herramienta de desarrollo gráfico basada en flujos y de código abierto, llamada Node-RED. Permite la conexión de dispositivos hardware, API y servicios online. Esta herramienta proporciona un editor donde se pueden crear flujos de trabajo interconectando nodos. El código ejecutable es construido en Node.js y los flujos de trabajo creados se almacenan en formato JSON. Además, esta plataforma cuenta con un grupo de nodos exclusivos de MQTT, MySQL y de diseño de interfaces gráficas, [6]. Esta herramienta se considera una herramienta efectiva y versátil para la creación de sistemas visuales de monitoreo en tiempo real, [7,8].

Con el objetivo de mostrar los datos en el dashboard de Node-RED, se estableció la recepción de los mismos mediante el protocolo MQTT. Para hacer posible esta comunicación, se debió utilizar un *broker*, un servidor intermedio entre los dispositivos que envían y reciben mensajes. En este caso, el *broker* utilizado fue Mosquitto.

Los nodos disponibles en Node-RED permiten la integración de la comunicación MQTT en los flujos de trabajo. Estos nodos facilitan la publicación y suscripción de mensajes entre dispositivos y brokers utilizando el protocolo MQTT. Para utilizarlos, solo es necesario instalar el *broker* correspondiente, conectar los nodos en Node-RED al *broker* y definir los *topics* bajo los cuales se publicarán los datos.

Por otro lado, en lo que refiere al registro y almacenamiento adecuados de los datos se implementó una base de datos relacional MySQL. Esta asegura el soporte persistente de los datos recolectados por los módulos sensores. Si bien cada medición se almacena de forma permanente y se tiene acceso a estos datos crudos siempre que se lo requiera, el propósito de monitorear parámetros haciendo uso de un dashboard es obtener información precisa y actualizada sobre una determinada variable o conjunto de variables que permitan tomar decisiones informadas y realizar ajustes o correcciones cuando sea necesario.

Por último, con motivo de ofrecer un acercamiento a la información histórica para detectar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y ayudar a

optimizar el uso de los recursos y mejorar la eficiencia del sistema de monitoreo de la calidad del agua, utilizamos Python para la creación de gráficas y visualización de los datos recolectados, como así también para presentar de forma resumida algunas métricas estadísticas de interés.

En este trabajo, se siguió una metodología de trabajo colaborativa para asegurar un avance constante y óptimo en el proyecto. La estrategia se basó en la división de tareas, en la que cada uno de los tres miembros del equipo asume una tarea específica según sus habilidades y conocimientos. Se utilizó un repositorio en GitHub para permitir el acceso compartido a los archivos y códigos y facilitar el seguimiento en tiempo real del progreso del proyecto. También se centralizó el material bibliográfico en Zotero permitiendo que todos puedan acceder al material informativo. Además, se programaron reuniones periódicas semanales para analizar el progreso, discutir sobre los inconvenientes que surgían y tomar decisiones importantes.

3. Resultados

El proceso de recolección, almacenamiento y visualización de los datos (ver Fig. 1) comprende la medición y publicación de los mismos desde el módulo sensor, hacia el servidor montado en Node-RED, pasando por el *broker* MQTT. Luego, mediante los elementos de programación en flujo que ofrece Node-RED, se insertan los datos en la base de datos para garantizar un registro persistente de los mismos. Al mismo tiempo, esos datos son enviados a alimentar gráficas de series temporales presentes en el dashboard, las cuales se actualizan automáticamente cada vez que un nuevo dato es recibido.

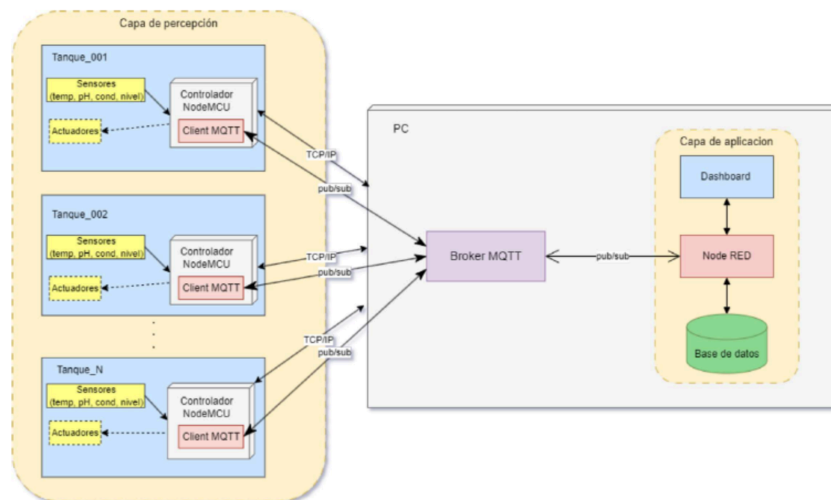


Figura 1. Diagrama de recolección, almacenamiento y visualización de los datos

Almacenamiento de los datos Para crear la base de datos, (ver Fig. 2), con sus correspondientes tablas, se hizo uso de nodos específicos de MySQL presentes en Node-RED. Desde estos nodos es posible agregar, borrar y editar tanto las características de los datos como las restricciones de los atributos de cada tabla.

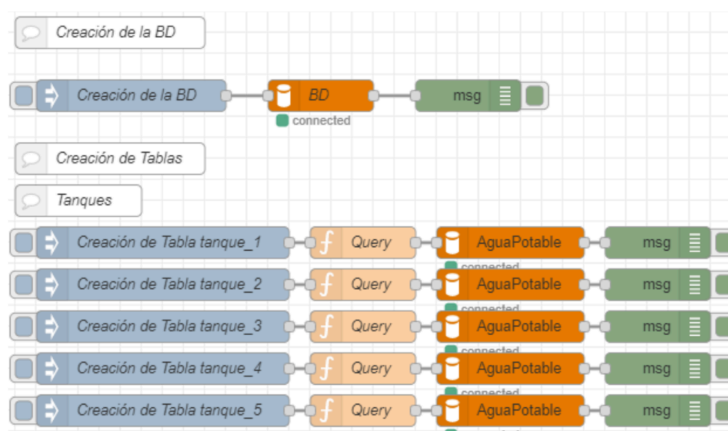


Figura 2. Flujo de trabajo en Node-RED para la gestión de la base de datos

La base de datos creada responde a las siguientes características:

- Cada tabla es un tanque de agua en la red de suministro.
- Los atributos de cada tabla son las variables medidas y la fecha y hora en que se tomó el dato, como muestra la (Fig. 3).

id	fecha_hora	conductividad	temperatura	ph	nivel
1	2022-11-22 20:47:43	720.54	22.20	6.26	3000
2	2022-11-22 20:47:48	799.99	20.08	8.64	2900
3	2022-11-22 20:47:53	693.29	22.82	6.94	3000
4	2022-11-22 20:47:58	664.67	21.14	7.13	3050
5	2022-11-22 20:48:03	661.17	18.69	6.29	3050
6	2022-11-22 20:48:08	730.75	18.98	7.83	3050
7	2022-11-22 20:48:13	665.53	20.67	6.97	3060
8	2022-11-22 20:48:18	757.04	20.36	7.99	3050
9	2022-01-01 00:00:00	812.00	19.00	6.00	3000

Figura 3. Esquema tabla que almacena registros de sensores con marca temporal

Dashboard y monitoreo El elemento principal con el que interactúa el usuario técnico del sistema de monitoreo es el dashboard. En el dashboard se presenta de manera visual información importante y relevante, proporcionando también una vista rápida y clara de los cambios críticos que se estén produciendo.

Las herramientas para desarrollar el dashboard son proporcionadas por Node-RED, mediante un conjunto de nodos que le son propios y capaces de crear rápidamente un dashboard donde se pueden visualizar datos en tiempo real. En el sistema planteado, el dashboard cuenta con una vista principal en donde se pueden observar todos los tanques de agua que serán puntos de recolección de datos (ver Fig. 4). La zona geográfica usada como referencia es la ciudad de Oro Verde en Entre Ríos.



Figura 4. Vista principal del dashboard

Una vez que se accede a un determinado tanque, se pueden observar todos los parámetros que son enviados por el mismo. Además, se cuenta con una tabla en donde se pueden visualizar las anomalías ocurridas en un determinado periodo de tiempo y dos botones que permiten el acceso a “detalles” e “históricos”. Esta ventana es una vista general de los parámetros de interés para un posible operador, (ver Fig. 5). En la ventana de “detalles” se puede obtener una vista más amplia y específica de los datos de los parámetros en tiempo real como muestra la Fig. 6. En la ventana de “históricos” se obtiene acceso a consultas especializadas por variables según fechas de interés de un determinado tanque, pudiendo tanto acceder a gráficas y resúmenes estadísticos como a la posibilidad de descargar un archivo .csv con toda la información guardada en la base de datos en ese intervalo temporal ingresado, (ver Fig. 7).



Figura 5. Vista principal del tanque

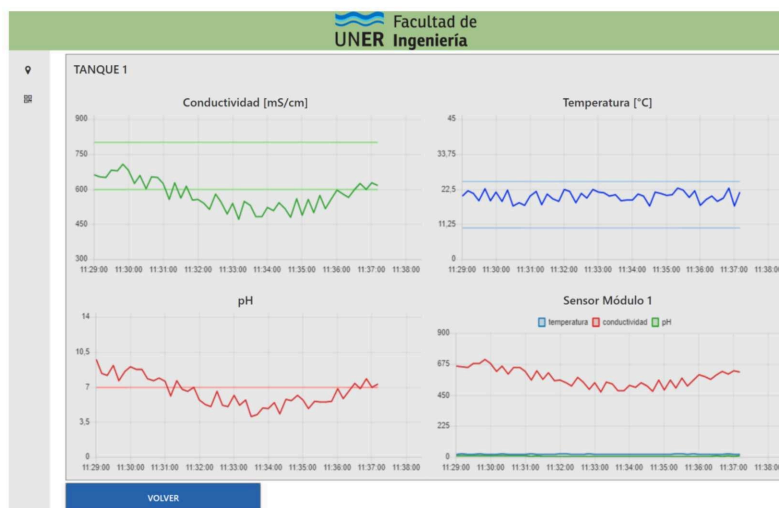


Figura 6. Vista "detalles" del tanque

Para generar estas gráficas históricas se programó en Python un código que es ejecutado desde Node-RED a través de un nodo. El código establece una conexión con la base de datos, lee los datos y genera el plot de la variable en el rango temporal de interés seteado por el usuario desde la interfaz gráfica, cuya gráfica se observa en la subsección "gráfico" (ver Fig. 7).

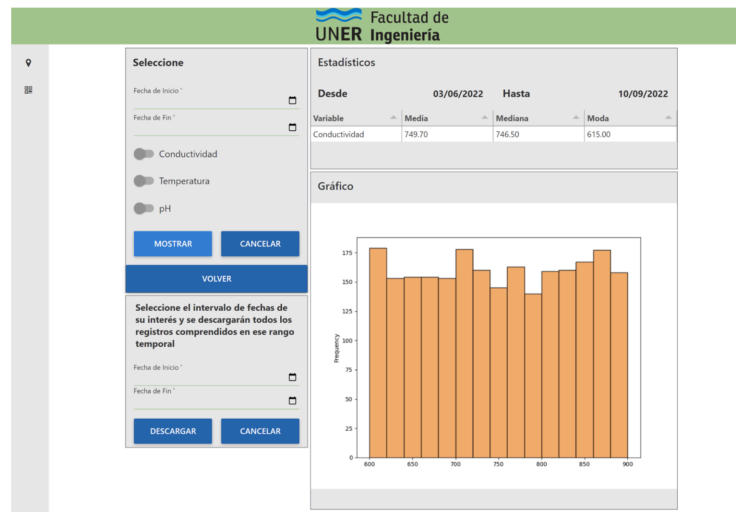


Figura 7. Vista "históricos" del tanque

Sistema de alarmas Se ha agregado al proyecto un sistema de alarmas, con la función de notificar a los operarios cuando un parámetro exceda un umbral de valores normales. Un ejemplo de esto sería el pH que, para el agua potable, debería tener un valor entre 6,5 - 8,5, según establece el Código Alimentario Argentino [9], cuando llegue un valor de pH fuera de este rango, en la pantalla principal (ver Fig. 4) se va a pintar de rojo el tanque respectivo, indicando una anomalía en alguno de sus parámetros; en la segunda pantalla (ver Fig. 5) se pintará de rojo el parámetro que se ha salido de sus valores normales y se procederá a registrar este suceso en la tabla de anomalías. En la pantalla de "detalles" (ver Fig. 6) se podrá visualizar con más precisión cómo se fue produciendo la anomalía.

Prueba de recolección de datos Desde un principio se propuso obtener los datos a través de módulos sensores, ubicados en tanques de agua. La propuesta de medición de variables era la siguiente:

- Conductividad: sensor TDS de conductividad.
- Temperatura: sensor Ds18b20.
- pH: se iba a realizar de manera indirecta a partir de una relación con la temperatura y conductividad.
- Nivel: con sensores ultrasónicos Hc-sr04 y conociendo el volumen del tanque, se puede hacer una estimación del nivel de agua.

Al realizar la búsqueda de estos sensores, se encontraron los siguientes inconvenientes: dado que se limitó a los sensores que ofrece el mercado argentino, con un presupuesto acotado y teniendo en cuenta la compatibilidad de los sensores con las placas de desarrollo ESP8266 y ESP32s, solo se pudo acceder a la compra del

sensor de temperatura. El principal motivo por el cual decidió realizar la compra del sensor fue para realizar una prueba con el fin de obtener un acercamiento más realista al problema. La prueba consistió en codificar la placa con Arduino IDE y conectar el sensor de temperatura a la placa, para que una vez alimentada pueda publicar los datos mediante protocolo MQTT.

Como solución a los inconvenientes mencionados anteriormente y considerando el objetivo del proyecto de obtener un dashboard funcional, se concluye que la obtención de datos a través de sensores no era de vital importancia y se optó por la simulación de los mismos. Dicha simulación fue modularizada en un segundo proyecto de Node-RED, donde usando nodos específicos para crear funciones en JavaScript, se simulaban datos de manera aleatoria dentro del umbral típico de las variables de interés. Una vez generado el dato de cada variable es enviado bajo su respectivo tópicos por un nodo MQTT publicador. Por último, el proyecto en el cual se desarrolló el dashboard, los datos son recibidos por un nodo suscriptor (ver Fig.8) para ser almacenados en la base de datos y visualizarse en las gráficas.

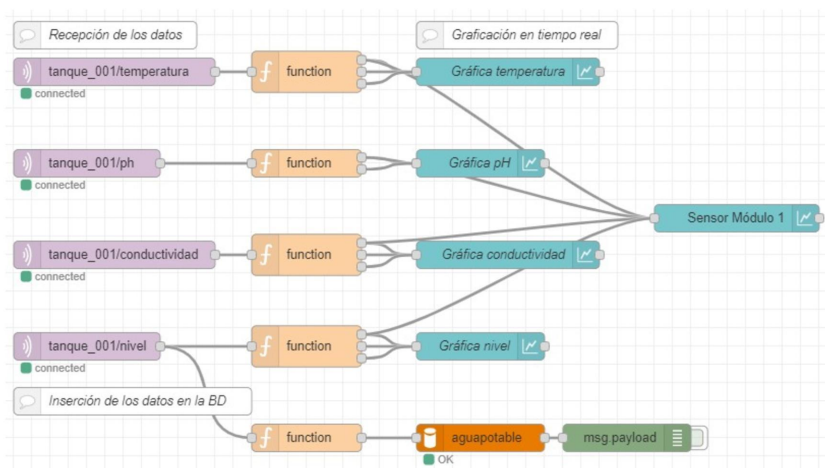


Figura 8. Flujo de trabajo en Node-RED para la recepción de datos

4. Conclusiones y trabajos futuros

En el presente trabajo se propuso un sistema y se construyó un prototipo de monitoreo de agua potable utilizando una arquitectura y tecnologías de Internet de las Cosas. Para ello, fue necesario integrar satisfactoriamente diferentes tecnologías y capas de software.

También se logró obtener una buena dinámica de trabajo, gracias a reuniones periódicas semanales que sirvieron para fomentar la discusión entre miembros

del equipo. Esta metodología de trabajo mostró ser efectiva para el logro de los objetivos del proyecto y aseguró que todos los miembros del equipo estuvieran alineados a las expectativas y el progreso del proyecto.

Este prototipo presentado se encuentra en sus inicios de desarrollo. Por lo tanto, tiene varios aspectos a mejorar. En el caso del dashboard, se podría analizar su diseño desde un enfoque centralizado en el usuario, lo que permitiría una interfaz más apropiada. Otro trabajo futuro, sería buscar una forma de poder utilizar el sistema en dispositivos que cuentan con una resolución pequeña de pantalla, ya que el prototipo está diseñado para resoluciones de pantalla propias de monitores.

Por otro lado, se prevé la incorporación de actuadores al sistema, por ejemplo electroválvulas, que se puedan controlar desde la interfaz de usuario del sistema por los operadores. En relación a la base de datos se podría evaluar la posibilidad de utilizar un almacenamiento de datos no relacional en caso de un aumento considerable de variables a medir. Además, se podría evaluar los beneficios de cambiar los protocolos de redes que se utilizan para el envío de datos, como puede ser LoRa WAN, que es un protocolo de amplia red y bajo consumo.

Referencias

1. Berján, E. C., Santos, R. T. A., Cano, O. M., Cárdenas, O. Á., and Baldivia, M. M.: Sistema de monitoreo para la calidad del agua en fuentes de abastecimiento. In: Difu100ci@, Revista de difusión científica, ingeniería y tecnologías, Vol. 15, Núm. 3, México, 2021, pp. 26-33.
2. Rao, A. S., Marshall, S., Gubbi, J., Palaniswami, M., Sinnott, R., and Pettigrovet, V.: Design of low-cost autonomous water quality monitoring system. In: International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Australia, 2013, pp. 14-19.
3. Napanga Paredes, E.: Solución web con tecnología de red de sensores para el monitoreo de los parámetros básicos de la calidad del agua en el río Shilcayo. In: Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial, Tarapoto, Perú, 2018.
4. Aguilar, L. J.: Internet de las cosas: un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial, Big data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad. Alpha Editorial, 2021.
5. The HiveMQ Team: The Messaging and Data Exchange Protocol of the IoT, <https://www.hivemq.com/mqtt/mqtt-protocol/>, último acceso Mayo 2023.
6. Node-RED: <https://nodered.org/>, último acceso Mayo 2023.
7. Torres, D., Dias, J. P., Restivo, A. and Ferreira, H. S.: Real-time Feedback in Node-RED for IoT Development: An Empirical Study. In: Proceedings of the 2020 IEEE/ACM 24th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 1-8.
8. Chanthakit, S. and Rattanapoka, C.: MQTT Based Air Quality Monitoring System using Node MCU and Node-RED. In: Proceedings of the 2018 Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC), Nakhonpathom, Thailand, 2018, pp. 1-5.
9. Código Alimentario Argentino: Capítulo XII: bebidas hídricas, agua y agua gasificada. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf, último acceso Mayo 2023.