

# MONITOREO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

## AQUATIC ECOSYSTEM MONITORING

*Oreste Daniel LUPI<sup>(1)</sup>, Diego Horacio TURCONI<sup>(2)</sup>, Javier Martin SLAWISKI<sup>(3)</sup>*

<sup>(1)</sup>Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas – Universidad Nacional de La Matanza  
olupi@unlam.edu.ar

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

<sup>(3)</sup>Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas – Universidad Nacional de La Matanza  
dturconi@unlam.edu.ar

### **Resumen:**

Se presenta el grado de avance logrado en el desarrollo de un sistema de monitoreo de ecosistemas acuáticos, junto con la selección de los principales parámetros a medir y la interfaz de visualización de los datos. Se comienza con la presentación de la problemática actual asociada al deterioro de los ecosistemas acuáticos y la importancia de estos tanto para la vida como para la actividad económica. A continuación, se presenta la descripción general del sistema: sus componentes, una breve explicación del funcionamiento, el hardware implementado, la estructura del firmware desarrollado y se finaliza con la descripción de la interfaz gráfica empleada para el monitoreo de los parámetros seleccionados. Como parte de la conclusión se detallarán las etapas restantes para la finalización del proyecto y futuras ampliaciones de este.

**Abstract:**

The degree of progress achieved in the development of a monitoring system for aquatic ecosystems is presented, together with the selection of the main parameters to be measured and the data visualization interface. It begins with the presentation of the current problems associated with the deterioration of aquatic ecosystems and their importance for life and economic activity. The general description of the system is presented below: its components, a brief explanation of its operation, the hardware implemented, the structure of the firmware developed, and it ends with a description of the graphical interface used to monitor the selected parameters. As part of the conclusion, the remaining stages to finish the project and future extensions will be detailed.

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

**Key Words:** *Aquatic ecosystem, Internet of things, Environment, Mini-buoys*

**Colaboradores:** *Ignacio ZARADNIK, Mónica CANZIANI, Facundo DOMINGUEZ, Augusto KUMVICH, Diego CACCAVIELLO, Matías VAZQUEZ, Christian BEHAR, Leandro LANZILLOTTI, Agustin AGÜERO.*

## **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**

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y la supervivencia de los seres humanos. La falta de acceso al agua potable es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta nuestra sociedad. En gran parte del mundo tener agua corriente se da por sentado, pero según los datos presentados por Pablo Bereciartua en [1], durante su mandato como subsecretario de Recursos Hídricos del ministerio de Interior, 738 millones de personas alrededor del mundo no tienen acceso al agua potable y, aproximadamente, 2.5 mil millones no tienen acceso a un saneamiento adecuado. En nuestro país, según datos de AySA (Agua y Saneamientos Argentinos) indican que el 13% de la población no tiene acceso a agua potable [1]. El saneamiento inadecuado del agua para consumo humano es una de las causas de enfermedades tales como el paludismo, el cólera, la disentería, la esquistosomiasis, la hepatitis infecciosa y la diarrea, que están asociadas a 800.000 muertes cada año [2]. Según un informe de la OPS (Organización Panamericana de la Salud) 7.600

niños menores de 5 años mueren anualmente por enfermedades diarreicas en Latinoamérica [3]. Por lo tanto, determinar la calidad del agua de las fuentes que se utilizan resulta indispensable ante la función de suministrar agua para consumo humano y de animales, pudiendo así evitar las enfermedades y muertes resultantes del consumo de agua con el incorrecto saneamiento. Para asegurar la calidad del agua se toman en cuenta parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos parámetros se fijan de manera diferenciada según los usos a los que se va a destinar el recurso (consumo humano, riego, industria, ganadería, vida acuática). En función de esto es que se planteó el desarrollo de un sistema de miniboyas para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos.

## **III. DESARROLLO**

### *A. Descripción general*

El sistema para monitoreo de ecosistemas acuáticos puede estar compuesto por dos o tres elementos, los cuales dependerán de la tecnología de comunicación que se utiliza en la miniboya. Si se emplea alguna comunicación del tipo celular, como es el caso del presente trabajo, los elementos son la miniboya y la interfaz gráfica. En caso de que se utilice alguna tecnología de comunicación que no posee la capacidad de acceso a Internet, será necesario el uso de un Gateway entre la miniboya y la interfaz gráfica. En la figura N°1 se puede observar el diagrama de bloques de la miniboya, mientras que en la figura N°2 se puede ver la maqueta construida con fines de evaluar los aspectos mecánicos de la misma. El módulo GNSS empleado es el modelo SL869V2 [4] mientras que, el módulo celular es el modelo UL865-NAD [5]. El microcontrolador utilizado es el ATSAM4S16 [6], el cual

se encuentra integrados en una placa de desarrollo X-plained. Como batería se empleó, inicialmente para las pruebas, un pack de baterías de Níquel-Metalhidruro de 4,8V y 2100mAh. El detalle de los sensores se plantea en la siguiente sección. El funcionamiento básico de la miniboya es sencillo (mayor información se presentaran en la sección de firmware), el microcontrolador se encuentra recibiendo información de posicionamiento a través del módulo GNSS y leyendo los sensores constantemente. Esta información, periódicamente o ante un valor fuera de los límites configurados, se transmitirá a un servidor donde esté instalada la interfaz gráfica.

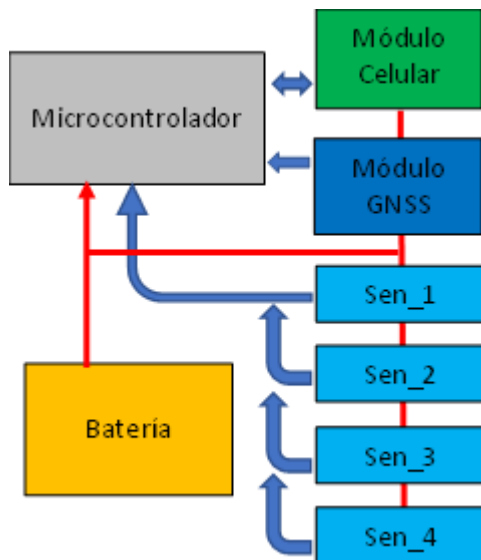


Fig. 1. Diagrama en bloque de miniboya.

### B. Sensores

La calidad del agua describe la composición general de la misma con referencia a sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Son numerosos los trabajos en donde se presentan sistemas para monitorear la calidad del agua y los parámetros a medir según la aplicación [7][8][9][10][11][12][13]. Del análisis de estos trabajos podemos decir que hay tres grupos de sensores. El primero de ellos está 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.

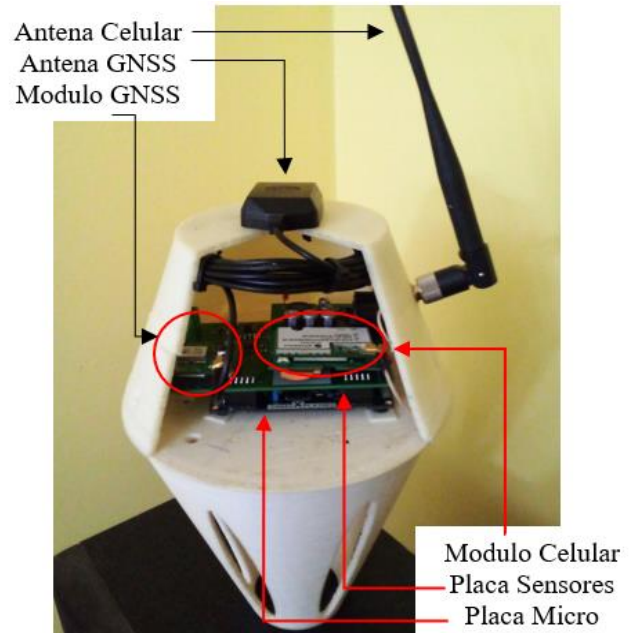


Fig. 2. Maqueta mecánica.

Finalmente en un tercer grupo tenemos sensores que son más específicos como sensores de nitratos, metales, etc. En función de esto se decidió que la miniboya integrara sensores de temperatura, pH, de conductividad y de oxígeno disuelto, para un mayor detalle se puede ver [20]. La selección de los sensores se presentó varios problemas. El primero de ellos fue determinar los rangos y resolución de los mismos. Como objetivo inicial se planteó cumplir con los requerimientos de los sensores solicitados en el proceso de compra 318-0003-LPU20 de ACUMAR (Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo) [14]. El segundo problema fue conseguir sensores que cumplieran con las especificaciones técnicas de dicho pliego. Luego de una intensa búsqueda se encontraron proveedores locales, que representan empresas del exterior, que pueden traer este tipo de sensores a pedido y

a un costo fuera del presupuesto del proyecto, entre U\$\$ 350 y U\$\$4700 según el parámetro a medir y si es multiparamétrico o no (según cotización de empresa local de Julio del 2020). Por este motivo se decidió hacer uso de sensores de uso didáctico como ser el SEN0237-A [15], el DFR0300-H[16] y el SEN0249[17], que si bien no cumplían los requerimientos del pliego mencionada permitirá familiarizarse con la aplicación.

### C. Arquitectura de la miniboya

Para la miniboya se diseñaron dos circuitos impresos, en uno de ellos se integró la fuente de alimentación, conectores para los sensores y la placa de evaluación del microcontrolador y alguna electrónica auxiliar, figura N°3. El segundo impreso, cuya dimensión es menor y se conecta al circuito anterior a través de un conector, se diseñó para incluir el dispositivo de comunicación inalámbrico (módulo celular u otro) y el módulo GNSS, figura N°4. Ambas placas actualmente en proceso de fabricación.

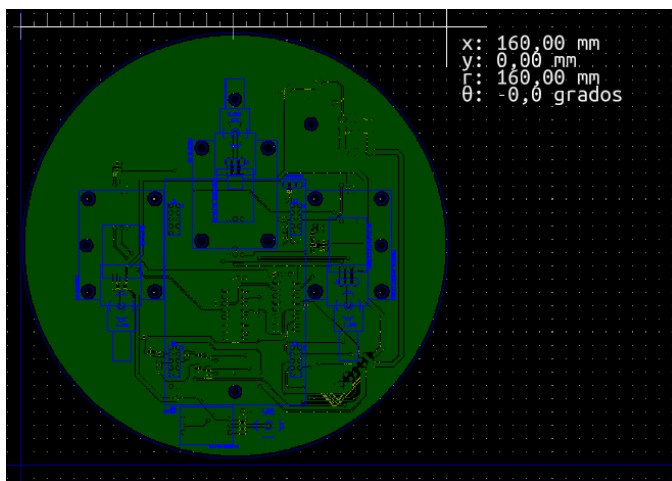


Fig. 3. Placa de fuente y sensores.

### D. Firmware

La Figura N°5 presenta el diagrama de flujo del ciclo principal del firmware, los diagramas de las interrupciones asociadas a la consola, el módulo celular y

el módulo GNSS son omitidos por cuestiones de espacio. Para el desarrollo del firmware se tomó como base el proyecto el ejemplo “usart synchronous Example – SAM4S Xplained”. Dicho ejemplo es parte del Atmel Software Framework 3.48.0 (ASF) incluido en el ATMEL Studio 7.

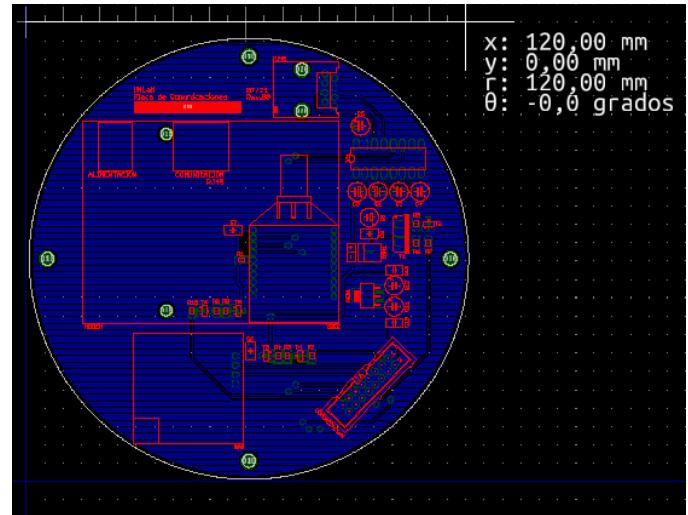


Fig. 4. Maqueta mecánica.

Inicialmente el programa realiza la inicialización de las variables a utilizar durante la ejecución, la configuración de los puertos entrada-salida del microcontrolador, los periféricos (las UARTs para la consola, el módulo celular y el módulo GNSS, y la interfaz I2C) y la configuración de los dispositivos que lo requieran. A continuación, se habilitan las interrupciones a través de las cuales se controlarán los dispositivos/periféricos. Ya en el loop principal, se chequea si está inicializado el módulo celular, es decir conectado al Gateway de la prestadora de servicio, y en caso de no estarlo se realiza la conexión. Luego se chequea si se ha conectado al servidor en donde está instalada la interfaz gráfica, y en caso de no estarlo lo realiza. Finalmente permanece leyendo los sensores hasta que sea tiempo de transmitir los datos o ante un valor fuera de los límites

configurados. Los datos utilizados para realizar la conexión son extraídos de la memoria del microcontrolador, los cuales fueron previamente cargados por la interfaz de consola. En el caso que se desconecte del servidor o del Gateway de la prestadora, esto será detectado por la interrupción del puerto serie asociado al módulo celular y se notificará para que se realice la reconexión. Una acción similar se ejecuta en caso de detectar una desconexión con el servidor donde se encuentra la interfaz gráfica.

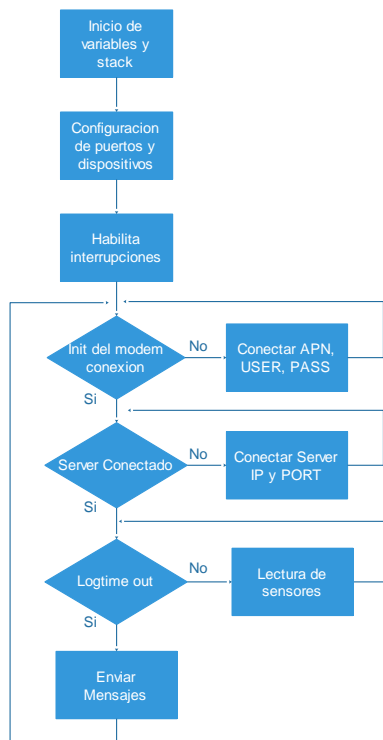


Fig. 5. Diagrama de flujo de ciclo principal.

### E. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica del sistema empleó el servicio IoT Portal de la empresa Telit, el cual es una Plataforma como un Servicio (PaaS - Platform as a Service) para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT)[18]. El mismo tiene entre los mecanismos de transporte los protocolos MQTT, CoAP y HTTP [19], pero gracias al

uso del módulo UL865 no fue necesario la implementación de ninguno de ellos, ya que el módulo permite el envío de datos a través de comandos AT. La figura N°6 presenta una imagen del tablero de trabajo principal (dashboard) generado a través de dicha plataforma. En el mismo se puede observar la ubicación de la miniboya, el estado de conexión, el estado de cada sensor (si el valor medido está dentro de los límites) y el valor medido de cada sensor. La interfaz actual soporta 4 boyas, pero fácilmente se puede agregar el número de miniboyas que el ecosistema acuático requiera. Los botones a la derecha permiten acceder a una segunda pantalla en donde se puede visualizar el histórico de cada uno de los parámetros, figura N°7. Mas detalles de esta implementación se pueden ver [21].

## IV. CONCLUSIONES

Se logró el desarrollo parcial de un sistema de monitoreo de ecosistemas acuáticos de carácter experimental, el cual representa una novedosa aplicación del concepto IoT al tema boyas. Al momento de la presentación de este artículo los circuitos impresos se encuentran en proceso de fabricación, sin embargo, tanto el firmware de la miniboya, la interfaz gráfica y la comunicación entre ambos se realizaron sobre la base de un prototipo cableado. Lo desarrollado a la fecha permitió interiorizarse en los aspectos más relevantes de la aplicación y sus principales dificultades para la implementación de un modelo comercializable. Entre estas podemos nombrar: la baja disponibilidad de sensores y su alto costo, los procesos de calibración y ajuste que requieren algunos de los sensores por trabajar con procesos químicos, los costos asociados por el uso de una plataforma como la empleada y la disponibilidad

de infraestructura de comunicación en donde se desea desplegar el sistema. Si bien para el desarrollo de las miniboyas se emplearon sensores del tipo didáctico, aprovechando el carácter modular del diseño se desarrolló una placa equivalente que soporta los sensores industriales, los cuales en su mayoría trabajan con interfaz RS485.



Fig. 6. Tablero principal.

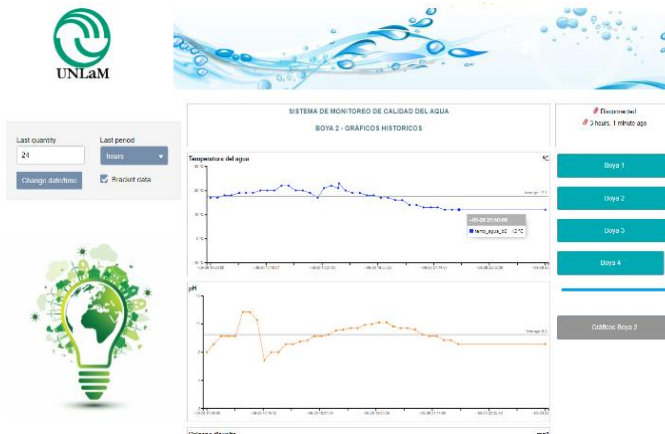


Fig. 7. Pantalla de parámetros.

Para evitar incurrir en los costos asociados a la plataforma empleada u otra equivalente, el grupo se encuentra desarrollando una interfaz basada en LabWindows y en bases de datos MySQL. Para soslayar los problemas de disponibilidad de infraestructura de comunicaciones el grupo reemplazará la comunicación celular por una comunicación Lora/LoraWAN o RF propietaria, para lo cual está llevando adelante el desarrollo de un Gateway con Lora.

## V. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pablo Bereciartua (2019), “*Los desafíos del agua en la Argentina: el desarrollo del Plan Nacional del Agua*”. Extraída el 14/05/2021 desde [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02.\\_pb\\_1\\_os\\_desafios\\_del\\_agua\\_en\\_la\\_argentina.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02._pb_1_os_desafios_del_agua_en_la_argentina.pdf).
- [2] Medicos sin fronteras (n.d), “*Agua y Saneamiento. ¿Por que se debe proporcionar agua y saneamiento?*”. Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.msf.org.ar/conocenos/actividades-medicas/agua-y-saneamiento>.
- [3] Organizacion Panamericana de la Salud (n.d), “*Agua y Saneamiento*” . Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>.
- [4] Telit (2021), “*SL869x-V2 Family Product User Guide*”. Extraída el 14/05/2021 de [https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipk1eg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2021/07/Telit\\_SL869V2\\_Family\\_Product\\_User\\_Guide\\_r9-1.pdf](https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipk1eg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2021/07/Telit_SL869V2_Family_Product_User_Guide_r9-1.pdf)
- [5] Telit (2021), “*UL865 Series*”. Extraída 14/05/2021 de [https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipk1eg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/01/Telit\\_UL865-Series\\_Datasheet.pdf](https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipk1eg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/01/Telit_UL865-Series_Datasheet.pdf)
- [6] Microchip (2021), “*ATSAM4S16C*”. Extraída 14/05/2021 de <https://www.microchip.com/en-us/product/ATSAM4S16C>
- [7] Libelium (2018). “*Control de calidad del agua con sensores inteligentes en piscifactorías en Irán*”. Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/209625-Control-de-calidad-del-agua-con-sensores-inteligentes-en-piscifactorias-en-Iran.html>

- [8] LG Sonic (2020). “MPC-Buoy Monitoreo y control de algas”. Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.lgsonic.com/es/productos/mpc-buoy/4Rd1NHx0DJTQf/P5cN69EfKEJSsfKN2Mqochb/Mc3rw7wJr4iLHjVhO4XK0LkJFVcMNjOIOXuYPNEHuuIQMmhuWwbQ==>
- [9] 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).
- [10] 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.
- [11] 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).
- [12] 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.
- [13] 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 (IoTaIS).
- [14] Acumar (2020), “Adquisición equipamiento móvil para medición en línea de caudal y parámetros de calidad de efluentes Cronograma”. Extraída el 14/05/2021 desde <https://comprar.gob.ar/PLIEGO/VistaPreviaPliegoCiudadano.aspx?qs=BQoBkoMoEhwuXYIHNBW9z51fGpGg>
- [15] DFRobot (2021), “Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino”. Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.dfrobot.com/product-1628.html>
- [16] DFRobot (2021), “Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor / Meter(K=10)”.Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.dfrobot.com/product-1797.html>
- [17] DFRobot (2021), “Gravity: Analog Spear Tip pH Sensor / Meter Kit ”.Extraída el 14/05/2021 desde <https://www.dfrobot.com/product-1668.html>
- [18] Telit (2021). “Telit IoT Portal”. Extraída el 14/05/2019 desde <https://www.telit.com/m2m-iot-products/iot-platforms/iot-platform-overview/>
- [19] Telit (2021). “IoT Portal API Reference Guide”. Extraída el 14/05/2021 desde [https://docs.devicewise.com/Content/Products/IoT\\_Portal\\_API\\_Reference\\_Guide/IoT-Portal-API-Reference-Guide.htm](https://docs.devicewise.com/Content/Products/IoT_Portal_API_Reference_Guide/IoT-Portal-API-Reference-Guide.htm)
- [20] O.Lupi, I.Zaradnik, M.Canziani. “Estado del arte de los sistema de monitoreo de calidad de agua”. Revista Digital del Departamento de Ingeniería (Reddi). Vol.5 número 2 (2020). Publicado 31/12/2020.
- [21] O.Lupi, I.Zaradnik, A,Agüero, C.Behar, L.Lanzillotti, M.Vázquez. “Interfaz gráfica en la nube para monitoreo de miniboyas ambientales”. 5to Congreso Argentino de Ingeniería. Libro de Resúmenes (10/2021). Publicación pendiente.



**Recibido:** 2021-11-29

**Aprobado:** 2021-12-14

**Hervínculo Permanente:** <https://reddi.unlam.edu.ar/index.php/ReDDi>

**Datos de edición:** Vol. 6 - Nro. 2 - Art. 3

**Fecha de edición:** 2021-12-29

