

# LoRaWAN en aplicaciones IoT Conectividad del Puerto de La Plata



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

Lic. Javier Díaz  
Lic. Agustín Candia

# Grupo de Trabajo en Internet de las Cosas



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



- Laboratorio de Investigación en nuevas Tecnologías Informáticas (LINTI - Facultad de Informática)
- Área **I+D en IoT** desde el año 2015
- **Equipo interdisciplinario:** Lic. en Informática, Ing. Electrónicos, Ing. en computación y Diseñadores Industriales. Becarios y pasantes con prácticas profesionalizantes.
- **Datacenter y red IoT** para investigación y desarrollo.
- **Convenios** con Municipios, PyMEs locales y otros laboratorios. Miembros de CABASE. Grupos de trabajo IEEE, ICANN, ITU.

- **Introducción a LoRaWAN y su aplicación en IoT**
- **Caso de Uso: Balizamiento en el Puerto de La Plata**

# Conceptos claves en LoRaWAN

- Tecnologías de comunicación utilizadas en IoT. Comparativas
- Redes LoRaWAN. Marco teórico
- Clases de dispositivos.
- Seguridad implementada
- Tips para desarrollo
- Casos de aplicación concretos



# Características de soluciones LPWAN

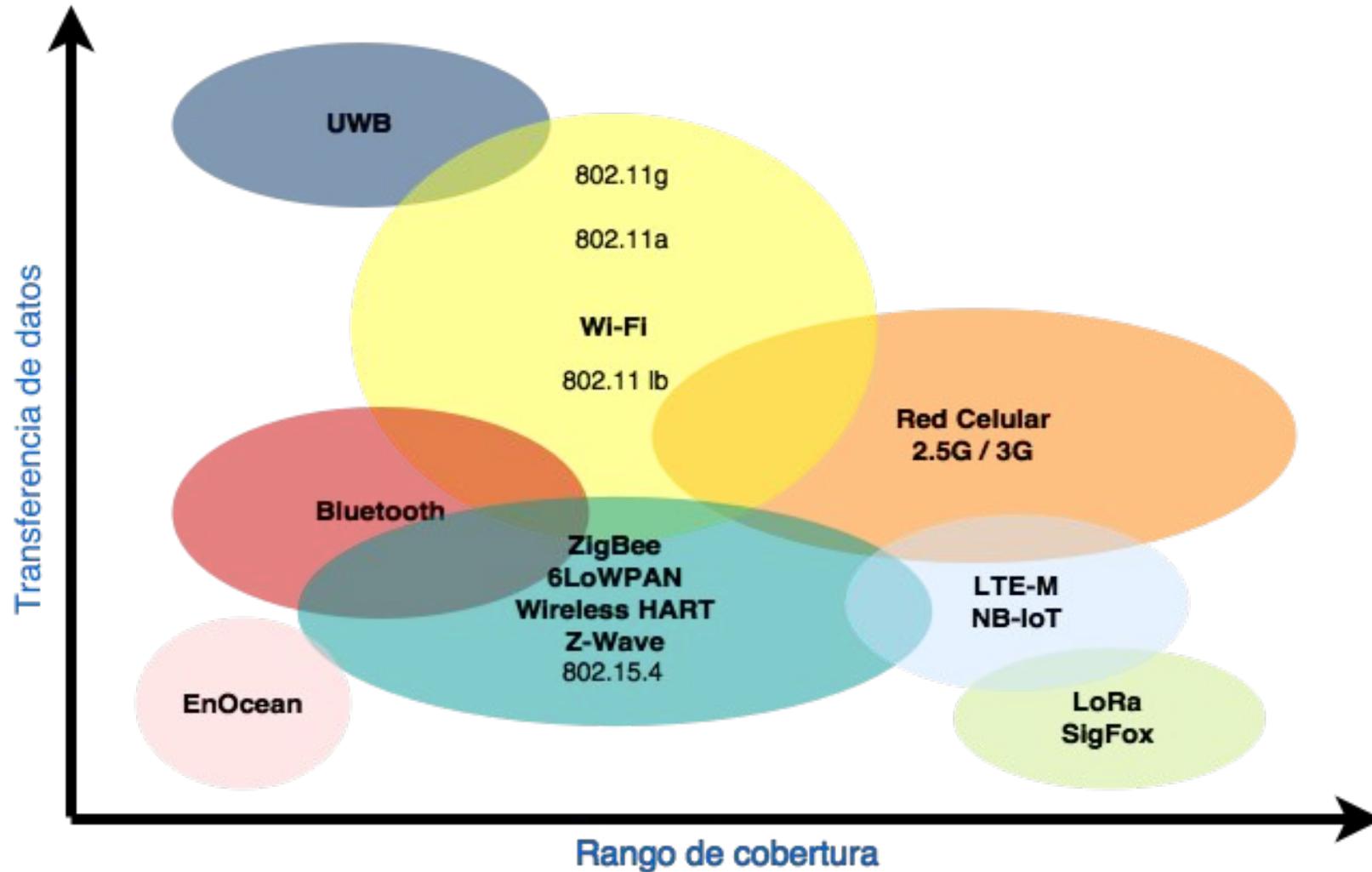
Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN) es un término genérico para un grupo de tecnologías con las siguientes características clave:

- Larga vida útil de la batería (se espera rendimientos entre 5 y 10 años dependiendo el campo de aplicación)
- Cobertura de área amplia, lo que permite una conexión inmediata de múltiples soluciones
- Chipsets y redes de bajo costo.
- Tasa de datos limitada en las comunicaciones.
- Arquitectura en estrella, simil red celular.

# Algunos campos de aplicación LPWANs



# Tecnologías de comunicación utilizadas en IoT



# Comparativas en IoT

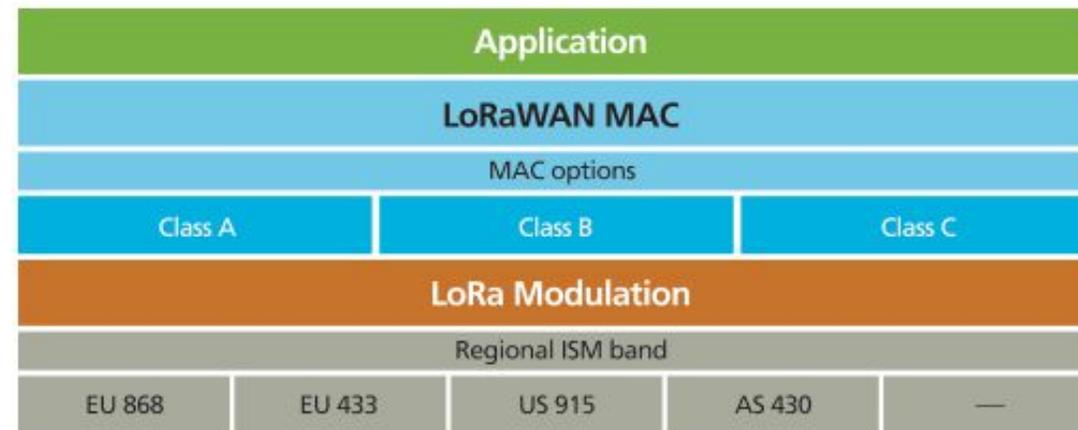
Technology	802.11ah	WLAN	ZigBee	LTE-M	Sigfox	LoRa
Sensitivity	-106 dBm	-92 dBm	-100 dBm	-117 dBm	-126 dBm	-134 dBm
Link Budget	126 dB	112 dB	108 dB	147 dB	146 dB	154 dB
Range (O=Outdoor, I=Indoor)	O: 700m I: 100m	O: 200m I: 30m	O: 150m I: 30m	1.7km urban 20km rural	2km urban 20km rural	3km urban 30km rural
Data rate	100kbps	6 Mbps	250 kbps	1 Mbps	600 bps	12.5 – 0.970 kbps
Tx current consumption	300 mA 20 dBm	350 mA 20 dBm	35 mA 8 dBm	800 mA 30 dBm	120 mA 20 dBm	120 mA 20 dBm
Standby current	NC	NC	0.003mA	3.5mA	0.001mA	0.001mA
RX current	50 mA	70 mA	26 mA	50 mA	10 mA	10 mA
Battery life 2000 mAh				18 months	90 months	105 months
Localization	no	1- 5m	no	200m	no	10m
Interference Immunity	moderate	moderate	bad	moderate	bad	good
Network Type	Star	Star	Mesh	Star	Star	Star
End Node Capacity	Large	Medium	Small		1.3Mu*	>1.3Mu*

(\*) One message per day

# Introducción a LoRaWAN

En el nivel 1 de OSI, nivel físico, encontramos la tecnología **LoRa** de comunicación. Esta tecnología permite el envío y recepción de información punto-a-punto. LoRa® es la capa física o la modulación inalámbrica utilizada para crear una comunicación de largo alcance. Semtech, desarrolló la tecnología y posee la patente. La fundación LoRa Alliance, se encarga del desarrollo del estándar y su evolución.

**LoRaWAN** es una especificación de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network). Atendiendo a los niveles OSI, sería el nivel 2 y 3 (red). Es lo que se conoce como MAC (Media Access Control). **LoRaWAN** se encarga de unir diferentes dispositivos LoRa gestionando sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, etc.



# Introducción a LoRaWAN

- Comunicaciones de largo alcance (se estima entre 2km a 5km en entornos urbanos y hasta 15km en zonas despejadas), manteniendo el bajo consumo de los equipos
- Las frecuencias de comunicaciones que LoRa usan son principalmente las de la banda no licenciadas ISM. Suele operar en las bandas 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz. (Cualquiera puede usar estas frecuencias.No se requiere tarifa de licencia. Según el país, estas bandas pueden estar restringidas
- Brinda servicios de red confirmación de mensajes, encriptación, multicasting y activación/registro en la red “over the air”.
- Emplea la técnica de espectro ensanchado, donde la señal a mandar utiliza más ancho de banda que el necesario teóricamente pero que permite una recepción de múltiples señales a la vez que tengan distinta velocidad.
- Utiliza una técnica denominada Adaptive Data Rate (ADR), para optimizar la tasa de datos, tiempo de aire y consumo energético de los nodos conectados a la red.
- Seguridad basada en Dirección del nodo, clave de red y clave de aplicación
- 3 clases de dispositivos finales: Clase A, B y C.
- Actualizaciones de firmware remoto: FUOTA (new release)



# Escenarios LoRaWAN

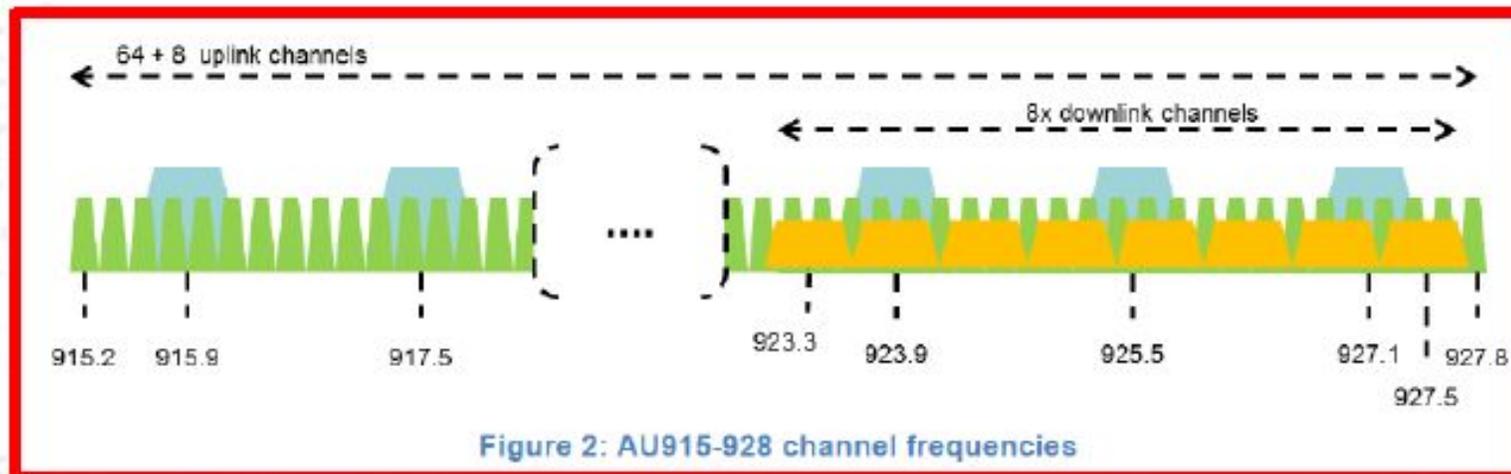
DONDE <b>SI</b>	DONDE <b>NO</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>● Cadenas de suministro - Logística</li><li>● Aplicaciones médicas</li><li>● Agricultura</li><li>● Control industrial(*)</li><li>● Domótica (*)</li><li>● Smart Cities</li><li>● Medio ambiente</li><li>● Medidores de agua, gas, luz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Datos en tiempo real: solo puede enviar paquetes pequeños con frecuencia de minutos</li><li>● Llamadas telefónicas: ver GPRS / 3G / LTE</li><li>● Controlando las luces en su casa - ver ZigBee, Z-wave o BlueTooth</li><li>● Aplicaciones multimedia</li></ul>

## LoRaWAN™ Channels

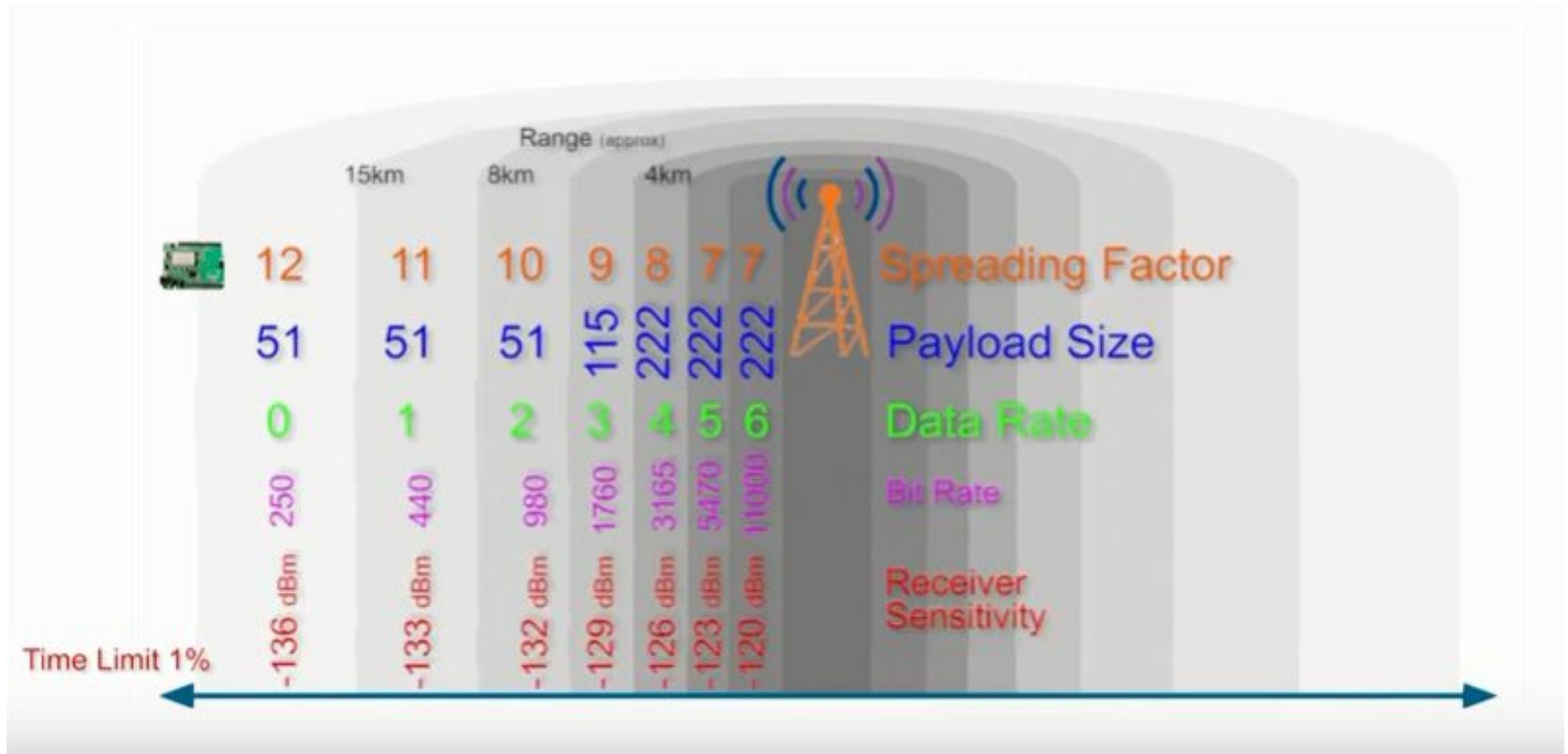
- **License free Sub-GHz Frequencies**

- Argentina: 915-928 MHz Band
- Upstream: 64 channels numbered 0 to 63, DR0 to DR3
- Upstream: 8 channels numbered 64 to 71, DR4
- Downstream: 8 channels numbered 0 to 7, DR8 to DR13

Bandwidth (BW)  
125 KHz - 500 KHz



# Spread Factor (SF)



# Limitaciones de uso

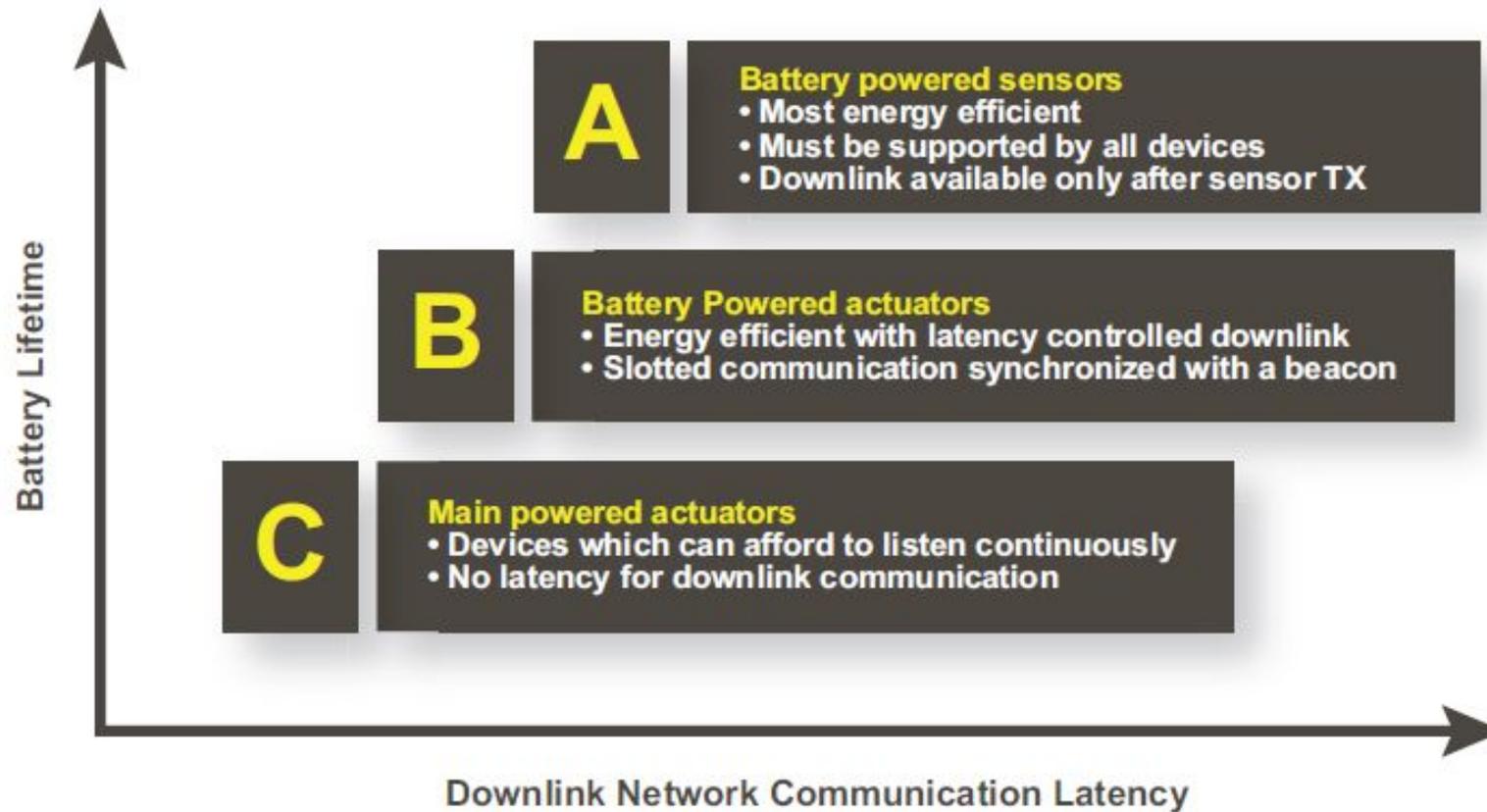
(Desventajas de la banda ISM)

- Baja tasa de datos.
- Mucha interferencia porque cualquiera puede usar estas frecuencias.

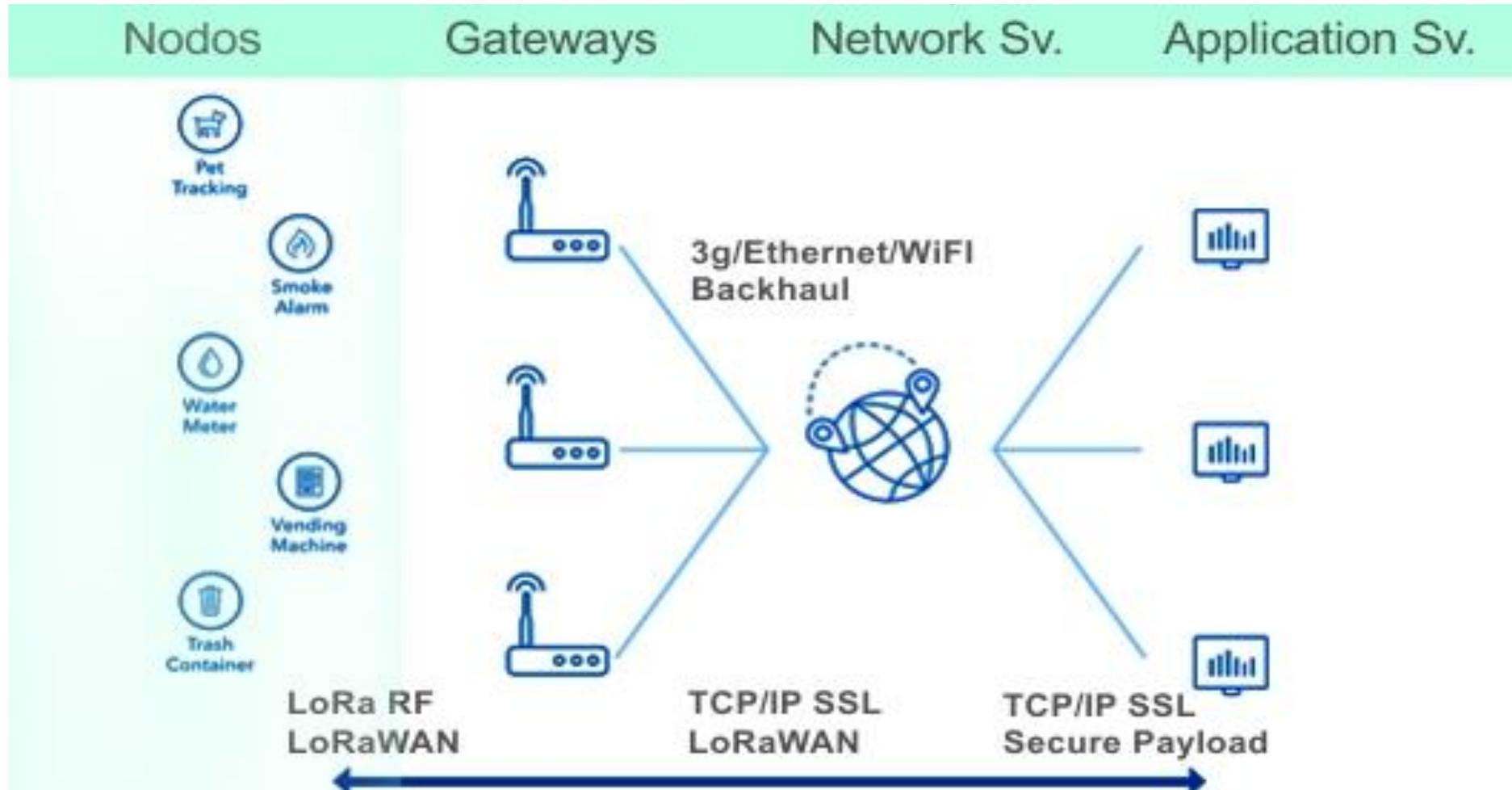
Es por esto que muchas regiones (ENACOM Resol. 2018-581 en Argentina) impone restricciones y buenas prácticas de uso del espectro compartido. (915MHz - 928 MHz)

Según la región y los operadores, pueden imponerse limitaciones en la potencia de emisión (**mW**), el ciclo de trabajo (**DUTY CYCLE**), en el tiempo de permanencia del canal (**DWELL TIME**), en la cantidad de transmisiones por día, o una combinación de ellos.

# Clases de dispositivos A - B - C



# Arquitectura LoRaWAN



# Nodos con tecnología LoRaWAN

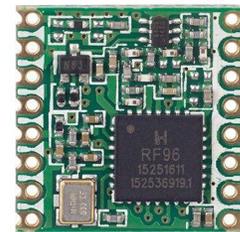
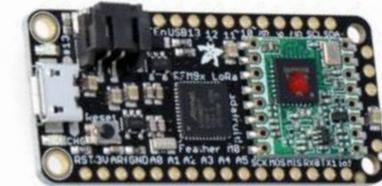
- Existen varias empresas que comercializan shields y módulos para integrar LoRa o LoRaWAN.
- Todas estas soluciones integran en su base el chip de radio de Semtech. Los principales usados son el SX1272, SX1276 y SX1278.
- Placas comerciales para desarrollo añaden circuitos y MCU adicionales para que sea prácticamente plug&play ponerse a desarrollar con LoRa.



# Nodos con tecnología LoRaWAN

Algunos Ejemplos:

- SX1278 LoRA + ESP32
- Libelium Waspote LoRa
- Adafruit Feather 32u4 RFM95
- LoPy
- ESSA-IOT (nacional)
- HopeRF
- RN2903/ SAMR34/35
- STM32WL55/54xx



# Gateways

- Compuesto por un MCU y por uno o más radios (SX1301).
- Se encarga de comunicarse de forma bidireccional vía LoRa con los nodos finales.
- Se encarga de recibir y enviar al Network Server toda la información desde y hacia los nodos conectados. (packet forwarder)
- Existen diferentes marcas y modelos en el mercado: varían en cantidad de canales (1, 8,16, 64), capacidad de procesamiento, tipos de antena, puertos de salida (ethernet, wifi, GSM), opciones indoor/outdoor.
- Según el equipo y dependiendo de la tasa de datos pueden soportar hasta más de 6 millones de msg/dia.
- Excelente radio de cobertura con poca densidad de equipos.(Dependiendo de la cantidad de nodos, deberá escalarse la cantidad de equipos)

# Algunas opciones comerciales

MULTITECH



kerlink  
communication is everything



TEKTELIC  
communications



BROWAN

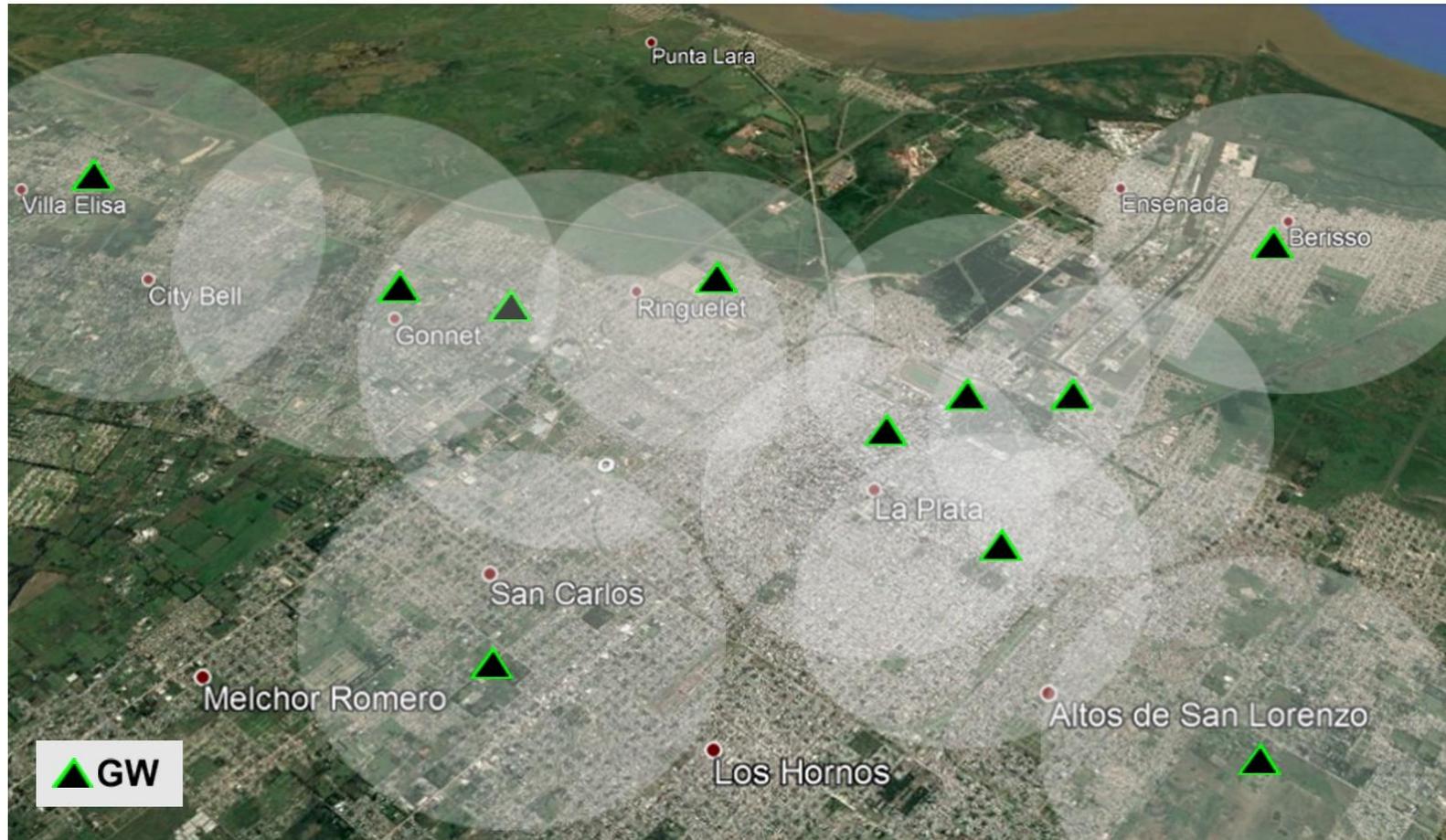


Laird™  
CONNECTIVITY

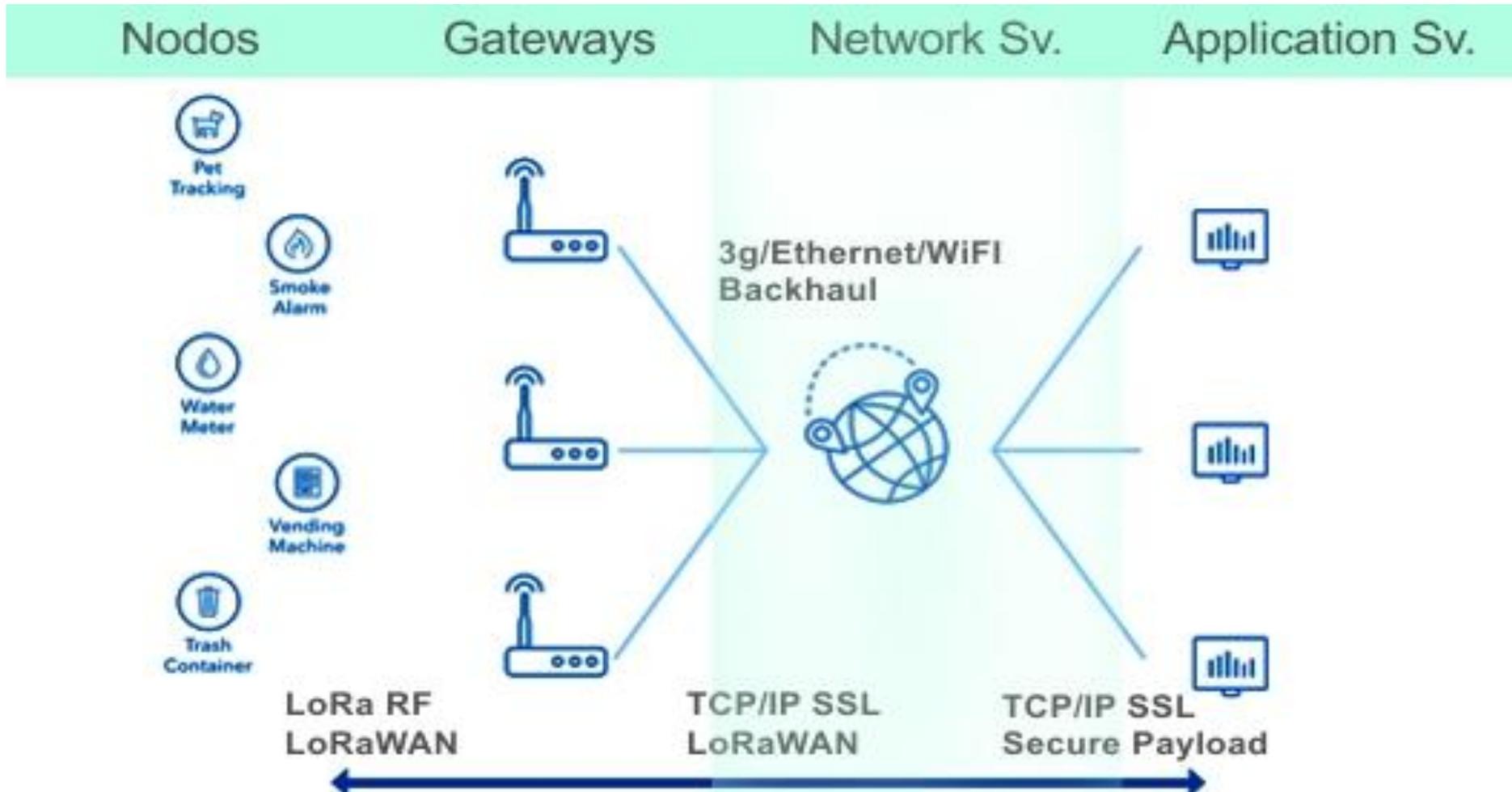


Opción LowCost: Raspberry Pi +  
módulo RAK 831

# Ejemplo despliegue en La Plata: convenio UNLP & YEAP



# Arquitectura LoRaWAN



# Network Servers LoRaWAN

- Es el cerebro de una red LoRaWAN. Gestionado por el carrier de la red.
- Recibe de N gateways (configurados), procesa, valida y reenvía a los end points correspondientes.
- ABM de dispositivos conectados a la red
- Gestión de claves para encriptación de tramas
- Configuración de canales de transmisión. Adaptación de potencia y velocidad (Adaptative Data Rate).
- Selección de gateway para downlinks
- API de integración con server de aplicación del cliente. (MQTT, HTTPs)

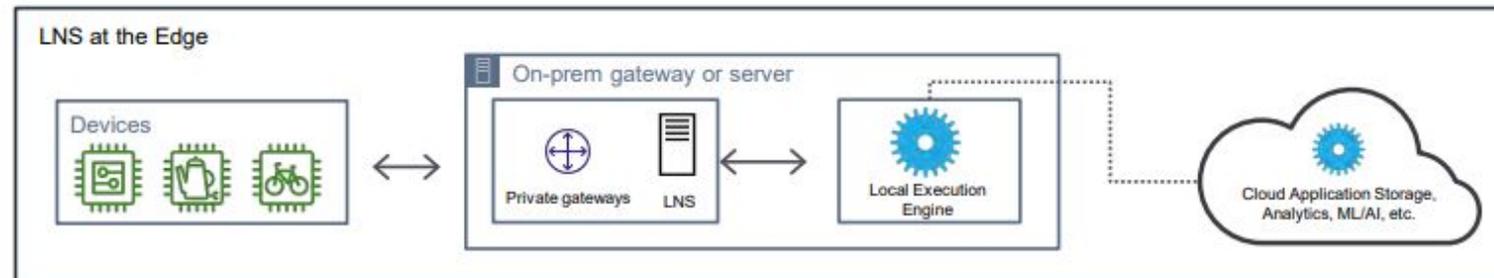
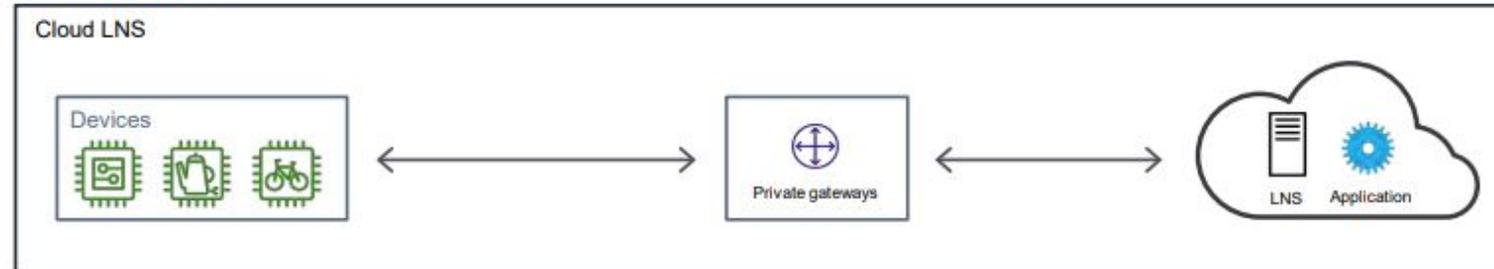
# Network Servers LoRaWAN

Algunas opciones:

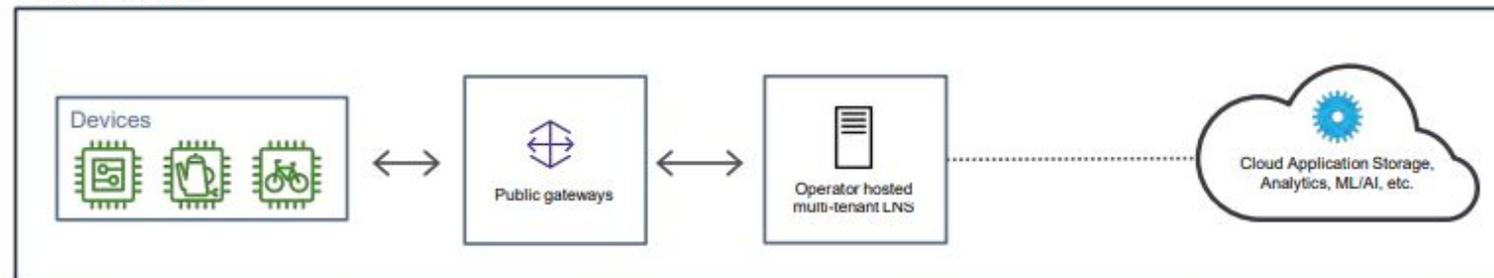
- **Proyecto Open Source:**
  - Loraserver (<https://www.chirpstack.io/>)
  - TTN (<https://www.thethingsnetwork.org>)
- **Opciones desplegadas gratuitas (con limitaciones)**
  - TTN (<https://www.thethingsnetwork.org>) . Proyecto de gateways comunitarios.
- **Productos comerciales**
  - Orbiwise (<https://www.orbiwise.com/>)
  - ResIOT (<https://www.resiot.io>)
  - TTN (<https://www.thethingsnetwork.org>)

# Network Servers LoRaWAN (cont.)

## Private Networks



## Public Networks



# Seguridad: Activación de nodos en la red

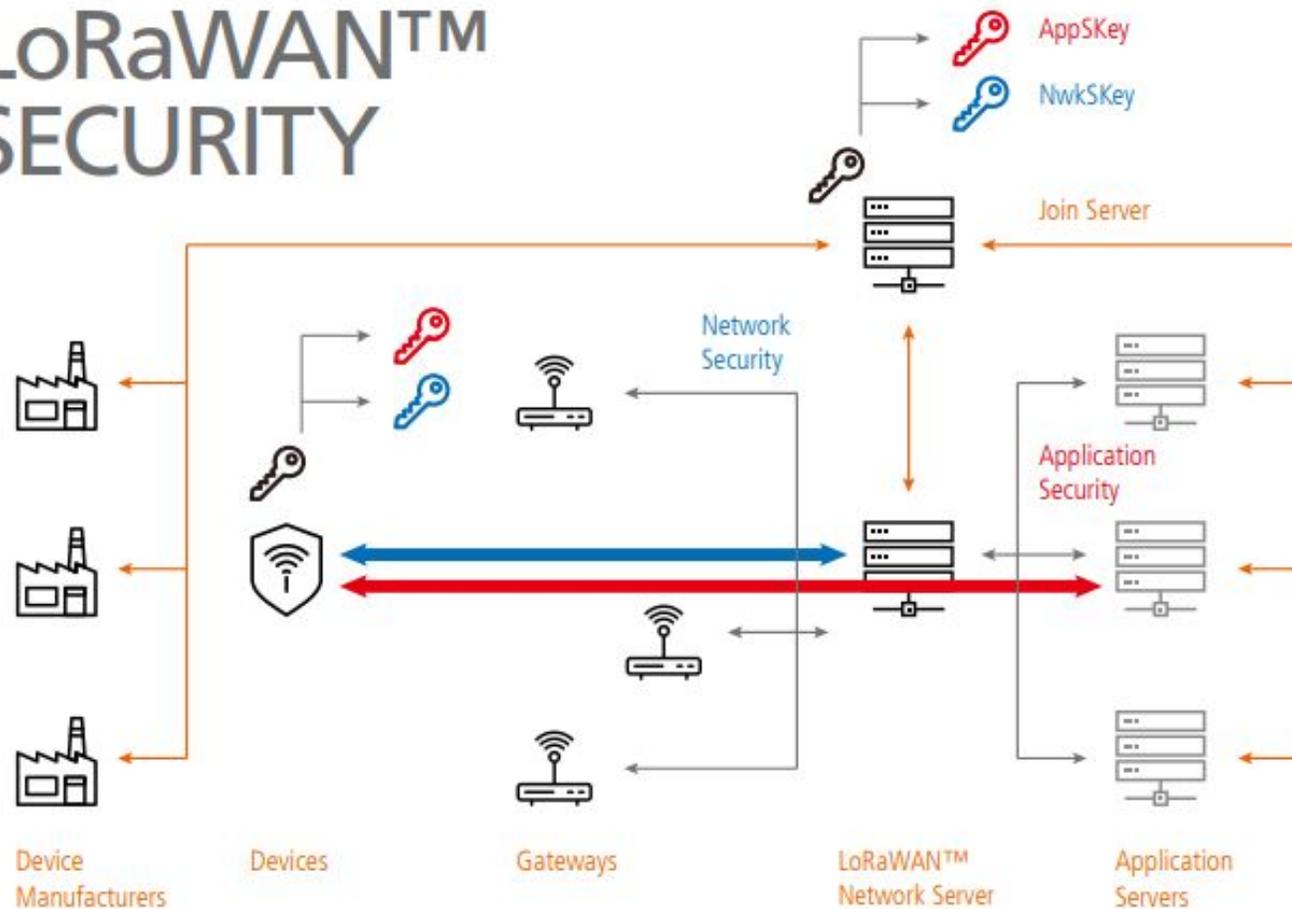
Los dispositivos LoRaWAN tienen un identificador único de **64 bits (DevEUI)** que el fabricante del chip asigna al dispositivo. Sin embargo, toda la comunicación se realiza con una dirección de dispositivo dinámica de **32 bits (DevAddr)**. Los dispositivos de la red LoRaWAN puede unirse a la red mediante dos métodos:

**ABP:** Activation by Personalization (ABP). En este método de acceso a la red, tanto las claves de sesión como la dirección física del nodo (DevAddr) son conocidas tanto por el nodo como por el servidor. Es la forma más rápida de comenzar a trabajar en la red ya que el dispositivo se entrega pre-configurado con los riesgos que eso implica.

**OTAA:** Over-the-Air-Activation. En este método, el nodo y el servidor negocian las claves de cifrado en el momento que el nodo se conecta a la red. El dispositivo trata de activarse enviando un “join request” a la red, esperando una respuesta del tipo “join accept”. Tanto el dispositivo final como la red tienen conocimiento de AppKey para comenzar a negociar las claves de sesión. (NwkSKey y AppSKey)

# Seguridad: Encriptación a nivel Red y Aplicación

## LoRaWAN™ SECURITY



- Existe cifrado de **extremo a extremo**.
- El manejo de claves puede hacerse **fuera** del server del operador de la red.
- Todo el tráfico de LoRaWAN está protegido mediante las dos claves de sesión. Cada payload está encriptado por AES-CTR y lleva un contador de trama (**Frame Counter**, para evitar la reproducción de paquetes) y un Código de integridad de mensajes (**MIC**) calculado con AES-CMAC (para evitar tampering).
- Se utiliza **HTTPS y VPN**, entre servidores de red y aplicación del cliente.

# Sistema de balizamiento

Con módulo de medición y comunicación desarrollado por la UNLP



## Módulo de medición y comunicación

- Transmite datos cada 60 segundos
- Utiliza comunicación inalámbrica LoRaWAN
- GPS + Acelerómetro



Antena

Linterna

Marca Diurna

Paneles Solares

Bateria



# ACTORES

- Vinculación **Universidad - Puertos - Pyme**



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA**

**Laboratorio LINTI -  
Facultad de Informática  
Investigación, desarrollo e  
innovación**



**Gestión y  
administración de la  
hidrovía**



**Balizamiento  
Croacia**

**Soluciones de balizamiento  
marítimo, fluvial, aéreo y  
terrestre**

# Visión de la solución propuesta

El objetivo de este proyecto es la implementación de un **sistema de comunicación, monitoreo y control** de las 21 balizas que componen el sistema de balizamiento del PLP.

El sistema de comunicación implica el despliegue de una **red IoT**, para este caso la tecnología escogida fue **LoRaWAN**.

Se dispondrá de una aplicación que permita visualizar con claridad el estado del sistema de balizamiento en su totalidad, reportes históricos, estadísticas; configurar las condiciones de alarma y mensajes de aviso y enviar comandos de reinicio a las balizas.

# Situación Actual

- Se deben hacer revisiones in situ periódicas del correcto funcionamiento de panel, batería y destelladores en cada una de las boyas.



# FASES del Proyecto

01

## Despliegue de Red IOT - LoRaWAN

*Incluye el despliegue de equipos receptores ( gateways Lorawan) en infraestructura propia de puertos y Servidores de red en la nube.*

02

## Desarrollo dispositivo de control embebido

*Diseño de dispositivo que incorpora GPS, acelerómetro, sensor de corriente/voltaje y comunicación inalámbrica Lora. Integración con electrónica del destellador en baliza*

03

## Software de Usuario para monitoreo

*Aplicación de usuario para monitoreo en tiempo real de estados y generación de alarmas. Registros históricos para auditoria y mantenimiento preventivo.*

# 01 Red LoRaWAN - Pruebas iniciales

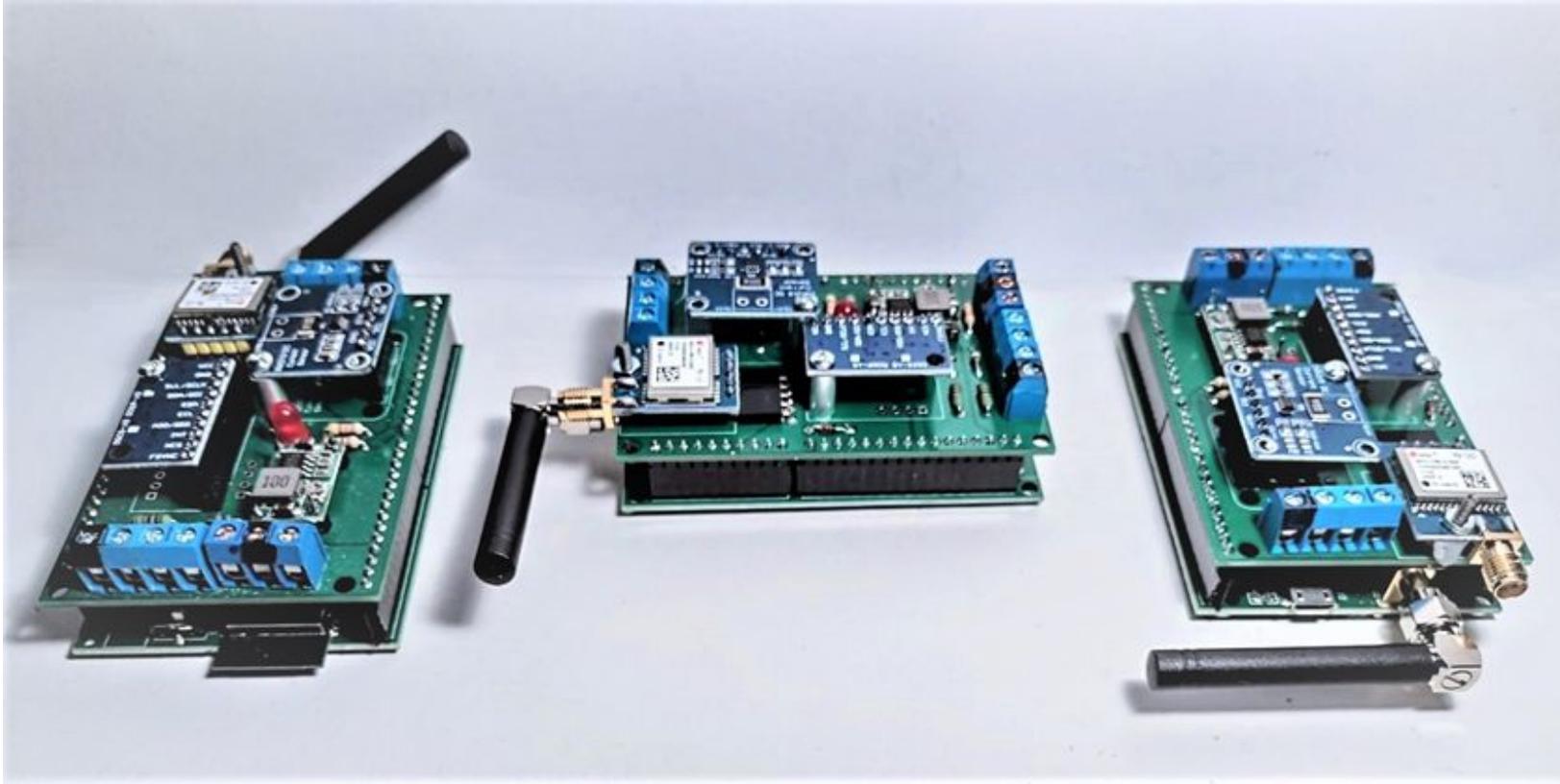
- Se hicieron pruebas iniciales instalando GW en Isla Paulino
- No se observaron pérdidas de señal ante diferentes condiciones climáticas en el río.
- Llegamos sin problemas a la baliza más lejana ubicada en el Km. 10.400
- Podríamos obtener redundancia con otros gateways instalados en la zona de Ensenada , Berisso y La Plata

# Red LoRaWAN





## 02 Módulo desarrollado



- Micro Cortex M0
- Radio LoRaWAN
- GPS
- Acelerómetro
- Sensado de corriente y tensión
- Sensores de apertura

# Funcionalidades del módulo de monitoreo



## Reportes periódicos

- Valores de las tensiones eléctricas de panel solar, batería y alimentación de módulo destellador.
- Estado de 3 entradas de contactos seco (Tapa de gabinete, panel solar presente, contacto para uso no definido aún).
- Estado de funcionamiento del destellador (destellando/ destello débil/apagado)
- Ubicación geográfica (GPS)

# Funcionalidades del módulo de monitoreo

## Alarmas ante eventos o anomalías

- Estado de baliza anómalo (p.ej. corona de leds incompleta)
- Apertura/cierre de tapa de gabinete o del contacto de panel solar.
- Choque y/o cambio de inclinación de baliza (con ajuste de sensibilidad desde el centro de monitoreo)
- Valores de tensión por fuera de rangos normales.

# Otras Funcionalidades

## **Generación de señal para sincronismo del destellador**

Basada en la hora real, se permitirá la sincronización entre pares de balizas instaladas en el canal. Secuencias establecidas por el Servicio de Hidrografía Naval y las normas IALA

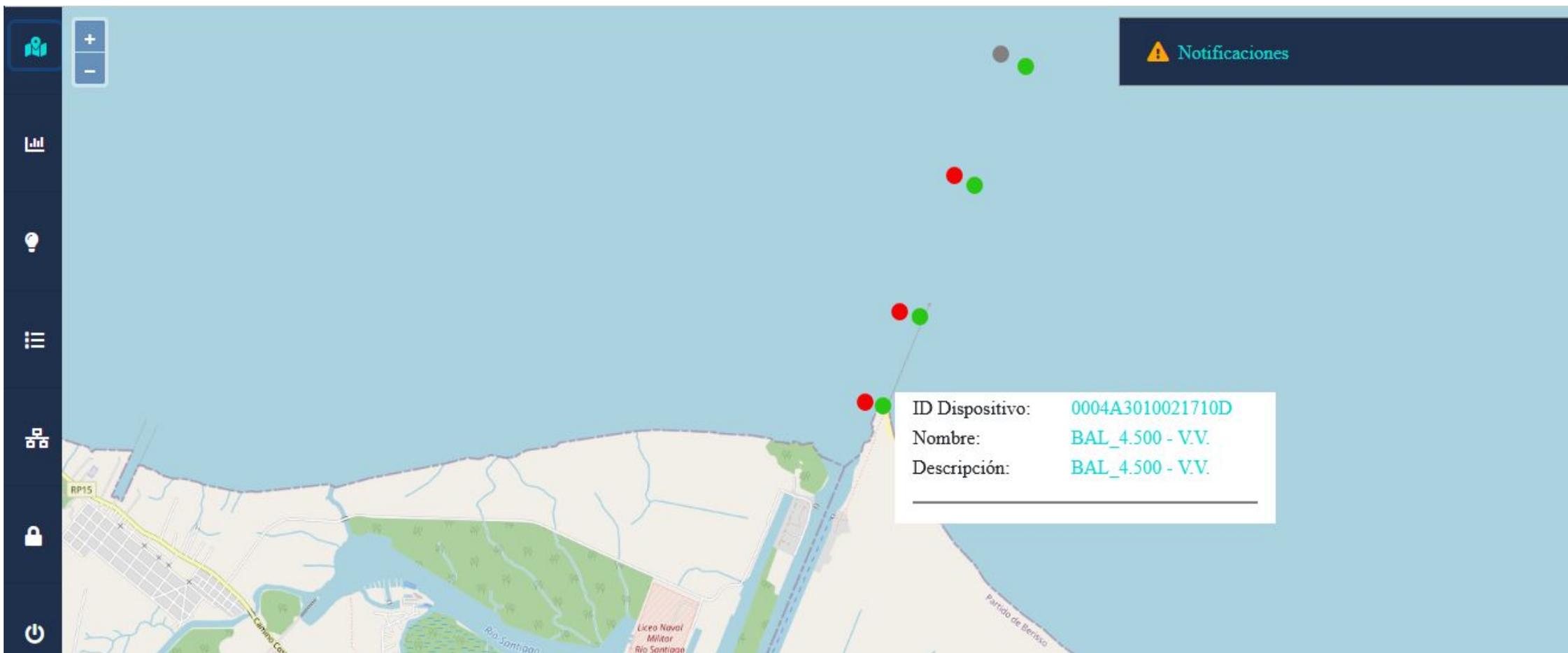
## **Conectividad con otros equipos: correntógrafos, mareógrafos**

Integración con equipos de terceros basados en el protocolo AIS, como correntómetros, mareógrafos y estaciones meteorológicas.

# 03 Sistema de monitoreo



**NEXUS**  
Gestión para dispositivos  
IoT compatibles



BAL\_5.400 - V.V.

Tensión Panel Solar

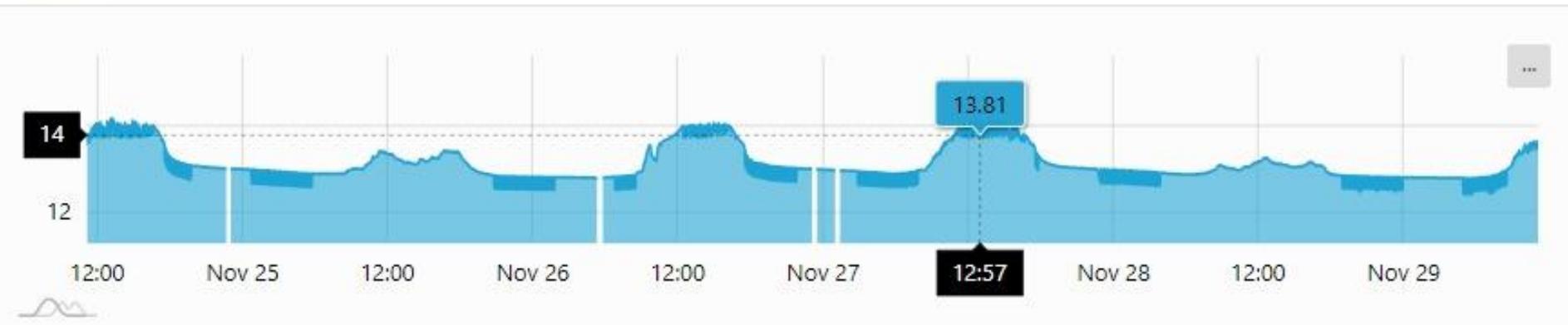


**NEXUS**

Gestión para dispositivos IoT compatibles

BAL\_5.400 - V.V.

Tensión Batería

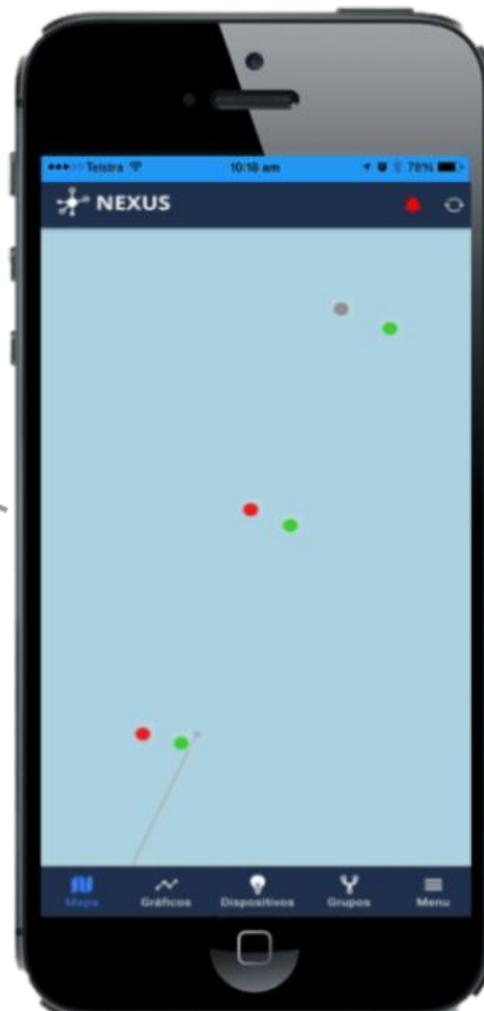


UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

(c) 2022

10 notificaciones

IoT_Mal funcionamiento	14/03/2022 10:50:35
Artefacto Offline	03/03/2022 06:55:13
IoT_Artefacto Offline	01/03/2022 20:45:21
IoT_BATERIA BAJA	21/02/2022 04:10:57
IoT_Puerta ABIERTA	15/02/2022 12:35:46
Artefacto Offline	20/01/2022 15:35:19
Artefacto Offline	11/01/2022 09:55:12
IoT_Artefacto Offline	22/12/2021 12:50:07
Alarma choque	22/12/2021 11:24:22
Artefacto Offline	26/10/2021 14:40:02



Usuario: admin

**Nuevo Comando**

Estado actual

En línea (Mar 26, 2022, 1:34:56 PM)

Estado Baliza:  
Modo Día - Estado Normal (Mar 26, 2022, 1:34:56 PM)

Estado Detalle:  
Funcionamiento Normal (Mar 26, 2022, 1:34:56 PM)

Estado Puerta 1:  
Cerrado (Mar 26, 2022, 1:34:56 PM)

**NEXUS**

Presión Actual	Humedad	Temperatura Actual
1007 hPa	69 %	20.71 °C

Máx: 21.86 °C Saldo del sol: 06:59  
Mín: 20.62 °C Puesta del sol: 18:54

**Artefactos con Notificaciones Pendientes / Artefactos Totales**

**! 16 / 24**

Artefactos:  
BALIZA\_PLP\_PRODUCION\_23

Propiedades:  
Tensión Batería

Fecha desde: 26 Mar 2022 13:30  
Fecha hasta: 27 Mar 2022 13:30

**Buscar**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

## LINTI - Universidad Nacional de La Plata

Calle 50 y 120- La Plata - Argentina

Tel. (+54) (221) - 422-3528

[iot@linti.unlp.edu.ar](mailto:iot@linti.unlp.edu.ar)

[www.linti.unlp.edu.ar](http://www.linti.unlp.edu.ar)