



MEDIDOR INTELIGENTE

Innovación tecnológica frente a la escasez hídrica:

Sistema de Micromedición y Telemetría en
Baja California Sur, México.



meta@redTIC
by uni>ersia

RESUMEN / ABSTRACT

Innovación tecnológica frente a la escasez hídrica: Sistema de Micromedición y Telemetría en Baja California Sur, México.

En la región más árida de México, donde el promedio anual de lluvia alcanza apenas 180 mm, la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) ha desarrollado una respuesta innovadora a la crisis hídrica: el sistema SMART UABCS para micromedición y telemetría del consumo de agua.

Esta solución tecnológica integral permite monitorear en tiempo real el consumo hídrico en edificios institucionales, transformando datos en estrategias efectivas de conservación. El sistema se compone de dispositivos inteligentes que miden caudal, presión, temperatura y humedad; una infraestructura de telecomunicaciones que transmite datos de manera segura mediante wifi, bluetooth y radiofrecuencia; y una plataforma web analítica que procesa y visualiza la información para facilitar la toma de decisiones.



Desarrollado íntegramente con tecnologías libres, el sistema incorpora principios de sostenibilidad utilizando impresión 3D con materiales biodegradables y alimentación fotovoltaica opcional. La plataforma implementa múltiples capas de seguridad, incluyendo encriptación de datos y protocolos HTTPS con certificación SSL.

El impacto del proyecto trasciende el ámbito universitario, con sus medidores operando en diversos edificios del Campus La Paz de la UABCS. Su implementación ha sido exitosa en diversas instituciones públicas como el Ayuntamiento de La Paz, Gobierno del Estado de Baja California Sur y el organismo operador de agua potable, demostrando su escalabilidad y adaptabilidad. Los beneficios son tangibles: detección temprana de fugas, creación de perfiles de consumo, reducción de costos operativos y promoción de una cultura de uso responsable del agua.

Reconocido con el premio ANUIES-TIC 2023, el proyecto contribuye directamente a cuatro Objetivos de Desarrollo Sostenible: agua limpia y saneamiento, innovación e infraestructuras, ciudades sostenibles y consumo responsable. En un contexto geográfico donde el 50% de los acuíferos están sobreexplotados, SMART UABCS representa más que una solución técnica: es un modelo de innovación contextualizada que vincula tecnología, gestión pública y responsabilidad ambiental, ofreciendo una alternativa viable para regiones que enfrentan desafíos similares en la gestión del recurso hídrico.

DESARROLLO DEL PROYECTO



Metodología de desarrollo e implementación

El equipo interdisciplinario adoptó metodologías ágiles (SCRUM) con ciclos iterativos de desarrollo, estableciendo un flujo de trabajo que integró:

- Identificación de requerimientos técnicos y contextuales.
- Especificación de la arquitectura de integración.
- Diseño modular del sistema.
- Desarrollo incremental con verificación continua.
- Evaluación sistemática y pruebas de campo.
- Implementación gradual en entornos reales.
- Difusión y socialización de resultados.

Este enfoque permitió adaptaciones progresivas y refinamientos basados en hallazgos empíricos durante las fases de prueba.



OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema integral de micromedición y telemetría hídrica en edificios institucionales de Baja California Sur que proporcione datos en tiempo real sobre el consumo de agua, favoreciendo la gestión sostenible del recurso en una región con alto estrés hídrico mediante tecnologías libres y desarrollo local.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar dispositivos de medición y una plataforma web interoperables que generen y analicen datos precisos del consumo hídrico, permitiendo detectar anomalías y patrones de uso.
- Facilitar la toma de decisiones estratégicas sobre gestión del agua mediante información consolidada y accesible, promoviendo simultáneamente una cultura de uso responsable del recurso hídrico.

SOLUCIONES TECNOLÓGICAS IMPLEMENTADAS

Arquitectura del sistema

El sistema se fundamenta en tres componentes interoperables:

1. Dispositivos de micromedición

El hardware consiste en medidores inteligentes que registran en tiempo real múltiples parámetros:

- Caudal volumétrico de agua.
- Presión hidráulica.
- Temperatura ambiental.
- Humedad relativa.
- Niveles en depósitos de almacenamiento.

Estos dispositivos implementan una arquitectura de sistema electrónico maestro-esclavo y han sido diseñados bajo principios de sostenibilidad, empleando componentes de bajo consumo energético y estructuras físicas fabricadas mediante impresión 3D con filamento PLA biodegradable.

Adicionalmente, incorporan la capacidad de alimentación mediante energía fotovoltaica para minimizar su huella ecológica.

2. Infraestructura de telecomunicaciones

El sistema emplea un enfoque multicapa para la transmisión de datos:

- Comunicación directa por Bluetooth para diagnóstico in situ.
- Transmisión por radiofrecuencia para comunicación entre nodos.
- Conectividad WiFi para integración con la infraestructura de red principal.
- Implementación del protocolo HTTPS con certificación SSL para garantizar la seguridad en la transmisión.

Destaca particularmente su sistema de encriptación basado en tablas numéricas que codifica la información transmitida, asegurando que los datos interceptados por dispositivos no autorizados resulten ilegibles.

3. Plataforma web analítica

La capa de software se ha implementado siguiendo el patrón de arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC) mediante el framework Laravel (PHP 8.2), complementado con:

- Interfaz responsiva desarrollada con HTML5, CSS3 y frameworks frontend (Bootstrap/Tailwind).
- Interactividad mediante JavaScript/jQuery y Livewire v3.
- Autenticación federada mediante LDAP y SAML.
- Almacenamiento en base de datos MariaDB.
- Seguridad implementada en múltiples niveles (aplicación, transporte e infraestructura).

ACTIVIDADES

01

Identificación de requerimientos

La primera fase comprendió un diagnóstico completo del contexto institucional, necesidades informativas, consumo de agua actual y condiciones físicas de los sitios seleccionados. Este análisis sentó las bases para un desarrollo adaptado a los requerimientos específicos de los usuarios.

04

Desarrollo

Fase de construcción e implementación del sistema mediante la metodología ágil SCRUM, que permitió el desarrollo iterativo y progresivo de todos los componentes. Esta etapa se ejecutó paralelamente con actividades de evaluación y pruebas, facilitando la detección temprana de problemas y su corrección inmediata.

07

Socialización

Etapa final centrada en la promoción de la concientización y fortalecimiento de la cultura del uso responsable del agua. Las actividades incluyeron:

- Charlas con autoridades del sector hídrico
- Presentaciones para tomadores de decisiones e instituciones públicas
- Difusión de infografías en medios digitales
- Participación en foros y congresos
- Divulgación de los beneficios y resultados del sistema

02

Especificación de la arquitectura

Elaboración de la documentación técnica detallada sobre la arquitectura de integración de componentes y sus interrelaciones. Durante esta fase se establecieron las especificaciones para garantizar la funcionalidad adecuada de cada módulo y componente de hardware y software bajo el concepto de Internet de las Cosas (IoT).

05

Evaluación y pruebas

Realización de pruebas sistemáticas de cada componente y del sistema integrado, aplicando un enfoque evolutivo para el perfeccionamiento continuo. Se evaluaron aspectos como:

- Precisión de las mediciones
- Estabilidad de la comunicación
- Rendimiento de la plataforma web
- Seguridad del sistema en su conjunto

03

Diseño del sistema

Esta etapa abarcó la representación del modelo de integración para el sistema completo, incluyendo:

- Diseño del prototipo con sus componentes de hardware y software
- Desarrollo de modelos 3D para las estructuras físicas y circuitos
- Diseño de la plataforma web y aplicación móvil
- Diseño del protocolo de comunicación y mecanismos de encriptación
- Diseño de la estructura de la base de datos

06

Implantación

Implementación física en instalaciones hidráulicas seleccionadas, entre ellas el campus La Paz de la UABCS, en aproximadamente 5 edificios. Esta fase incluyó la instalación de dispositivos, configuración de la plataforma web, liberación del sistema y presentación de los primeros resultados de las mediciones. Asimismo, se iniciaron acciones de difusión relacionadas con la cultura del agua.



La continuidad del proyecto se ha materializado en una segunda fase (2025-2027) que busca expandir su implementación y mejorar sus capacidades, incorporando actualizaciones de hardware, mejoras en los protocolos de comunicación y el desarrollo de una plataforma estratégica más robusta para la gestión sostenible del recurso hídrico.



1. Hardware para dispositivos de medición:

- Placas de desarrollo PLC (Controladores Lógicos Programables).
- Sensores de caudal y sensores meteorológicos.
- Módulos de comunicación (WiFi, Bluetooth, radiofrecuencia).
- Materiales y accesorios para fabricación de dispositivos.

2. Materiales para impresión 3D:

- Filamento PLA biodegradable para crear carcasas y estructuras físicas de los dispositivos.
- Impresora 3D para fabricación de componentes.

3. Herramientas:

- Multímetros, estación de soldadura y herramientas menores para instalación hidráulica y eléctrica (pinzas, desarmadores, cinta métrica, limas, etc.).

4. Material hidráulico y eléctrico:

- Tubería hidráulica, accesorios, adaptadores, válvulas (de paso, de aire y no retorno).
- Cable eléctrico, contactos, cajas de registro, tubería y accesorios conduit PVC.

5. Equipamiento informático:

- Tres computadoras para desarrollo, pruebas y trabajo de campo.
- Servidor virtualizado (VMware Vsphere 7).
- Sistemas operativos (Debian 11).
- Software de desarrollo (PHP 8.2, MariaDB, Apache 2.4.51).



RECURSOS HUMANOS

1. Un director - administrador del proyecto.
2. Un desarrollador tecnológico - Responsable técnico.
3. Un desarrollador web y sistemas de información.
4. Una consultora experta en gestión hídrica - Responsable del Programa Institucional de Manejo Integral del Agua.
5. Apoyo de Responsabilidad Social - Coordinador de Responsabilidad Social Universitaria.
6. Estudiantes de licenciatura como apoyo en el desarrollo e investigación.



RECURSOS FINANCIEROS

El proyecto tuvo un presupuesto aproximado de \$348,900 pesos mexicanos, distribuidos principalmente, en compra de equipo de impresión 3D, arrendamiento de servicios informáticos, sensores, componentes de electrónica, herramientas, accesorios y sueldos del personal.





CONCLUSIONES

El sistema desarrollado por la UABCS emerge como una solución tecnológica innovadora y contextualizada frente a la severa crisis hídrica de Baja California Sur. Su implementación exitosa en diversas instituciones demuestra no solo su viabilidad técnica sino también su adaptabilidad a diferentes entornos institucionales.

La convergencia entre investigación aplicada, desarrollo tecnológico y responsabilidad social universitaria ha generado un sistema que proporciona datos precisos en tiempo real, permitiendo la detección temprana de anomalías y fundamentando la gestión hídrica en evidencia científica.

El uso exclusivo de tecnologías libres y código abierto garantiza la autonomía tecnológica, minimizando dependencias externas, reduciendo costos y facilitando su evolución a largo plazo. Esta característica resulta fundamental para la sostenibilidad del proyecto.

El reconocimiento ANUIES-TIC 2023 valida la pertinencia e impacto de SMART UABCS, posicionándolo como un modelo transferible a otras regiones con estrés hídrico. Esta iniciativa trasciende lo técnico para convertirse en una herramienta de transformación socioambiental, demostrando el potencial de las instituciones educativas para generar soluciones a problemáticas ambientales críticas y contribuir a la construcción de comunidades más resilientes.



PRINCIPALES APRENDIZAJES

El desarrollo del sistema de micromedición y telemetría de agua reveló aprendizajes significativos: la eficacia de utilizar exclusivamente tecnologías libres para garantizar independencia tecnológica y reducir costos; el valor del enfoque interdisciplinario que integró expertos en tecnología, gestión hídrica y responsabilidad social; la importancia de metodologías ágiles para adaptarse a desafíos emergentes; y la necesidad de soluciones contextualizadas para problemáticas regionales específicas. El proyecto demostró que las universidades pueden desarrollar tecnología propia y aplicable que responda a crisis ambientales locales, mientras se conforman como puentes efectivos entre la innovación tecnológica, la aplicación práctica en beneficio social y la participación significativa de las juventudes universitarias.



PRÓXIMOS PASOS

El sistema ha sido galardonado con el Reconocimiento ANUIES-TIC 2023 en la categoría "TIC en la Responsabilidad Social", validando su relevancia e impacto.

Una segunda fase del proyecto se encuentra en implementación, incorporando:

- Medidores duales con capacidades ampliadas.
- Algoritmos predictivos para modelado de escenarios.
- Refinamiento de protocolos de comunicación y seguridad.



RESULTADOS ALCANZADOS

El sistema ha demostrado efectividad significativa en múltiples dimensiones:

- **Técnica:** Proporciona mediciones continuas con capacidad para detectar anomalías (fugas, consumos atípicos de agua) en tiempo real.
- **Gestión:** Facilita la toma de decisiones basada en evidencia al proporcionar perfiles de consumo y tendencias estadísticas.
- **Económica:** Representa una alternativa de menor costo frente a soluciones comerciales.
- **Interinstitucional:** Ha sido implementado exitosamente en diversas entidades además de la UABCS: Ayuntamiento de La Paz, Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, y Comisión Estatal del Agua.
- **Ambiental:** Contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6, 9, 11 y 12, alineándose con prioridades globales de sostenibilidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcalá-Rodríguez, J., Barbosa-García, J. C., Contreras-Guzmán, M. J., Gudiño-Lau, J., Charre-Ibarra, S. M., & Vélez-Díaz, D. (2022). Sistema de monitoreo doméstico para consumo de agua. *XIKUA Boletín Científico de La Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 10(19), 17–23.

<https://doi.org/10.29057/xikua.v10i19.8049>

CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Paz (0324), Estado de Baja California Sur. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Ciudad de México.

Corraliza, J. A., & Martín, R. (2000). Estilos de vida, actitudes y comportamientos ambientales. *Medio ambiente y comportamiento humano*, 1(1), 31-56.

Haughian, B. (2018). *Design, Launch, and Scale IoT Services* (1ra. ed.). Springer Science-Business Media.

Maddaus, W. O. (1984). Residential water conservation projects: Summary report. Brown and Caldwell.

Pruna, E., Andaluz, V., Molina, C., Lara, R., Naranjo, C., & Escobar, I. (2016). Medidor digital de agua potable con comunicación inalámbrica. *UTCiencia*, 3(2), 85-94.

Rubio Jaramillo, C., García Cervantes, D., Barajas, M., Delgado Galván, X., & Mora Rodríguez, J. (2018). Validación de equipos de medición y control para el abastecimiento del agua. *Jóvenes en la Ciencia. Revista de Divulgación Científica*, 4(1), 2580-2584.

Sierra, D. H., Rojas, J. G., & García, Á. R. (2020). Implementando las metodologías STEAM y ABP en la enseñanza de la física mediante Arduino. *Memorias de Congresos UTP*, 133-137.

Terrebonne, P. (2005). *Residential Water Demand Management Programs: A Selected Review of Literature*. Environmental Policy Group at the Andrew Young School of Policy Studies.

Universidad Autónoma de Baja California Sur. (2020). Programa de Planeación y Desarrollo Institucional 2019-2023. <http://www.uabcs.mx/secciones/contenido/2677>

Vega, A., & Meza, C. (2020). Digitalización de medidores de agua analógicos para la modernización a bajo costo del sistema de suministro de agua potable en ciudades. *Ciudades inteligentes totalmente integrales, eficientes y sostenibles*, 337-351.

Z. Flores, M. (2023). Tecnología e innovación: armas imprescindibles en la batalla contra la escasez de agua. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/tecnologia-e-innovacion-armas-imprescindibles-en-la-batalla-contra-la-escasez-de-agua/>

Z. Flores, M., Gámez, A., & Peredo, D. (2022). El patrimonio hídrico universitario: Programa de manejo integral del agua en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. *Panorama*, 39-48.



ENLACES A MATERIAL MULTIMEDIA

- [Liga de acceso al video de presentación del proyecto.](#)
- [Liga de acceso a las fotografías del proyecto.](#)
- [Liga de acceso a las imágenes de la plataforma y app del proyecto.](#)

