

PRESENTACIÓN DE TRABAJO COMPLETO

[Innovación]

Sistema abierto de monitoreo y alerta de raudales urbanos mediante sensores IoT e integración meteorológica

Autor: Núñez, Noemí; nuneznnoemi847@fpuna.edu.py

Co-autor(es): Martínez Torres, Sara Marlene; male.toreapp@fpuna.edu.py

Orientador/a: Ing. Duarte Paredes, Esteban José; ejose.duarte@pol.una.py

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y la evaluación preliminar de un sistema abierto de monitoreo y alerta de raudales urbanos mediante un nodo IoT compuesto por sensor de nivel, pluviómetro local y alertas visuales y sonoras. El sistema publica las mediciones en un servidor web con visualización georreferenciada y consulta histórica. De manera complementaria, realiza consultas periódicas a datos públicos de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH), tomando como referencia la estación meteorológica georreferenciada más cercana, sin escribir sobre esa fuente ni actuar directamente sobre sus mediciones. Como resultado inicial, ya existe una muestra preliminar con app web montada en imaginech.com.py. Además, se plantea formalizar el aporte colaborativo de nuevas mediciones mediante usuarios habilitados por un administrador, previa carga de un formulario de interés. El proyecto fue bien recibido en su presentación preliminar ante la Municipalidad de Luque y busca integrarse al Sistema de Alerta Temprana de la Secretaría de Emergencia Nacional. Las pruebas iniciales se realizarán en el campus y el financiamiento actual es de fuente propia.

Palabras clave: IoT, raudales urbanos, alerta temprana

Introducción

Los raudales urbanos representan un riesgo recurrente en ciudades con alta impermeabilización del suelo, drenajes pluviales limitados y crecimiento urbano acelerado. Durante eventos de lluvia intensa, el aumento repentino del nivel del agua en calles, cunetas o canales urbanos puede afectar la movilidad, la seguridad de las personas y la respuesta de las instituciones responsables de la gestión de emergencias.

Una dificultad frecuente en este tipo de eventos es la falta de datos puntuales y accesibles sobre el comportamiento del agua en zonas críticas. Aunque existen datos meteorológicos oficiales, estos no siempre describen lo que ocurre en un punto urbano específico. Por ello, un sistema local de medición de nivel de raudal y lluvia puede complementar la información disponible y aportar evidencias para la toma de decisiones.

El presente trabajo propone un sistema abierto de monitoreo y alerta mediante un nodo IoT que mide el nivel del raudal y la lluvia local, activa alertas visuales y sonoras, envía datos a un servidor web y complementa la lectura con información meteorológica pública de la DMH. La propuesta se orienta a una implementación simple, replicable y colaborativa, de modo que pueda ser ampliada mediante nuevos nodos de medición.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y evaluar un sistema abierto de monitoreo y alerta de raudales urbanos mediante sensores IoT, compuesto por medición puntual de nivel de raudal, pluviómetro local, alertas visuales y sonoras, servidor web e integración de datos meteorológicos de la DMH, orientado al seguimiento de eventos de raudal y al apoyo de iniciativas de alerta temprana en zonas urbanas.

Objetivos específicos

- Diseñar una arquitectura simple, modular y de código abierto para el monitoreo puntual del nivel de raudal y la precipitación local mediante un nodo IoT replicable y adaptable.
- Implementar un prototipo funcional con sensor de nivel, pluviómetro local y alertas visuales y sonoras, para validar su comportamiento en un ambiente controlado dentro del campus.
- Desarrollar un servidor web para la recepción, almacenamiento, visualización georreferenciada y consulta histórica de los datos obtenidos desde el punto de monitoreo.
- Integrar los datos medidos por el sistema con información meteorológica obtenida desde fuentes públicas de la DMH, utilizando como referencia la estación georreferenciada más cercana.
- Evaluar el potencial del sistema como herramienta abierta y escalable de apoyo a iniciativas de alerta temprana, monitoreo urbano y gestión de riesgos asociados a raudales.

Materiales y Métodos

La metodología se organiza en etapas de diseño, implementación preliminar y evaluación. En la etapa de diseño se define la arquitectura general del sistema, considerando un nodo IoT instalado en un punto de monitoreo, un servidor web, una base de datos y una interfaz georreferenciada. El nodo incorpora un sensor de nivel para medir la altura del raudal, un pluviómetro local para registrar precipitación en el sitio y salidas de alerta visual y sonora.

En la etapa de implementación, el prototipo será probado inicialmente en el campus. Esta decisión permite validar la medición, la transmisión de datos y el funcionamiento de las alertas en un ambiente controlado antes de una eventual instalación en puntos urbanos críticos. La comunicación se realizará hacia un servidor web encargado de recibir, almacenar y mostrar los registros.

La integración meteorológica se realizará mediante la consulta periódica de datos públicos de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH). Para cada punto de monitoreo se utilizará como referencia la estación meteorológica georreferenciada más cercana, de modo que las mediciones locales de nivel y lluvia puedan interpretarse junto con información climática externa. Esta integración es complementaria: el sistema únicamente consulta y publica esos datos como contexto, sin escribir sobre la fuente oficial ni actuar directamente sobre sus mediciones.

Componente	Tipo	Función dentro del sistema
Nodo IoT	Microcontrolador con conectividad	Lectura de sensores, procesamiento básico y envío de datos al servidor web.
Sensor de nivel de raudal	Medición puntual de altura	Variable principal para determinar estados de normalidad, observación o riesgo.
Pluviómetro local	Medición de lluvia en el sitio	Complementa los datos de la DMH y permite contextualizar el comportamiento del raudal.
Alertas visuales	LED, semáforo o baliza	Indicación local del estado del sistema según umbrales

		configurados.
Alertas sonoras	Buzzer o sirena	Aviso local ante condición de riesgo o superación de umbrales.
Servidor web	API, base de datos y dashboard	Recepción, almacenamiento, visualización georreferenciada e histórico de datos.
Datos DMH	Fuente meteorológica pública	Información externa de la estación georreferenciada más cercana.

Tabla 1. Componentes principales considerados para el prototipo de monitoreo.

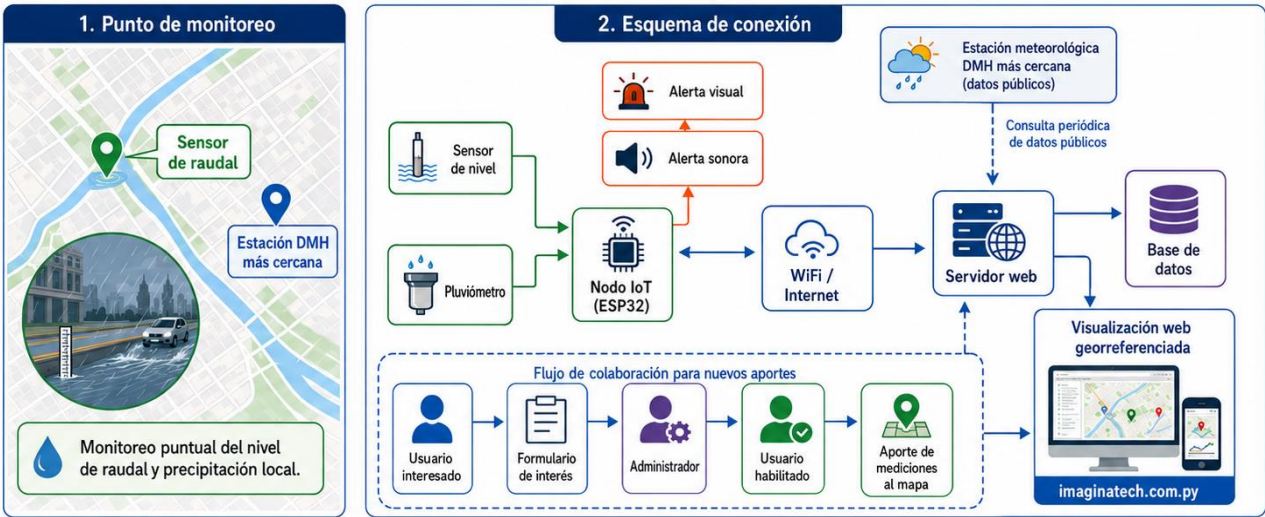


Figura 1. Arquitectura propuesta del sistema abierto de monitoreo y alerta de raudales urbanos.

Resultados y Discusión

Como resultado preliminar se dispone de una arquitectura funcional para el monitoreo y alerta de raudales urbanos. El sistema integra medición local de nivel, registro de precipitación mediante pluviómetro, alertas visuales y sonoras, envío de datos a un servidor web y visualización georreferenciada. Esta configuración permite contar con información puntual del comportamiento del raudal y con señales locales de advertencia ante la superación de umbrales definidos.

Además de la arquitectura propuesta, ya existe una muestra preliminar con app web montada en imagine.tech.com.py, en la cual se visualizan mediciones, mapa georreferenciado y datos complementarios. Esta implementación inicial demuestra la factibilidad de la publicación web del sistema y sirve como base para su validación funcional durante la etapa de pruebas en campus.

La incorporación del pluviómetro fortalece la propuesta porque permite registrar la lluvia en el mismo punto donde se mide el nivel del raudal. De forma complementaria, el sistema consulta periódicamente datos públicos de la DMH asociados a la estación georreferenciada más cercana. Estos datos se reciben por separado, se publican como contexto y no implican escritura sobre la fuente oficial ni actuación directa sobre sus mediciones.

Dato	Origen	Uso previsto
Nivel de raudal	Sensor de nivel	Dato principal para activar alertas por umbral.
Lluvia local	Pluviómetro	Dato local para relacionar precipitación con aumento de nivel.
Estado de alerta	Salida lógica	Visualización por colores y activación de señal sonora.
Fecha, hora y ubicación	Datos del sistema	Registro histórico y visualización en mapa.
Datos meteorológicos externos	DMH	Contexto climático de la estación más cercana.

La propuesta también se diferencia por su orientación abierta y colaborativa. Se busca formalizar la manera en que terceros puedan aportar nuevas mediciones al mapa, mediante un esquema de usuarios

habilitados por un administrador luego de completar un formulario de interés. Esto permitirá ampliar la red de monitoreo con criterios de validación básica y trazabilidad de los aportes.

Tabla 2. Datos previstos para el monitoreo, la visualización y la interpretación de eventos.

En cuanto a la vinculación institucional, el proyecto fue presentado preliminarmente a la Municipalidad de Luque, donde fue bien recibido como una alternativa tecnológica de apoyo al monitoreo de zonas urbanas vulnerables a raudales. Asimismo, busca integrarse al Sistema de Alerta Temprana (SAT) de la Secretaría de Emergencia Nacional, interés mencionado por el propio Ministro Arsenio Zárata. En consecuencia, los resultados actuales corresponden a la arquitectura funcional, la muestra web preliminar y la validación inicial del enfoque técnico e institucional.

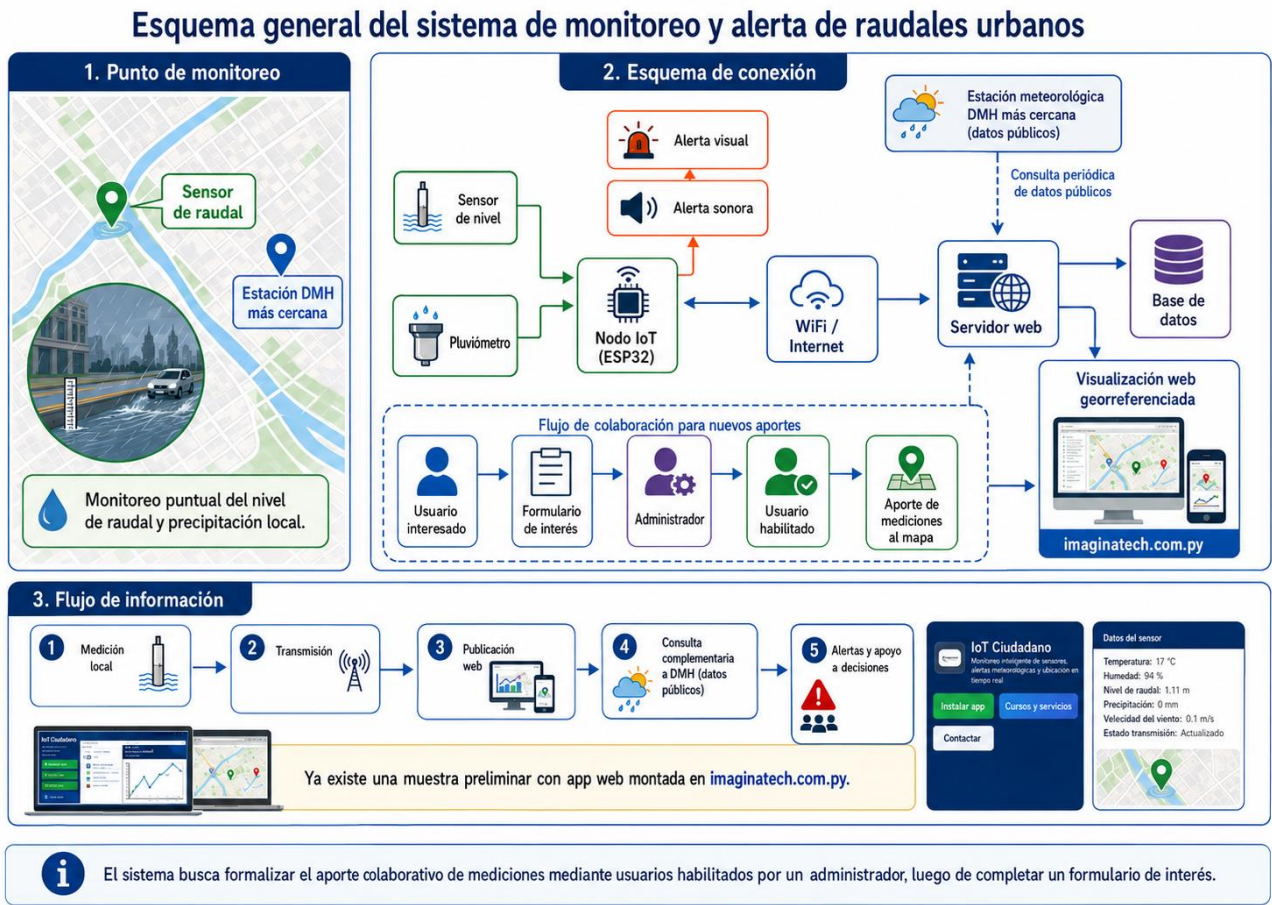


Figura 2. Esquema general del sistema de monitoreo y alerta de raudales urbanos, incluyendo flujo de publicación web, consulta complementaria a la DMH y mecanismo de colaboración para nuevos aportes.

Conclusiones

Se diseñó una arquitectura simple, modular y de código abierto para el monitoreo puntual de niveles de raudales urbanos y lluvia local mediante sensores IoT. Esta característica permite que el sistema pueda ser replicado o ampliado por otros usuarios, instituciones o colaboradores que deseen integrar nuevos nodos y aportar datos a una red colaborativa de monitoreo.

El prototipo contempla la medición puntual del nivel de raudal, el registro de precipitación mediante pluviómetro local y la activación de alertas visuales y sonoras. Las pruebas iniciales en ambiente controlado dentro del campus permitirán verificar la estabilidad de las mediciones, la transmisión de

datos y el comportamiento general del sistema antes de una eventual instalación en puntos urbanos críticos.

El servidor web permitirá recibir, organizar y visualizar los datos de monitoreo en una plataforma georreferenciada, con consulta histórica y representación del estado de cada punto. En esta etapa, el espacio web será aportado por el orientador a través de [Imagine.tech.com.py](https://imagine.tech.com.py), facilitando la implementación inicial y una futura expansión colaborativa del sistema.

La integración con datos meteorológicos de la DMH aporta un contexto relevante para interpretar el comportamiento de los raudales. Al utilizar la estación meteorológica georreferenciada más cercana, el sistema puede relacionar las mediciones puntuales de nivel y lluvia local con condiciones climáticas disponibles en fuentes públicas.

El sistema presenta potencial como herramienta de apoyo a iniciativas de alerta temprana y gestión de riesgos urbanos. Esta pertinencia se refuerza por su presentación preliminar y buena recepción en la Municipalidad de Luque, así como por el interés manifestado por la Secretaría de Emergencia Nacional, mencionado por el Ministro Arsenio Zárata, respecto a una posible integración con el Sistema de Alerta Temprana (SAT). Aunque todavía se encuentra en etapa de evaluación, la propuesta evidencia valor como innovación tecnológica abierta, simple y escalable para el monitoreo de raudales urbanos.

Referencias Bibliográficas

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), 81-93. <https://doi.org/10.1002/ett.2704>

World Meteorological Organization. (2011). Manual on flood forecasting and warning. WMO-No. 1072. Geneva, Switzerland: Author.

World Meteorological Organization. (2008). Guide to hydrological practices: Volume I, Hydrology from measurement to hydrological information (6th ed.). WMO-No. 168. Geneva, Switzerland: Author.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción por la oportunidad de presentar el trabajo en la Jornada de Jóvenes Investigadores e Innovadores 2026. En especial, se agradece al Grupo de Investigación en Electrónica y Mecatrónica de la UNA por el apoyo técnico brindado; a la Municipalidad de Luque por la apertura para la presentación preliminar de la propuesta; y al Ministro Arsenio Zárata, de la Secretaría de Emergencia Nacional, por la apertura y el interés manifestado en el proyecto, en continuidad con las conversaciones iniciadas desde la jornada de gestión de riesgos llevada a cabo en el año 2025.

Financiamiento

El proyecto se desarrolla con financiamiento propio. No obstante, ya se presentaron presupuestos a la Secretaría de Emergencia Nacional para una posible implementación del sistema en el marco de futuras etapas de despliegue, validación institucional y articulación con iniciativas de alerta temprana.