

*Artículo original*

# ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

## STATE OF THE ART OF WATER QUALITY MONITORING SYSTEMS

*Oreste Daniel LUPI<sup>(1)</sup>, Ignacio José ZARADNIK<sup>(2)</sup>, Mónica Beatriz CANZIANI<sup>(3)</sup>*

<sup>(1)</sup>Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires, Argentina  
lupi@inti.gob.ar

<sup>(2)</sup>Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas – Universidad Nacional de La Matanza  
izaradnik@unlam.edu.ar

<sup>(3)</sup>Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas – Universidad Nacional de La Matanza  
monibe52@yahoo.com.ar

### **Resumen:**

En la actualidad existe una creciente preocupación por el deterioro del medioambiente y por el impacto que determinadas actividades humanas pueden causar sobre él. En especial los factores que afectan a los recursos naturales destacándose el agua, que es un elemento básico para la vida. En nuestro país y más aún en la provincia de Buenos Aires los problemas de contaminación de lagos y ríos es un tema sin solución aún y donde los ecosistemas acuáticos han recibido a lo largo de los tiempos gran cantidad de residuos procedentes de actividades humanas. Por tanto, es indispensable el monitoreo de la calidad del agua y la

detección de vertidos de efluentes contaminantes para hacer un seguimiento histórico de su evolución, poder tomar medidas anticipadas y poder producir soluciones que, en lo posible, reduzcan el impacto negativo de la actividad humana en estos ecosistemas acuáticos. En función de esto, se propone el desarrollo experimental de un conjunto de boyas que efectúen la medición de un conjunto de parámetros adecuados a la situación de emergencia o control, y que se comuniquen entre sí y con un sistema remoto de toma de datos. El presente artículo expone el estado de arte de dichos sistemas.

**Abstract:**

At present there is a growing concern about the deterioration of the environment and the impact that certain human activities can cause on it. Factors that affect natural resources highlighting water, that is a basic element for life, are especially taken in a count. In our country and even more so in the province of Buenos Aires, the problems of pollution of lakes and rivers is an issue without solution yet and where aquatic ecosystems have received a large amount of waste from human activities over time. Therefore, it is essential to monitor water quality and detect polluting effluent discharges to track its evolution in history, to be able to take early measures and to be able to produce solutions that, as far as possible, reduce the negative impact of the activity human in these aquatic ecosystems. Based on this, we propose the experimental development of a set of buoys that measure a set of parameters appropriate to the emergency or control situation, and that communicate with each other and with a remote data collection system. This article presents the state of the art of these systems.

**Palabras Clave:** *Ecosistemas acuáticos, Internet de las Cosas, Medioambiente, Miniboyas*

**Key Words:** *Aquatic Ecosystem, Enviroment, Internet of things, Minibouy*

**Colaboradores:** *Diego TURCONI, Javier SLAWISKI, Facundo DOMINGUEZ, Augusto KUMVICH, Diego CACCAVIELLO, Matías VAZQUEZ, Christian BEHAR, Leandro LANZILLOTTI, Agustin AGÜERO, Juan ORTIZ, Fabian De VITA, Francisco UREMOVICH.*

## **I. CONTEXTO**

El artículo presentado es parte de lo investigado en el contexto del proyecto de investigación “Internet de las Cosas en Miniboyas Ambientales” (PROINCE C232). El mismo se encuadra en la disciplina de Ingeniería Electrónica y en la temática de recursos hídricos, contaminación y saneamiento. El proyecto es coordinado por la Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM) y participan el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN).

## **II. INTRODUCCIÓN**

Según UNESCO (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), el agua dulce es el recurso más importante para la humanidad, ya que abarca todas las actividades sociales, económicas y ambientales. Es una condición para toda la vida en nuestro planeta, un factor habilitador o limitante para cualquier desarrollo social y tecnológico, una posible fuente de bienestar o miseria, cooperación o conflicto [1]. Lo expuesto se puede fundamentar en que aproximadamente el 71% del mundo está cubierto de agua, pero solo el 2.5% de esta es agua dulce y que, en los países en desarrollo, el 80% de las personas no tienen acceso a agua potable [2]. Así mismo, el contexto antes expuesto se ve empeorado por el crecimiento de la población, el aumento del consumo de carne y la intensificación de la actividad económica, los cuales vienen presionando en forma creciente los recursos hídricos del mundo. Según un informe del World Resources Institute (WRI), habitantes de casi 400 regiones del planeta ya están viviendo en condiciones de "estrés hídrico extremo"[3], lo que significa que la

cantidad de agua demandada de fuentes subterráneas y superficiales es más alta en comparación con el total disponible.

Por lo tanto, el agua dulce es un recurso valioso que debe ser cuidadosamente monitoreado y mantenido.

Pero todo esto no es nuevo, ya desde 1972 La Comisión de Hidrología (CHy) de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) reconoció la necesidad de material de orientación operativa en el campo del monitoreo de la calidad del agua, y se embarcó en un proyecto para iniciar la preparación de este material de orientación tan necesario [4].

Todo esto motiva que organismos internacionales y países tomen políticas para el cuidado de este recurso. La UNESCO trabaja para construir la base de conocimiento científico para ayudar a los países a administrar sus recursos hídricos de manera sostenible a través de: el Programa Intergubernamental Hidrológico (PHI), la conducción del Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua en toda la ONU y de numerosos Centros y Cátedras sobre el agua en todo el mundo [1]. Un ejemplo de esto es el Programa Mundial de Evaluación del Agua [5]. Independientemente de las tareas realizadas por la UNESCO, en la ONU se analizan distintos factores asociados al agua: el cambio climático, el agua y la urbanización, la calidad del agua y las aguas residuales, entre otros [6]. Así mismo, otros grupos de trabajo dentro de la ONU tratan el tema del agua con mucha importancia como por ejemplo la Organización de Comida y Agricultura (FAO) [7].

En nuestro país al menos tres ministerios tienen una relación con el agua: el ministerio de Obras públicas y dentro de él, la secretaria de infraestructura y política hídrica [8]; el Ministerio de medioambiente y desarrollo

sostenible [9] y el ministerio de salud [10]. Cada uno de ellos se ocupa de distintos aspectos, desde la construcción de infraestructura para proveer agua a todo el país, el control de los recursos naturales asociados al agua, así como la calidad de estos, hasta la definición de los parámetros de calidad del agua.

### **III. MÉTODOS**

Se realizará un estudio bibliográfico sobre los distintos productos comerciales disponibles en el mercado para el monitoreo de parámetros relevantes a la aplicación y sobre los sistemas implementados a nivel investigación (haciendo foco en los distintos parámetros medidos, la arquitectura física de los dispositivos y la forma de comunicación que implementan).

Se estudiarán los distintos métodos de medición de los parámetros seleccionados, la disponibilidad de sensores comerciales y la posible implementación de estos a través de técnicas de micro y nanotecnología e impresión 3D.

Se investigarán las tecnologías asociadas a la comunicación entre miniboyas y entre estas un dispositivo central/concentrador de datos, las posibles topologías de red, las frecuencias en las cuales se puede trabajar, los alcances, los protocolos y los productos disponibles para implementar las alternativas investigadas.

Se realizará el estudio, diseño y desarrollo de un sistema experimental de miniboyas para el monitoreo de parámetros medioambientales en ecosistemas acuáticos. Esto implicará la implementación de los sensores (desarrollando propiamente estos o simplemente realizando el acondicionamiento de señal de productos comerciales), el procesamiento de las señales de estos, la comunicación entre las miniboyas y entre estas y el nodo

central y la representación de los parámetros sensados en una interfaz gráfica (PC/teléfono celular).

En función de los resultados obtenidos se evaluarán y propondrán futuras mejoras y acciones que den continuidad a las actividades del Laboratorio de Inteligencia Ambiental del DIIT.

### **IV. RESULTADOS Y OBJETIVOS**

Como parte del objetivo general del proyecto, “Desarrollar, implementar y estudiar los resultados de uso de un sistema experimental de Miniboyas para la medición de parámetros ambientales en ecosistemas acuáticos”, se presenta a continuación el estudio del estado del arte de este tipo de sistemas.

### **V. DISCUSIÓN**

La calidad del agua describe la composición general del agua con referencia a sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Las características físicas del agua incluyen profundidad, velocidad de flujo, temperatura, color, turbidez y transparencia o visibilidad. En lo que respecta a las propiedades químicas, el agua contiene innumerables elementos químicos, por lo tanto, los estudios de calidad del agua se centran solo en los elementos químicos más importantes teniendo en cuenta los objetivos del estudio. Los cambios en las propiedades químicas del agua pueden ser causados tanto por la tierra como por las actividades acuáticas, ya sean naturales o artificiales. En las aguas afectadas por la escorrentía agrícola, los productos químicos de preocupación podrían incluir los que se encuentran en el estiércol, los fertilizantes y los pesticidas. En aguas afectadas por descargas industriales, las mediciones pueden limitarse a los productos químicos utilizados o subproductos de las

industrias cercanas. Las propiedades biológicas de un sistema acuático consisten en organismos y sus funciones vitales. Los organismos que se encuentran en ambientes acuáticos incluyen organismos microscópicos como bacterias, virus y protozoos; o criaturas como algas, vertebrados e invertebrados. Mientras que las funciones vitales asociadas son la fotosíntesis, la descomposición, la respiración y el metabolismo de los organismos en el agua que afectan la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), el OD (Oxígeno Disuelto) y los niveles de nutrientes [11]. Como ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado los distintos parámetros a medir y sus valores para el agua potable, es decir segura para beber, muchos de los cuales han sido los parámetros antes mencionados, una tabla con estos valores se presenta en [2].

El Monitoreo de la calidad del agua puede describirse como un método para tomar muestras y analizar periódicamente las condiciones y características del agua. Los métodos tradicionales de monitoreo de la calidad del agua implican la recolección manual de muestras de agua en diferentes lugares, seguido de técnicas analíticas de laboratorio para determinar la calidad del agua. Tales enfoques toman más tiempo y ya no se consideran eficientes. Si bien las metodologías actuales analizan los agentes físicos, químicos y biológicos, tienen varios inconvenientes: mala cobertura espacio-temporal; alto costo debido a la mano de obra, equipamiento y operación y la falta de información en tiempo real para permitir decisiones críticas para la protección de la salud pública. Hoy en día, el monitoreo se realiza generalmente por medio de embarcaciones especializadas, estaciones de monitoreo fijas (boyas) y,

más recientemente, por teledetección desde el espacio [12].

A continuación, se presenta el análisis, a modo de ejemplo, de distintos tipos de sistemas, los parámetros analizados y los sensores utilizados, el sistema de energía empleado y la tecnología de comunicación.

En “Control de calidad del agua con sensores inteligentes en piscifactorías en Irán” [13] los valores controlados son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio y nitrito. Se emplean paneles solares para la alimentación de los equipos, asegurando así una fuente de energía continua y como protocolo de comunicación, LoraWAN, en donde el Gateway de la arquitectura se conecta al Network Server por medio de un enlace celular 3G.

En “Control y Monitoreo de Algas con MPC-Buoy” [14] el sistema de boya flotante mide los indicadores esenciales de las algas (clorofila-a, ficocianina y turbidez) y los parámetros del agua (oxígeno disuelto, pH, y temperatura). Dicho sistema es alimentado con paneles solares y los datos recopilados son entregados en tiempo real mediante un enlace celular 2G.

En “A Solar Powered Long Range Real-Time Water Quality Monitoring System by LoraWAN” [15] se monitorea la temperatura, la turbidez, la conductividad y el pH. Si bien no se detalla el tipo de alimentación del sistema, sí, el protocolo de comunicación, el cual es LoraWAN.

En “Development of IoT for Automated Water Quality Monitoring System” [16] se utiliza un sensor multiparamétrico, YSI 600R, el cual mide: oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, salinidad, pH y total de sólidos disueltos (TDS). La alimentación está provista por una batería de 12V y un sistema que adapta la misma a los distintos niveles necesarios por las partes.

La comunicación de los parámetros puede ser realizada a través de conectividad celular (4G en este caso) o Wifi. En “IOT Based Water Quality Monitoring with Android Application” [17] se emplean sensores de pH, conductividad, temperatura y turbidez. No se detalla el sistema de alimentación mientras que la comunicación es realizada a través de una conectividad Wifi por medio de un módulo ESP8266.

En “A Low Cost System for Real Time Water Quality Monitoring and Controlling using IoT” [18] se mide la temperatura, turbidez, conductividad, pH y el flujo del agua. No detalla el sistema de alimentación y el control y monitoreo se realiza mediante el uso de una conectividad Wifi.

En “IoT-based Water Quality Monitoring System for Soft-Shell Crab Farming” [19] se emplean sensores de temperatura, salinidad, y pH. Como sistema de alimentación se utiliza una batería de 12V 18AH recargable a través de un panel Solar 20 W y como protocolo de comunicación Lora, es decir solo la capa física del protocolo LoraWAN.

Si bien los trabajos analizados fueron más de los presentados, por una cuestión de la extensión del artículo no se detallan. Sin embargo dichos trabajos fueron tomados en cuenta para las conclusiones que se encuentran a continuación.

## **VI. CONCLUSIONES**

En lo que respecta a los sensores utilizados, podemos decir que hay tres grupos de sensores. El primero de ellos esta formado por sensores de temperatura, conductividad y pH, presente en casi todos los proyectos y recomendaciones. En un segundo grupo tenemos turbidez del agua y oxígeno disuelto en

aproximadamente el 50% de los sistemas analizados. Finalmente en un tercer grupo tenemos sensores que son más específicos como sensores de nitratos, metales, etc.

En lo que respecta al sistema de alimentación, en muchos trabajos no se especifica, los que están asociados al uso de energía solar implica una estructura mecánica de grandes dimensiones para poder sostener el panel y las baterías asociadas. Para poder determinar el correcto sistema de alimentación es necesario determinar el consumo del equipo y definir la autonomía deseada.

Los aspectos mecánicos son variables de acuerdo con las aplicaciones, lo que se destaca, es que las boyas salvo que estén motorizadas, deben estar ancladas.

Finalmente en lo asociado al protocolo de comunicación del sistema, se presentan múltiples tecnologías, pero en ningún caso se hace referencia a la formación de una red entre las boyas, es decir que el sistema trabaja con una arquitectura tipo punto multipunto. Si tomamos como referencia la tabla VII de [2], el estándar Zigbee está muy presente, pero hay que tener en cuenta que, el estándar Lora/LoraWAN es de más reciente aparición, tal como se puede ver en aquellos trabajos más recientes, y puede representar una excelente alternativa para esta aplicación.

Sobre la base de las conclusiones expuestas se definirán los parámetros a medir por parte de nuestro sistema de Miniboyas, así como el sistema de alimentación, el protocolo de comunicación y la topología de red.

## **VII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA**

[1] UNESCO (n.d.). “Water Security”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://en.unesco.org/themes/water-security>

- [2] Kofi Sarpong Adu-Manu; Cristiano Tapparello; Wendi Heinzelman; Ferdinand Apietu Katsriku y Jamal-Deen Abdulai (2016). “Water quality monitoring using wireless sensor networks: current trends and future research directions” *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 00, No. 00, Article 000.
- [3] La Nación (2019, Agosto). “¿Cuán probable es que la Argentina sufra escasez de agua?””. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/cuan-probable-es-argentina-sufra-escasez-agua-nid2275073>
- [4] World Meteorological Organization (1988). *Manual on water-quality monitoring. Planning and implementation of sampling and field testing*.
- [5] UNESCO (2017).” *World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP)*”. Extraída el 20/XI/2020 desde <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/about/>
- [6] Naciones Unidas (n.d.). “Un Water – Water Facts”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.unwater.org/water-facts/>
- [7] Food and Agriculture Organization of United Nations (2020) “Land & Water”. Extraída el 20/XI/2020 desde <http://www.fao.org/land-water/overview/en/>
- [8] Ministerio de Obras Publicas - Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (n.d.). “Obras Hidricas”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/infraestructura-y-politica-hidrica>
- [9] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (n.d.). “Ecosistemas acuaticos”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/agua-y-glaciares>
- [10] Ministerio de Salud (n.d.). “Salud ambiental”. ”. Extraída el 20/XI/2020 desde <http://www.msal.gov.ar/politicassocioambientales/index.php/datos/calidad-de-agua-y-salud>
- [11] Enviromental Management Bureau, Department of Environment and Natural Resources (2008). *Water quality monitoring manual*. Volume I. Manual on ambient water quality monitoring.
- [12] Gabriele Ferri; Alessandro Manzi; Francesco Fornai; Francesco Ciuchi; y Cecilia Laschi (2015). “The HydroNet ASV, a Small-Sized Autonomous Catamaran for Real-Time Monitoring of Water Quality: From Design to Missions at Sea”. *IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING*, VOL. 40, NO. 3.
- [13] Libelium (2018). “Control de calidad del agua con sensores inteligentes en piscifactorías en Irán”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/209625-Control-de-calidad-del-agua-con-sensores-inteligentes-en-piscifactorias-en-Iran.html>
- [14] LG Sonic (2020). “MPC-Buoy Monitoreo y control de algas”. Extraída el 20/XI/2020 desde <https://www.lgsonic.com/es/productos/mpc-buoy/>
- [15] Yan-Ting Liu et al. (2018). “A Solar Powered Long Range Real-Time Water Quality Monitoring System by LoRaWAN”. *The 27th Wireless and Optical Communications Conference (WOCC2018)*.
- [16] Rizqi Putri Nourma Budiarti; Anang Tjahjono; Mochamad Hariadi y Mauridhi Hery Purnomo (2019). “Development of IoT for Automated Water Quality Monitoring System”. *Proc. ICOMITEE 2019, Jember, Indonesia*.

[17] Raji C.G; Thasleena V. A; Liloja y Mohammed Shahzad (2019). “IOT Based Water Quality Monitoring with Android Application”. Proceedings of the Third International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud).

[18] K.GOPAVANITHA y S.NAGARAJU (2017). “A Low Cost System for Real Time Water Quality

Monitoring and Controlling using IoT”. International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing.

[19] Muhammad Niswar et al. (2018) “IoT-based Water Quality Monitoring System for Soft-Shell Crab Farming”. The 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoT&IS).

**Recibido:** 2020-11-20

**Aprobado:** 2020-12-29

**Hipervínculo Permanente:** <http://www.reddi.unlam.edu.ar>

**Datos de edición:** Vol. 5 - Nro. 2 - Art.5

**Fecha de edición:** 2020-12-30