

## Smartcities con LoRaWAN. El Caso de Monitoreo de Condiciones Ambientales de Lagunas en Tiempo Real

Carlos Ivan Piasentini<sup>1</sup>, Jose Statkiewicz<sup>1</sup>, Diego Bolatti<sup>2</sup>, Reinaldo Scappini<sup>2</sup>,  
Sergio Gramajo<sup>2</sup>

Universidad Tecnológica Nacional – FRRe, French 414, Resistencia Chaco

<sup>1</sup>{cipiasentini, josestatkiewicz}@gmail.com, <sup>2</sup>{dbolatti, rscappini, sergio}@frre.utn.edu.ar

**Abstract.** Las necesidades de gestionar diversas condiciones ambientales en las ciudades impulsan a que se tomen mediciones en tiempo real en los reservorios de agua para ser analizada por expertos y tomar decisiones al respecto. Para ello se analizaron diferentes sensores y medios de comunicación arribando a una propuesta que cubra tales necesidades. Así, este trabajo propone un conjunto de tecnologías relacionadas a smartcities que ayudan a mantener mediciones de diversas variables del agua. Se muestra además el desarrollo del framework realizado y la interacción de los componentes electrónicos y de telecomunicaciones LoRaWAN que conforman el sistema propuesto. Para finalizar se expone un ejemplo ilustrativo de los datos censados.

**Keywords:** LoRaWAN, LoRa, LPWAN, IoT, Smartcities Frameworks, Mediciones Medioambientales, Multitech, ARM, Kerlink.

### 1 Introducción

Hoy en día los problemas de urbanización, gobernanza y nuevas exigencias de la población para requerir servicios de mayor calidad han intensificado las formas de generar soluciones innovadoras basadas en diferentes tecnologías y un impacto mínimo en el medio ambiente [1] [2]. La integración inicial de las Tecnologías de Información y de Comunicación (TICs) en las ciudades ha promovido los conceptos de ciudad de la información, ciudad digital e Internet de las Cosas (IoT) [3] [4] que se utilizan para mejorar los estilos de vida de los ciudadanos y que apoyan la toma de decisiones para la gestión de las ciudades con mínima interacción humana [1].

Estos conceptos han sido aplicados para resolver diferentes problemas (medio ambiente, salud, educación, seguridad pública, transporte, aguas, energía, entre otros) y se basan en la interconexión de dispositivos con sensores y electrónica mediante diferentes tipos de redes de comunicación y que convergen en sistemas con algún tipo de “inteligencia” o automatización [3] [5] [6] [7] [8].

Entre los medios de interconexión que se utilizan para estas soluciones, se destaca la tecnología LoRaWAN [9] que utilizamos para nuestra propuesta. Ésta es una especificación de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), en capa 2 por lo que permite conectar diferentes dispositivos gestionando sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, etc. [10].

En este trabajo nos centramos en exponer un proyecto de investigación y desarrollo y mostrar el prototipo obtenido utilizando diferentes sensores conectados mediante tecnología LoRa. Los sensores miden en lagunas o reservorios de agua diferentes variables que son utilizadas para gestionar la calidad del agua. El alcance del trabajo es mostrar los aspectos tecnológicos de innovación desde el punto de vista sistémico y no se centra en el análisis de las variables químicas para determinar el comportamiento de aguas. Se muestra, además, aspectos del software desarrollado y las plataformas usadas para registrar sensores LoRa.

Para mostrar lo antedicho, en la sección 2 se realiza una breve revisión de antecedentes teóricos de smartcities y LoRaWan, en la sección 3 se exponen los principales resultados de esta investigación y los componentes que integran la propuesta; en la sección 4 se ejemplifican y analizan la interacción de las partes y el código esencial creado. Por último, se enuncian las conclusiones.

## 2 Antecedentes

Para clarificar los tópicos tecnológicos y de innovación en los que se centra nuestra propuesta, es necesario revisar algunos conceptos relacionados. Así, en los siguientes apartados explicaremos las principales características en las que se enmarca nuestra investigación; smartcities y la tecnología de comunicaciones LoRaWAN.

### 2.1 Smartcities

En términos genéricos, la ciudad inteligente es un entorno urbano que utiliza las TIC y otras tecnologías relacionadas para mejorar la eficiencia del rendimiento de las operaciones regulares de la ciudad y la calidad de los servicios (QoS) proporcionados a los ciudadanos urbanos. Como base de nuestra investigación un concepto a poner énfasis es saber cuáles son los componentes genéricos de smartcities (ver Fig. 1).



Fig. 1. Componentes

En la *Fig. 1* se observan cuatro atributos principales: i) sostenibilidad, ii) calidad de vida, iii) urbanización e iv) inteligencia. A su vez hay atributos secundarios como infraestructura, gobernanza, contaminación y desperdicio, la energía, cambio climático, cuestiones sociales y calidad de vida, economía y salud. Además, desde el punto de vista tecnológico existen múltiples alternativas para sensores, infraestructura, microcontroladores, interconexión entre componentes, seguridad y sistemas de respaldo.

En este sentido, podemos afirmar que el entorno, región o ciudad donde se aplique una determinada solución tiene que estar adaptada a diferentes criterios como cultura, estudios de factibilidad técnico-económicos, uso de TICs, normativas locales de uso de telecomunicaciones y espectro, clima, situación política, entre otros aspectos relevantes. En este trabajo se estudiaron diferentes alternativas que son útiles en estas configuraciones de ciudades del norte argentino.

## 2.2 LoRaWAN

Durante los últimos años, el uso de las LPWANs (redes de área amplia y de baja potencia) basadas en el protocolo de comunicación LoRaWAN, se ha incrementado exponencialmente debido a la necesidad de poder brindar infraestructura al creciente número de soluciones IoT.

Una de las principales ventajas del protocolo LoRaWAN, es que permite al usuario tener el completo control de la red (nodo, gateway y servidor de red); diferenciándose así de otros protocolos de comunicación inalámbrica como por ejemplo LTE.

A la hora de desplegar la infraestructura de una red LoRaWAN, se debe tener en cuenta dos grandes aspectos, el hardware (nodo y gateway) y el software (servidor de red) a utilizar. Respecto al hardware existen diversos fabricantes, pero se destacan entre ellos Microchip, Multitech y Kerlink, siendo estos dos últimos los utilizados y descritos en este artículo.

En lo que respecta al software de red, también existen diversas alternativas y entre ellas se destacan la plataforma TheThingsNetwork y OrbiWAN. Siendo la primera la plataforma más ampliamente utilizada, debido a su carácter open source y de partner de la Lora Alliance [10]. OrbiWAN tiene a su favor, principalmente, la facilidad de uso al tratarse de una solución premium, provee funcionamiento “out-of-the-box”. No obstante, sin importar la plataforma por la que se opte, se deben de realizar un cierto número de consideraciones y configuraciones respecto al funcionamiento de la misma, alguno de estos parámetros, que afectan a la calidad del servicio, son: ancho de banda, velocidad de transmisión de datos, factor de propagación, entre otros.

LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicaciones de datos de largo-alcance y bajo-consumo desarrollado por Cycleo, (Grenoble, Francia) y adquirido por Semtech en 2012, miembro fundador de la LoRa Alliance.

Esta tecnología apunta a ser utilizada en dispositivos alimentados por baterías, ya que gracias a su bajo consumo, permite maximizar la vida útil de un ciclo. Es decir, es una gran solución para dispositivos IoT.

Los términos LoRa y LoRaWAN, no hacen referencia a lo mismo. La principal diferencia que existe es que el primer término se refiere normalmente a la

implementación de la capa física, mientras que el segundo es una especificación LPWAN que define un protocolo de acceso al medio y una arquitectura subyacente para este tipo de redes [11].

LoRa es un esquema de modulación de espectro expandido derivado de la modulación CSS (Chirp Spread Spectrum), donde se negocia la tasa de transmisión de datos por la sensibilidad en un canal con un ancho de banda fijo. Implementa velocidad de transmisión de datos variable, utilizando factores de expansión ortogonales, las cuales permiten al diseñador de sistema negociar tasa de transmisión de datos por rango de alcance o energía utilizada, a modo de optimizar el desempeño de la red haciendo uso de un ancho de banda constante [12].

La capa física LoRa opera en el rango de frecuencias 433, 868 y 915 MHz dependiendo de la región (en Argentina opera en el rango 915-928MHz, rango de bandas no licenciadas). Permite la operación de bajo consumo energético, tasa de transmisión de datos máxima de 27Kbps (50Kbps usando modulación FSK) y largo alcance (2-5km en áreas urbanas y hasta 15km en áreas rurales).

El protocolo de acceso al medio LoRaWAN, mantenido actualmente por la LoRa Alliance, permite la gestión de la comunicación entre gateways y dispositivos finales o nodos. Esta comunicación es bidireccional desbalanceada (la tasa de transmisión de subida, desde los nodos al gateway, es mayor que la de bajada).

La arquitectura típica de una red LoRa es la de una estrella de estrellas que incluye tres tipos de dispositivos: nodos finales LoRa, gateways LoRa y servidor de red LoRa (Fig. 2) [13].

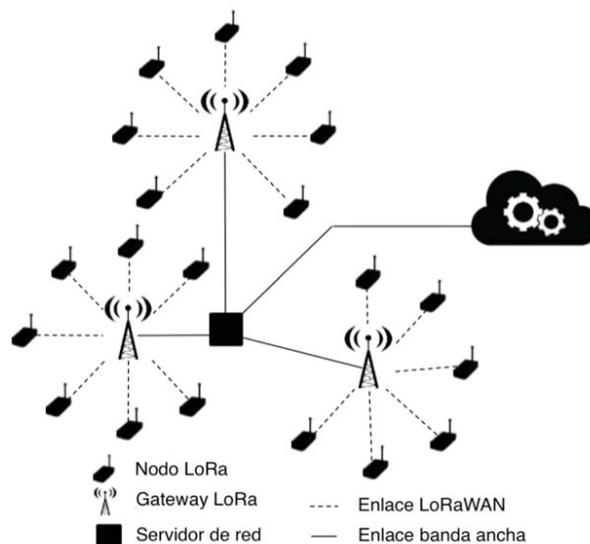


Fig. 2. Arquitectura típica de una red LoRaWAN

Los dispositivos finales LoRa, o nodos LoRa, se comunican con los gateways mediante el protocolo LoRaWAN. Los gateways reenvían la trama LoRaWAN de estos

dispositivos al servidor de red utilizando una interfaz de mayor performance operando sobre el protocolo TCP/IP, como por ejemplo Ethernet, WiFi o 3G.

El servidor de red es el responsable de enrutar al correspondiente servidor de aplicaciones, donde los paquetes de subida (desde los nodos al gateway) son decodificados, y los de bajada (desde el gateway a los nodos) son generados. Para adaptar la manera de realizar esta labor y poder suplir a las demandas de las diversas aplicaciones, existen tres definiciones de clases de operación:

1. **Clase A:** permite la comunicación bidireccional, y lo realiza de la siguiente manera: para transmisiones de subida, los dispositivos utilizan acceso aleatorio al medio (similar al funcionamiento de ALOHA PURO [14]). Para transmisiones de bajada, su ventana de ocurrencia es únicamente inmediatamente luego de una transmisión de subida exitosa, que es donde existe un período durante el cual se crean dos ventanas de recepción en los nodos.
2. **Clase B:** permite la comunicación bidireccional, y lo realiza por medio de la especificación previa de ventanas de recepción. Esto se realiza por medio de beacons, los cuales permiten la transmisión de datos de manera ordenada y por turnos.
3. **Clase C:** también permite la comunicación bidireccional pero es el modo de operación que mayor consumo energético posee ya que se encuentra en constante escucha del medio. El beneficio principal usar este enfoque es que provee la menor latencia de bajada de los tres modos de operación.

### 3. Propuesta tecnológica y componentes del sistema

El proyecto abordado tiene por objetivo la obtención y procesamiento de datos provenientes de sensores instalados en lagunas de la ciudad de Resistencia, Chaco. Se desea que la información obtenida sirva como herramienta para mantener registros históricos del estado del recurso hídrico natural de la ciudad, a fin de alertar irregularidades y en caso de detectar desechos tóxicos, informar a las autoridades. Para ello se cuenta con una aplicación web, en donde se visualizan todas las medidas de las variables. Esta aplicación se nutre del servidor de red que recibe los paquetes LoRa provenientes del nodo.

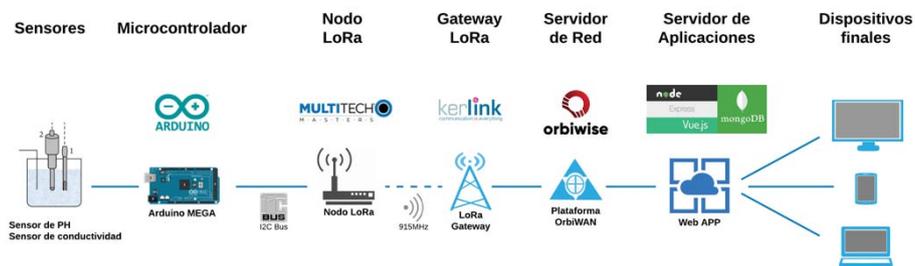


Fig. 3. Arquitectura desplegada para el proyecto de medición de variables químicas.

En la *Fig. 3* se puede observar la infraestructura completa de la solución implementada y de modo genérico puede ser útil para posibles desarrollos futuros; ya que si bien es una solución específica, se puede hacer uso de cualquier tipo de sensores, incluso utilizar actuadores activados por medio de la comunicación descendente.

En primer lugar, se encuentran los dispositivos de censado de variables químicas del agua, los cuales están conectados a un microcontrolador, como por ejemplo el Arduino Mega. Estas permiten generar los datos que luego serán enviados a un nodo LoRa.

Para nuestra propuesta hemos utilizado nodos de la marca Multitech, modelo mDot [15]. La ventaja que poseen estos nodos es la posibilidad de utilizar una plataforma de sistemas embebidos bastante amplia y documentada como ser ARM mBed [16]. Y más importante aún, la existencia de librerías para el manejo del protocolo y ejemplos de uso y adaptación a los nodos mDot de Multitech.

Antes de transmitir los datos, se debe determinar cómo y con qué periodicidad se transmitirán los datos desde el Arduino al nodo LoRa. Para eso se decidió utilizar el protocolo de comunicación i2c, utilizando al nodo como maestro y al Arduino como esclavo. De esta manera, es posible solicitar, desde la aplicación web, la captura y envío de datos por enlace descendente desde el gateway al nodo.

Una vez dispuesta la información en el nodo, es necesario enviarla al servidor de aplicaciones, para ello se debe hacer uso de la red LoRaWAN. Los datos viajan desde los nodos hacia el gateway, y una vez que se obtiene un acuse de recibo por parte de este último, finaliza la transmisión. Es por esto que la tecnología es de bajo consumo energético ya que, si solamente se necesita enviar datos de manera ascendente, se puede poner en modo “*reposo*” al equipo y “*despertarlo*” solamente cuando sea necesario.

#### 4. Ejemplo de Funcionamiento de la Propuesta

Para realizar las pruebas reales, se colocó el nodo a aproximadamente 360 metros de distancia del Gateway (ubicado en la sede de la Facultad), luego también a 620 metros, y no hubo pérdida alguna de paquetes (*Fig 4*. Derecha e izquierda respectivamente).



**Fig. 4.** Distancias de prueba de comunicación.

La intensidad del paquete entrante medida por el gateway para ambas distancias es de -62dB aproximadamente (*Fig. 5*), intensidad es típica de una conexión buena y confiable.

Direction	Time	FCNT	Port	Status	Data Rate	RSSI
05/08/2019 - 05/08/2019			Port			
Up	31/07/2019 22:11:23	36	15		SF10BW125	-62
Up	31/07/2019 21:32:23	35	15		SF10BW125	-60
Up	29/07/2019 20:02:24	34	15		SF10BW125	-62
Up	28/07/2019 03:08:24	33	15		SF10BW125	-62

**Fig. 5.** Señal de paquete recibido a ~620 m.

La ubicación de trabajo de la boya de medición de variables químicas será en la Laguna Argüello, ubicada a aproximadamente 620 metros del gateway (*Fig. 6*).

Una vez instalada la boya en la laguna, desde una aplicación web, se procedió a obtener los datos que recibe el Gateway Lora ubicado en la facultad, a través de una API que éste ofrece. Las respuestas proveídas por la API son de tipo HTTP [17] y el formato utilizado es JSON [18].

Cuando se obtienen los datos en la aplicación web, se comparan con una Base de Datos NoSQL implementada con MongoDB [19], para verificar si dichos datos varían de los últimos registrados en la BD. Si varían en un rango determinado, dependiendo del sensor, se registran las nuevas mediciones en la BD, de lo contrario no se realiza ninguna acción.

LORAWAN - MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS					GATEWAY DIRECTAMENTE	MONGODB ATLAS	GRAFICOS
Fecha	pH	Nitratos (ppm)	Conductividad (mS/m)	Temperatura (°C)			
31/7/2019 22:11:23	7.00	6	5.50	28			
31/7/2019 21:10:23	7.60	30	5.30	29			
31/7/2019 20:09:24	7.50	31	5.60	27			
31/7/2019 19:08:24	8.00	32	5.40	11			
31/7/2019 18:06:23	6.60	2	5.50	15			
31/7/2019 17:05:24	8.00	8	5.60	20			
31/7/2019 16:04:23	7.00	37	5.70	18			

**Fig. 6.** Tabla de las últimas mediciones obtenidas del Gateway mediante la API.

En las siguientes figuras se puede observar la interfaz de la aplicación web, donde se detallan los datos de las últimas mediciones realizadas (*Fig. 6*), los datos registrados en la BD (*Fig. 7*) y un gráfico de variabilidad en el tiempo de uno de los sensores (*Fig. 8*), en este caso, el sensor de Temperatura.

LORAWAN - MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS				
Fecha	pH	Nitratos (ppm)	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)
31/7/2019 22:11:23	7.00	6	5.50	28
31/7/2019 21:32:23	7.60	30	5.30	29
29/7/2019 20:02:24	7.50	31	5.60	27
28/7/2019 03:08:24	8.00	32	5.40	11
28/7/2019 01:55:02	6.70	12	5.50	11
27/7/2019 18:33:23	6.60	2	5.50	15
25/7/2019 22:05:24	8.00	8	5.60	20

Fig. 7. Tabla de las mediciones obtenidas de la BD.

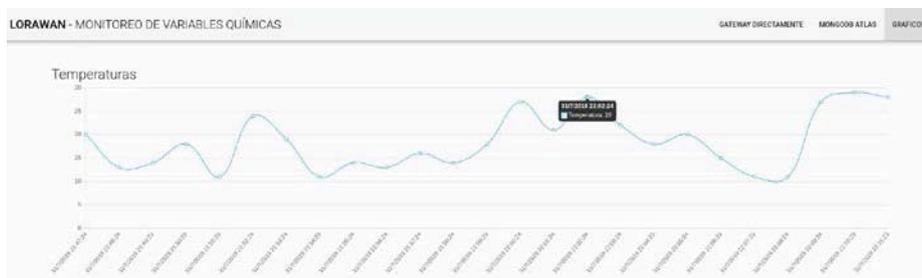


Fig. 8. Gráfico de mediciones del sensor de Temperatura obtenidas de la BD.

### Conclusiones

IoT es un conjunto de tecnologías que día a día logra cubrir más campos (ganadería, agricultura, sociedad, obras, etc.) a través de mediciones, controles y automatizaciones. En este sentido, específicamente al hablar de las nuevas necesidades de las ciudades, se han abordado diversas soluciones tecnológicas en pos del medio ambiente y la gestión. Es en este aspecto en donde desarrollamos nuestra propuesta o framework para relevar variables químicas útiles en la región y, como logro importante, dicho framework permitirá que los nodos puedan escalar hasta completar diversos espejos de agua dulce que existen, incluso ríos y arroyos. Esto se logró gracias a la conectividad que permite a LoRaWAN obtener datos de sensores a distancias sumamente importantes y facilita generar desarrollos innovadores que son de vital importancia, como la gestión de las variables que indican contaminación ambiental.

### Referencias

[1] Sekhar N. Kondepudi, et. al. An overview of smart sustainable cities and the role of information and communication technologies. Set of ITU-T's Technical Reports and Specifications, 2016.

[2] Bhagya Nathali Silva, Murad Khan, Kijun Han, Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. Sustainable Cities and Society, 38, 2018.

- [3] Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2017a). Internet of things: A comprehensive review of enabling technologies, architecture, and challenges. *IETE Technical Review*, 1–16.
- [4] 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, 1645–1660.
- [5] Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K.-S. (2015). The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708.
- [6] Hollands, R. G. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12, 303–320, 2008.
- [7] Kondepudi, S. Smart sustainable cities analysis of definitions. The ITU-T Focus Group for Smart Sustainable Cities, 2014.
- [8] Mohanty, S. P., Choppali, U., & Koungianos, E. Everything you wanted to know about smart cities: The internet of things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5, 60–70, 2016.
- [9] Lain-Chyr Hwang, Chao-Shun Chen, Te-Tien Ku, Wei-Cheng Shyu, A bridge between the smart grid and the Internet of Things: Theoretical and practical roles of LoRa, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 113, 2019, 971-981, ISSN 0142-0615.
- [10] LoRa Alliance. Recuperado de: <https://www.lora-alliance.org/what-is-lora>.
- [11] LoRa Alliance (2017, October). “LoRaWAN Backend Interfaces 1.0 Specification”. Recuperado de: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm-backend-interfaces-v1.0.pdf>.
- [12] Semtech Corp. (2015, May). “AN1200.22 LoRa Modulation Basics”. Recuperado de: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>.
- [13] Performance evaluation of LoRa considering scenario conditions. Ramon Sanchez Ibarrola, Jesus Sanchez Gomez, Juan Ballesta Viñas, Maria Dolores Cano y Antonio F. Skarmeta, Diciembre 2017.
- [14] N. Abramson. Development of the ALOHANET (1985). *IEEE Transactions on Information Theory*.
- [15] Multitech mDot. Recuperado de: <https://os.mbed.com/platforms/MTS-mDot-F411/>
- [16] ARM Mbed. Recuperado de: <https://www.mbed.com/en/>
- [17] W3 HTTP. Recuperado de: <https://www.w3.org/Protocols/>
- [18] JSON. Recuperado de: <https://www.json.org/json-en.html>
- [19] MongoDB. Recuperado de: <https://www.mongodb.com/>