



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos

Autor: Michael Andrés Moya Quimbita

Director I: Carlos Enrique Palau Salvador

Fecha de comienzo: 1/04/2018

Objetivos

- Realizar una evaluación de la tecnología LORA/LORAWAN, sus propiedades, arquitectura de red, capacidad y limitaciones.
- Analizar los dispositivos y software a emplearse en la evaluación de cobertura en un entorno urbano.
- Configurar e integrar los componentes de la arquitectura LoRaWAN (pasarela, nodo terminal, servidor de red, aplicaciones).
- Evaluar el comportamiento de una pasarela y dispositivo final (nodo) desarrollada con componentes COTS, la cual permita transmitir y recibir información en una zona urbana.
- Efectuar un estudio de cobertura para desplegar la tecnología LoRaWAN en la ciudad de Valencia y determinar la cantidad de pasarelas que se requerirían.
- Establecer un posible caso de uso práctico de la red LoRaWAN en la ciudad, relacionado con IoT.

Metodología

El presente trabajo consta de 6 capítulos, los cuales están divididos de la siguiente manera. En el capítulo I y II se realiza el estado del arte y descripción de los principales elementos que intervienen en la tecnología LoRa/LoRaWAN. En el capítulo III se describen los dispositivos, software e infraestructura a emplearse, además se realiza el cálculo para el dimensionamiento de cobertura. En el capítulo IV se describe la configuración de los dispositivos para establecer comunicación, así como las pruebas de envío de información realizadas en un entorno urbano en la ciudad de Valencia y se presentan los resultados obtenidos. En el capítulo V se describe el proceso para el despliegue de la tecnología LoRaWAN en la ciudad de Valencia y se detalla un posible caso de aplicación de la red LoRaWAN y finalmente en el capítulo VI se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

Desarrollos teóricos realizados

El presente trabajo se realiza una evaluación de la tecnología LoRa/LoRaWAN, su arquitectura, su capacidad y los factores que influyen en la misma. Se describen los tipos de dispositivos finales y métodos de acceso a la red. Se efectúa un análisis de publicaciones y trabajos de investigación más recientes relacionados con la tecnología LoRa/LoRaWAN.

Desarrollos prácticos

Integración y configuración de pasarela y nodo terminal LoRa/LoRaWAN, para su posterior análisis de cobertura en un sector urbano de la ciudad de Valencia, obteniendo datos como tiempo en aire, RSSI, SNR, factor de dispersión, que permitieron establecer el alcance de cobertura de la pasarela. El entorno de medida y testing se implementó en Smartphone y pagina Web, empleando el modo de activación OTAA.

Resultados

Se consiguió determinar la cobertura de una pasarela LoRaWAN, integrada y configurada por el alumno, en un entorno urbano y se determinaron sus ventajas, alcance y limitaciones.

Con la información de las mediciones realizadas y cálculo de cobertura, se determinó el dimensionamiento para una red LoRaWAN en un entorno urbano, tomando como ejemplo la ciudad de Valencia.

En el establecimiento de la comunicación entre la pasarela y nodo terminal LoRa/LoRaWAN, se logró enviar información con acuse de recibo (ACK), logrando decodificar la información en una aplicación para Smartphone y página Web. Analizando posibles campos de aplicación y las limitaciones que tiene la tecnología LoRaWAN.

Líneas futuras —

Para futuros trabajos se plantea la evaluación de la capacidad, consumo de energía y viabilidad de implementar redes con pasarelas y nodos terminales LoRa/LoRaWAN, desarrollados con componentes COTS, para la implementación en contenedores inteligentes en entornos urbanos.

También se propone una evaluación sobre las posibles vulnerabilidades en seguridad, en componentes COST, que podrían acarrear la implementación de redes LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos.

Abstract

Internet of Things (IoT) will interconnect large quantities of devices and due to the growing demand for low cost connectivity, LPWANs technologies are solutions that are characterized in providing a long range for a large number of devices, low power consumption and low cost between things. In the present TFM the evaluation of the LoRa / LoRaWAN technology is carried out; an integration is made between the components of its architecture, to evaluate a gateway made up of COST components (IC880A-SPI and Raspberry pi 3) together with an end node (iU880B), in an urban environment such as the city of Valencia, obtaining parameters such as flight time, RSSI, SNR, spreading factor, among others; allowing to determine the reach of the gateway in an urban area of the city. A dimensioning is made for a LoRaWAN network and a possible case of IoT application in the city of Valencia, using COST components.

Autor: Michael Andrés Moya Quimbita, email: michael.moyam@hotmail.com

Director 1: Palau Salvador Carlos, email: cpalau@dcop.upv.es

Fecha de entrega: 03-09-2018

I.	INTRODUCCIÓN.....	4
I.1.	ESTADO DEL ARTE.....	5
II.	LORA.....	6
II.1.	LORAWAN.....	6
II.2.	ARQUITECTURA LORAWAN.....	7
II.3.	CAPACIDAD DE LA RED.....	8
II.3.1.	FACTOR DE DISPERSIÓN – SPEANING FACTOR (SF).....	8
II.3.2.	CANALES Y VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN.....	9
II.3.3.	CLASES DE DISPOSITIVOS LORAWAN.....	11
II.3.4.	SEGURIDAD LORAWAN.....	11
II.3.5.	MODOS DE ACCESO - RED LORAWAN.....	11
III.	DISPOSITIVOS Y RED LORAWAN.....	13
III.1.	EQUIPOS DE TRABAJO.....	13
III.1.1.	PASARELA LORA.....	13
III.1.2.	MODULO USB IU880B.....	15
III.1.3.	SOFTWARE WIMOD LORAWAN ENDNODE STUDIO.....	15
III.1.4.	ANTENA.....	16
III.2.	SERVIDORE DE RED.....	16
III.3.	APLICACIÓN.....	17
III.4.	DIMENSIONAMIENTO DE COBERTURA.....	17
IV.	PRUEBAS DE COBERTURA.....	21
IV.1.	CONFIGURACIÓN DE LA PASARELA.....	21
IV.2.	COMUNICACIÓN ENTRE PASARELA Y DISPOSITIVOS FINALES.....	23
IV.2.1.	INFORMACIÓN A ENVIAR.....	24
IV.3.	PRUEBAS Y RESULTED DE COBERTURA.....	25
IV.3.1.	RESULTADOS DE PRUEBAS DE COBERTURA.....	27
IV.3.2.	APLICACIONES.....	29
IV.3.3.	THROUGHPUT.....	30
IV.4.	ALCANCE, LIMITACIONES Y VENTAJAS DE LA PASARELA LORAWAN.....	31
V.	DESPLIEGUE DE LORAWAN EN LA CIUDAD DE VALENCIA.....	33
V.1.	USO PRÁCTICO DE LA RED LORAWAN.....	35
V.1.1.	PROBLEMÁTICA.....	35
V.1.2.	SOLUCIONES.....	35
VI.	CONCLUSIONES.....	36
	AGRADECIMIENTOS.....	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	37

I. INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo de la tecnología en el transcurso de estos últimos años, ha llevado al Internet of Things (IoT) a ser una de las áreas de aplicación más prometedoras en tecnologías de la información para futuros productos y servicios. IoT trae el concepto de un mundo donde los objetos sean inteligentes y conectados con la capacidad de compartir información mediante la interoperación de varios sistemas de comunicación, dominios, plataformas y protocolos. [1][2][3]

Debido a la creciente demanda de conectividad de bajo costo, se crea la necesidad de nuevas tecnologías inalámbricas capaces de soportar una gran cantidad de dispositivos en el entorno IoT. Las LPWANs (Low-Power Wide Area Networks), son tecnologías caracterizadas por brindar un largo alcance para un gran número de dispositivos, bajo consumo de potencia y bajo coste entre objetos (things).

Dentro de las tecnologías que abarca LPWANs se encuentran, LoRa/LoRaWAN, Sigfox, Weightless, Ingenu RPMA, DASH-7. En las redes de área amplia (WAN), existen tecnologías celulares bien conocidas (2G, 3G, 4G), con nuevas mejoras en sus funciones como Enhanced Machine-Type Communication (eMTC) y Narrowband Internet of Thing (NB-IoT), esta última una solución licenciada que cohabita con tecnologías heredadas como GSM, GPRS y LTE, aprovechando su infraestructura actual. Sigfox y LoRa/LoRaWAN son tecnologías no licenciadas que requieren de una infraestructura propia, siendo una solución para redes de baja tasa de transferencia de datos y escasas exigencias con respecto a latencia.[4]

LoRa y LoRaWAN no son lo mismo. LoRa es un esquema de modulación de espectro ensanchado, siendo una capa física de implementación y es independiente de las implementaciones de capa superior. Su principal ventaja radica en la capacidad de largo alcance. La modulación LoRa puede ser utilizada como capa física por muchas arquitecturas de protocolos diferentes. [1][5] LoRa/LoRaWAN, define un protocolo de comunicación y arquitectura, Fig. 1, que está siendo estandarizado por LoRa Alliance, siendo un protocolo de comunicación cada vez más utilizado en el concepto de IoT. El protocolo incluye funciones que admiten comunicaciones bidireccionales de bajo costo, móviles y seguras para IoT, machine-to-machine (M2M), Smart City y aplicaciones industriales. El protocolo LoRaWAN está optimizado para un bajo consumo de energía y está diseñado para escalar desde una única pasarela (Gateway) hasta grandes redes globales con miles de millones de dispositivos. Las características innovadoras de la especificación LoRaWAN además incluyen soporte para operación redundante, bajo costo y geolocalización. [6][7]

En el presente trabajo de investigación, se efectúa análisis un sobre las publicaciones y proyectos más recientes relacionados con el desempeño, despliegue y aplicaciones de la tecnología LoRa/LoRaWAN. Así mismo, se emplea una pasarela LoRa/LoRaWAN conformada por módulo concentrador de (IC880A-SPI) y una Raspberry pi 3, junto con un nodo terminal (módulo iU880B) para

evaluar sus prestaciones en un entorno urbano. Posteriormente realizará un estudio del despliegue de la tecnología LoRaWAN, tomando como escenario la ciudad de Valencia y posibles campos de aplicación.

I.1. *ESTADO DEL ARTE*

Existen diferentes trabajos relacionados con evaluaciones de prestaciones de la tecnología LPWAN. En los trabajos [1] [2] [4] [5] [8] se realiza un análisis de la tecnología LoRa y LoRaWAN sobre sus conceptos básicos. En [2] además se efectúa una revisión sobre las recientes tendencias en la investigación y aplicación de LoRa, en el cual se propone un nuevo método para clasificar los trabajos de investigación en diferente categoría, donde, por el número de publicaciones analizadas, se puede decir que en la actualidad, la investigación sobre la evaluación técnica y el despliegue real de LoRa es una de las tendencias de investigación más desarrolladas. En el documento [4] también se realiza un análisis y comparación entre las distintas tecnologías emergentes para el entornos IoT.

En el trabajo [6], se realiza evaluación del rendimiento y análisis de sostenibilidad de la tecnología LoRa, en la cual se emplea un simulador, donde se determina que para el caso de una red distribuida a gran escala en un área geográfica grande con miles de nodos, el número de colisiones puede elevarse, lo que afecta negativamente a la capacidad del canal de comunicación.

En el trabajo [9] se realiza un análisis de los límites técnicos de LoRaWAN y las oportunidades que ofrece desde un punto de vista de nivel de enlace y de sistema, centrándose específicamente en entornos rurales. Mediante una evaluación experimental, seguida de una simulación. Se determina que, empleando un solo Gateway en un área 46,5 km, utilizando valores más grandes de SF para cubrir los nodos lejanos, lleva a una eficiencia mucho menor en el uso del recurso espectral. Pero empleando 4 Gateway en la misma área, introduce una mejora notable en la capacidad de la red.

En el documento [10], se presenta el estudio en una Campus universitario, Lille en el Norte de Francia, (145 edificios, 325000 m²) empleando un Gateway, proporciona buen rendimiento en la mayor parte del Campus, donde se detectó que las señales deficientes dependen de la presencia de edificios importantes que perturban localmente la calidad de la transmisión de datos; conclusiones a las que se llega también en el trabajo [11]. En el documento [10] también se realizan pruebas en interiores (alrededor de 18000 m²) obteniendo de igual manera un buen desempeño.

En [12] evalúan la capacidad de LoRaWAN, manejando grandes cantidades de tráfico generados por sensores, desplegados en un entorno urbano denso. Logrando demostrar que una implementación de LoRa, a escala real, se podría transmitir datos de manera confiable en un 90% o más.

En el documento [13] se realizaron simulaciones y pruebas de cobertura en las ciudades de Córdoba y Buenos Aires, donde se estimaron la cobertura de RF para una red LoRaWAN.

En los trabajos [14]–[16][17] se evalúan las prestaciones de la tecnología LoRaWAN. Además se construyen y se evalúan dispositivos LoRaWAN para ser aplicados en diferentes entornos.

II. LORA

LoRa, de las siglas Long Rate, es la capa física o modulación inalámbrica empleada para crear enlaces de largo alcance. La modulación LoRa, patentada por la empresa Semtech, se basa en la técnica de espectro ensanchado (Frequency Shifting Keying - FSK) y una variación del espectro extendido chirp (chirp spread spectrum-CSS), en la cual se mantiene las características de baja potencia de la modulación FSK, pero consiguiendo un rango de comunicación más significativo; también emplea corrección integrada de errores (Forward Error Correction-FEC). [2] [5][8]

LoRa emplea una velocidad de datos (data rate) variable, manejando factores de dispersión (spreading factor SF) ortogonales, permitiendo al diseñador del sistema intercambiar la velocidad de datos por el rango o potencia, a fin de optimizar el rendimiento de la red en un ancho de banda constante; opera en los anchos de banda ISM (Industrial, Scientific, and Medical) (USA: 915MHz, EU: 433MHz y 868MHz), Fig. 1. La naturaleza de banda ancha permite compensar una mejor relación señal/ruido (SNR) lo que permite a LoRa demodular las señales incluso cuando está a 19,5 dB por debajo del piso de ruido. [2][5][8]

Con un único Gateway o estación base se puede cubrir cientos de kilómetros cuadrados o incluso ciudades enteras. El alcance también depende en gran medida del entorno y del grado de obstrucciones que presente un lugar determinado.[2]

II.1. LORAWAN

LoRa Alliance ha estandarizado el protocolo MAC llamado LoRaWAN. La capa física, LoRa, es la encargada de habilitar el enlace de comunicación de largo alcance, mientras que LoRaWAN define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema de red, Fig. 1., siendo aspectos determinantes en la vida útil de la batería de un nodo (LoRa -Thing), como también en la capacidad de la red, la calidad del servicio (QoS), la seguridad y la variedad de aplicaciones que pueden ser atendidas por la red.[8][14]

LoRaWAN garantiza velocidades de datos de 0,3 kbps hasta 50 kbps, que se consideran aceptables para el envío de datos de sensores en tiempo real en IoT, Machine-to-Machine (M2M), Smart cities y aplicaciones industriales. Sin embargo, la transmisión de datos de imagen en tiempo real, o cualquier dato que requiera un gran ancho de banda, puede no ser adecuado en redes LoRa. Ésta baja velocidad de datos asegura el bajo consumo de energía de los dispositivos finales, permitiendo el uso de baterías con una vida útil de batería de varios años, ya que LoRa/LoRaWAN está diseñada para sensores y aplicaciones que necesitan enviar pequeñas cantidades de datos a largas distancias, varias veces por hora y desde distintos entornos. [1][2][8]



Fig. 1. Protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema de LoRaWAN [2]

II.2. ARQUITECTURA LORAWAN

Generalmente la red LoRaWAN tiene una topología estrella. La arquitectura la conforman las pasarelas (Gateways), los nodos finales (LoRa Thing), servidor de red, servidor de aplicación como se muestra en la Fig. 2. En una red LoRaWAN, los nodos no están asociados con un Gateway específico, por lo cual, los datos transmitidos por un nodo son típicamente recibidos por múltiples Gateways. Cada Gateway reenviará el paquete recibido desde el nodo final al servidor de red, a través de una red de retorno (Backhaul) ya sea celular, Ethernet, satelital o Wi-Fi.

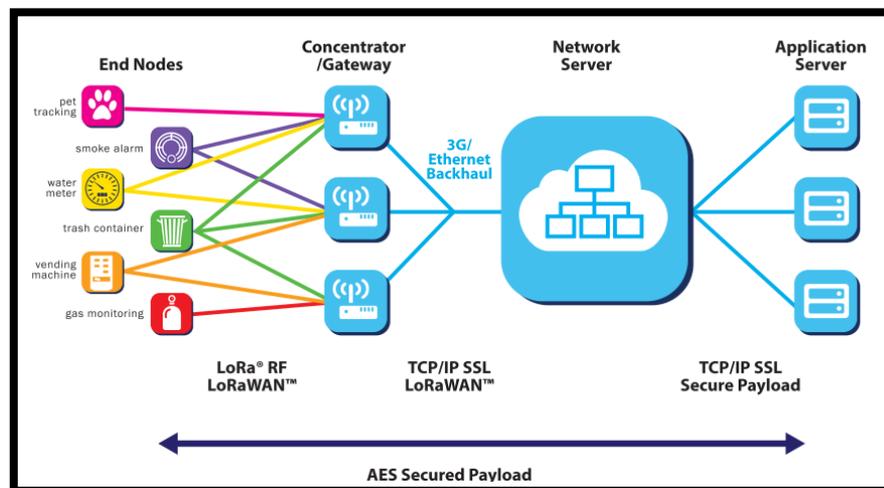


Fig. 2. Arquitectura de red LoRaWAN [7]

La inteligencia y la complejidad están a cargo del servidor de red. Su tarea es gestionar la red y filtrar los paquetes redundantes recibidos, realizar comprobaciones de seguridad, programar confirmaciones a través del Gateway óptimo y realizar adaptación a la velocidad de datos (Adaptive Data Rate –ADR), etc. Si un nodo es móvil o está en movimiento, no se necesita ningún handover de Gateway a Gateway, ya que es una característica fundamental para trabajar con aplicaciones de seguimiento de activos en IoT. [6][8]

La adaptación a la velocidad de datos (ADR) es un mecanismo para optimizar las tasas de datos, el tiempo aire y el consumo de energía en la red. La ADR debe habilitarse siempre que un dispositivo final tenga condiciones de RF suficientemente estables.[18]

II.3. CAPACIDAD DE LA RED

La viabilidad de la topología estrella para recibir mensajes de un volumen elevado de nodos finales de largo alcance, está enfocada en la capacidad del Gateway. La alta capacidad de una red LoRaWAN se logra mediante adaptación a la velocidad de datos (ADR) y mediante el uso de un transceptor multicanal (multi-módem) en el Gateway para que se puedan recibir mensajes simultáneos en múltiples canales. Los factores que afectan la capacidad de la red son el número de canales concurrentes, velocidad de datos (data rate), tiempo en aire, la longitud de la carga útil (payload) y la frecuencia con la que transmitan los nodos. [8]

La normativa ETSI en Europa tiene como objetivo cumplir un ciclo de trabajo del 1% para dispositivos finales y del 10% para pasarelas. Un ciclo de trabajo es una limitación en la ocupación del canal para permitir que todos tengan acceso al recurso. Otra limitación es la potencia de transmisión máxima de 14 dBm para evitar difuminar el espectro.[10]

II.3.1. FACTOR DE DISPERSIÓN – SPREADING FACTOR (SF)

Uno de los parámetros más importantes que afectan el rendimiento a nivel físico, es el factor de dispersión (SF), es decir, la relación entre el ancho de banda de la señal y la velocidad de símbolos. Manteniendo el ancho de banda constante, es posible mejorar la sensibilidad del receptor aumentando el tiempo en aire (duración de la transmisión de un paquete). Más precisamente, cada incremento del SF en una unidad, en LoRa desde el valor mínimo 7 hasta el valor máximo 12, corresponde a una duplicación del tiempo en aire y una disminución de la sensibilidad del receptor de aproximadamente 3 dB, Tabla 1.[9]

SF	Tasa de bits equivalente (kb/s)	Sensibilidad (dBm)
12	0.293	-137
11	0.537	-134,5
10	0.976	-132
9	1.757	-129
8	3.125	-126
7	5.468	-123

Tabla 1. Relación entre SF y sensibilidad [5]

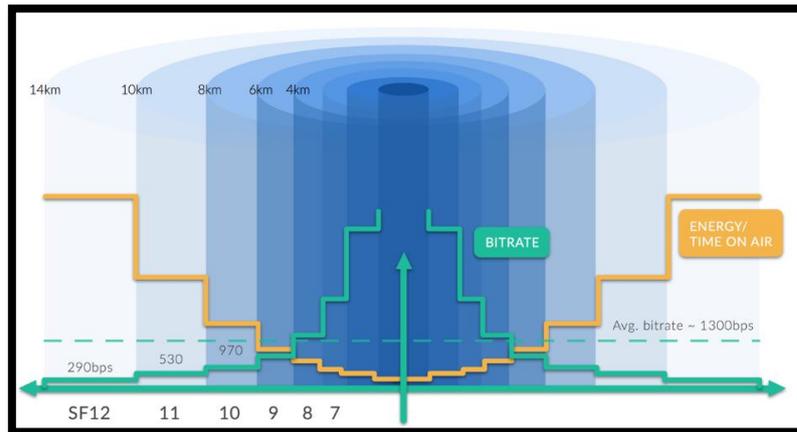


Fig. 3. LoRa Spreading Factors [19]

Tomando en cuenta que la combinación de diferentes SF y anchos de banda en la señal da como resultado diferente data rate, es posible el uso de adaptación dinámica de velocidad de datos (ADR). Esto quiere decir que, los nodos LoRa que se encuentran a grandes distancias de la pasarela deben usar SF superiores y, por tanto, tienen una velocidad de datos menor, con un mayor tiempo en aire, siendo la señal más sólida frente a interferencias. Los nodos LoRa que se encuentran más cerca de la pasarela pueden usar SF más bajos y, por tanto, pueden aumentar su velocidad de datos, con un menor tiempo en aire, permitiendo un menor consumo de energía, Fig. 3. Estas características permiten que se pueda construir redes con topologías estrella o estrella múltiples fáciles de manejar sin la necesidad de enrutadores o repetidores. [20] [21]

II.3.2. CANALES Y VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN

La separación de los canales físicos utilizando el mecanismo del SF es muy eficiente. Por lo tanto, dos paquetes enviados al mismo tiempo en el mismo canal utilizando diferentes SF no interferirán entre sí y se recibirán correctamente. En otras palabras, un nodo puede transmitir por cualquier canal y empleando cualquier bit rate (velocidad de datos), siempre que se lleve a cabo condiciones como:

- Para cada transmisión el nodo debe cambiar de canal de forma pseudo-aleatoria.
- El nodo debe estar por debajo del máximo ciclo de transmisión y del tiempo máximo de transmisión en relación a la sub-banda empleada, además de seguir las regulaciones locales.

Los módulos Lora WAN, disponen de:

- 16 canales para: 433MHz y 868MHz (Europa)
- 72 canales para: 900MHz

En el presente trabajo se empleará la banda de 800MHz, ya que la pasarela LoRaWAN, compuesta por el módulo IC880A-SPI, únicamente trabaja en dicha banda [20]. La distribución de frecuencia se detalla a continuación en la Tabla 2.

Número de canal	Parámetros	Bandas de frecuencia	
		868 MHz	433 MHz
0	Frecuencia	868100 MHz	433175MHz
	Ciclo de trabajo	0.33%	0.33%
	Data Rate	0-5	0-5
	Estado	On	On
1	Frecuencia	868300 MHz	433375MHz
	Ciclo de trabajo	0.33%	0.33%
	Data Rate	0-5	0-5
	Estado	On	On
2	Frecuencia	868500 MHz	433575MHz
	Ciclo de trabajo	0.33%	0.33%
	Data Rate	0-5	0-5
	Estado	On	On
3-15	Frecuencia	868325 kHz - 869750 kHz	868325 kHz - 869750 kHz
	Ciclo de trabajo	*	*
	Data Rate	0-5	0-7
	Estado	Off	Off
$*T_{off} = \frac{Time\ on\ air}{DutyCycle\ subband} - TimeOnAir$			

Tabla 2. Canales para la banda de frecuencia de 868 MHz y 433 MHz – LoRa WAN [14][16][22]

*LoRaWAN impone una limitación de ciclo de trabajo por cada sub-banda dada. Al transmitir por una sub-banda una trama, se registran el tiempo en aire y el tiempo de emisión, de tal manera que la sub-banda no puede ser utilizada nuevamente durante Toff.[14]

En la Tabla 3, se detalla los valores de velocidad (data rate) para las bandas de frecuencia de la Tabla 2.

	Data rate	Configuración	Bit rate [bps]
LoRa	0	SF12 / 125 kHz	250
	1	SF11 / 125 kHz	440
	2	SF10 / 125 kHz	980
	3	SF9 / 125 kHz	1760
	4	SF8 / 125 kHz	3125
	5	SF7 / 125 kHz	5470
	6	SF7 / 125 kHz	11000
FSK	7	50kbps	50000

Tabla 3. LoRaWAN - Data Rate (Libelium) [22]

II.3.3. CLASES DE DISPOSITIVOS LORAWAN

Los dispositivos o nodos finales, sirven a diferentes dominios de aplicaciones y requieren ciertos requisitos. LoRaWAN emplea diferentes clases de dispositivos para optimizar una variedad de perfiles de aplicación finales. Se definen tres clases de dispositivos:

Dispositivos Clase A: Son dispositivos finales bidireccionales. Los dispositivos finales, después de la transmisión de un paquete (Uplink), abren dos ventanas de recepción (Downlink) para aceptar un acuse de recibo (ACK) o aceptar datos de la puerta de enlace si es necesario, posteriormente permanece en modo inactivo hasta la siguiente transmisión. Los instantes de tiempo o slots de transmisión, son aleatorios de acuerdo a las necesidades de comunicación del dispositivo final (Protocolo ALOHA). Es la clase más eficiente tomando en cuenta el consumo de energía, pero tiene el mayor tiempo de latencia. [8][9]

Dispositivos Clase B: Son dispositivos finales bidireccionales que, además de las ventanas de recepción aleatorias de la clase A, tienen la capacidad de abrir ventanas de recepción en horas programadas, debido a que no requieren enviar un paquete Uplink para tener la capacidad de recibir datos en el dispositivo final (Downlink). Para poder abrir la ventana de recepción en el dispositivo final, el Gateway envía balizas (beacon) sincronizadas en el tiempo, permitiendo saber cuándo está escuchando el dispositivo final, por tal razón su consumo de energía es mayor que la clase A. [8]

Dispositivos Clase C: Son dispositivos finales bidireccionales con ventana de recepción (Downlink) casi continuamente escuchando. Es decir, pueden recibir datos los dispositivos finales casi todo el tiempo excepto cuando éstos transmiten (Uplink). Los tiempos de latencia son menores pero implica un mayor consumo de energía con respecto a las clases A y B. Por lo general estos dispositivos deben usar una fuente de alimentación externa. [2] [8]

II.3.4. SEGURIDAD LORAWAN

Es extremadamente importante incorporar seguridad para cualquier LPWAN. La seguridad del protocolo de red LoRaWAN se basa en IEEE 802.15.4, ampliándose mediante la utilización una capa de seguridad para la red y otra capa de seguridad para la aplicación. La autenticidad del dispositivo final (nodo) en la red, es garantizada por la capa de seguridad de la red y para garantizar que el operador de la red no tenga acceso a los datos de la aplicación del usuario final, se emplea la capa de seguridad de aplicación; se utiliza el estándar de cifrado AES para cada dispositivo final LoRaWAN. [2][8]

II.3.5. MODOS DE ACCESO - RED LORAWAN

Se presentan dos modos para que un dispositivo final pase a integrar parte de una red LoRaWAN [18].

El modo Activation by Personalization (ABP), es el modo más sencillo, donde sus parámetros son:

- (DevAddr): dirección del nodo, es conocida tanto por el nodo terminal como por el servidor de red.
- (NwkSKey): Network Session Key, clave de cifrado entre el nodo terminal y la red. Es utilizada para verificar la validez de los mensajes.

- Application Session Key (AppSKey): Es la clave de cifrado entre nodo terminal y la aplicación en la red. Se utiliza para el cifrado y descifrado de la carga útil (payload). Permitiendo que solo el usuario pueda conocer el contenido del mensaje.

El dispositivo terminal envía datos hacia el Gateway, valida que los datos correspondan a la sesión, si es correcta se procesan los datos.

El modo Over-the-Air activation (OTAA), es el modo más seguro de conectarse a la red, sus parámetros son:

- DevEui: (end-device identifier unique, indentificador) de fábrica único para cada dispositivo.
- AppEUI: Identificador de aplicación único, consta de 64 bits para clasificar los dispositivos por aplicación.
- AppKey: Es una clave secreta, AES de 128 bits. Compartida entre el dispositivo terminal y la red. Se emplea para determinar la clave de sesión.

El dispositivo terminal al solicitar unirse a la red (join network) con los datos de configuración, se abre una ventana de recepción. El Gateway recibe la solicitud y se envía al servidor de red para que realice la verificación del estado de alta del dispositivo terminal y que la clave secreta sea correcta. Si es correcta, se genera una sesión temporal y se envía al terminal por medio del Gateway. El dispositivo terminal recibe la sesión temporal y puede empezar a transmitir datos a la red.[18]

III. DISPOSITIVOS Y RED LORAWAN

En éste capítulo se describe los dispositivos (pasarela y nodo final), así como el software empleado para realizar evaluaciones de la tecnología LoRaWAN en un sector urbano de la ciudad de Valencia. También se describe la arquitectura de la red LoRaWAN. Y como último punto de este capítulo, se realiza un dimensionamiento de cobertura de la red con los parámetros de los dispositivos a emplearse.



Fig. 4. Pasarela LoRaWAN y módulo USB iU880B

III.1. EQUIPOS DE TRABAJO

Para el desarrollo del presente trabajo se emplean los equipos proporcionados por el Departamento de Comunicaciones de la UPV, Fig. 4, estos son: una pasarela LoRa que se describe su construcción en el trabajo [16] con un costo de montaje de € 240,00 aproximadamente, y un adaptador USB iU880B (€ 64,00) que actúa como un dispositivo final en la red LoRaWAN.

III.1.1. PASARELA LORA

Se empleara una pasarela (Gateway) conformada principalmente por un módulo concentrador IC880A, y una placa Raspberry Pi 3 (host), Fig. 5.

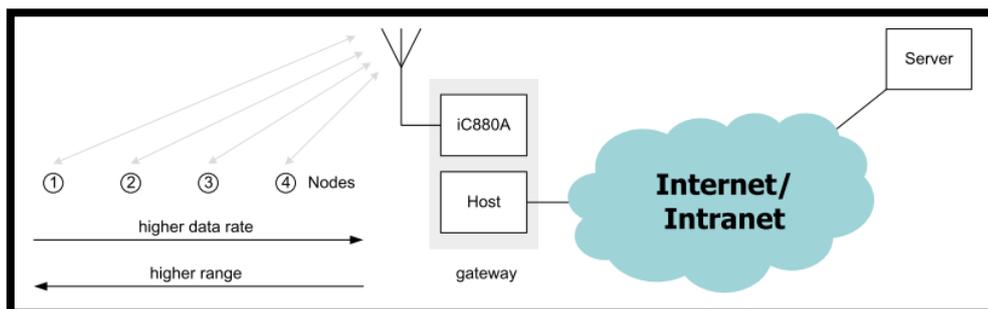


Fig. 5. Red LoRaWAN [20]

III.1.1.1. CONCENTRADOR IC880A-SPI

El módulo concentrador LoRa IC880A-SPI tiene la capacidad de recibir paquetes de diferentes dispositivos finales así como envío de paquetes con diferentes factores de propagación (SF) hasta en ocho canales en paralelo. [16]

Características principales del concentrador LoRa IC880A-SPI [16]:

- Tamaño compacto 79.8 x 67.3 mm
- Banda de frecuencias 868MHz
- Tecnología de modulación LoRa
- Sensibilidad hasta -138 dBm
- Procesador de banda base SX1301
- Factores de propagación ortogonales
- Interfaz SPI
- Tensión de alimentación 5 V
- Nivel de potencia de salida de hasta 20 dBm
- Rango de varios en entornos urbano
- Compatible con la señal transmitida por la familia de chips SX1272 (iM880A-L) y SX1276.

En la siguiente Tabla 4, se presentan los niveles de sensibilidad para el receptor de radio frecuencia del módulo concentrador iC880A.

Signal Bandwidth/[kHz]	Spreading Factor	Sensitivity/[dBm]
125	12	-137
125	7	-126
250	12	-136
250	7	-123
500	12	-134
500	7	-120

➤ Tabla 4. Rendimiento de radio - iC880A [20]

III.1.1.2. RASPBERRY PI 3 (HOST)

La placa Raspberry PI 3 presenta una tarjeta microSD con el software Raspbian Jessie Lite, además cuenta con el protocolo SSH para inicio de sesión remoto. Las características principales de la Raspberry PI son [16]:

- Quad Core de 1,2 GHz Broadcom BCM2837 CPU de 64 bits
- 1 GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth Low Energy (BLE)
- Puerto micro SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
- Puerto HDMI
- 4 puertos USB
- 4 polos salida estéreo y puerto de vídeo compuesto
- 40-pin GPIO extendido
- Fuente de alimentación conmutada actualizado Micro USB de hasta 2,5 A

III.1.2. MODULO USB IU880B

El módulo radio iU880B es un adaptador USB compacto, de baja potencia, y bidireccional para la banda de frecuencia de 868 MHz que utiliza tecnología de modulación LoRa. El adaptador proporciona comunicación de espectro ensanchado de ultra-largo alcance y alta inmunidad a interferencias. Las características principales son [23]:

- Tecnología de modulación LoRa
- USB interface
- Antena Integrada
- Amplificador de poder integrado: +20dbm
- Rango de voltaje de suministro de: 4,0 a 5,25 V
- Características de radio frecuencia del transmisor:
- Rango de frecuencia de: 868MHz -870MHz
- Potencia de salida RF (EIRP), banda 868 MHz, típica : 19dBm
- El ciclo de trabajo de la transmisión a la máxima potencia de salida está limitado al 1%.

El módulo iU880B emplea la técnica modulación Lora. Ofrece tres tipos de anchos de banda de 125 kHz, 250 kHz, y 500 kHz con un rango del factor de dispersión (SF) de 7 a 12.

Spreading Factor (SF)	Chip/symbol	SNR/[dB]
7	128	-7,5
8	256	-10
9	512	-12,5
10	1024	-15
11	2048	-17,5
12	4096	-20

Tabla 5. Factor de Dispersión iU880B [23]

Para una detección y corrección de errores emplea un esquema de codificación de error cíclica con diferentes velocidades de codificación. A continuación se presentan los valores.

Coding Rate	Cyclic Coding Rate	Overhead Ratio
1	4/5	1.25
2	4/6	1.5
3	4/7	1.75
4	4/8	2

Tabla 6. Tasa de codificación iU880B [23]

III.1.3. SOFTWARE WIMOD LORAWAN ENDNODE STUDIO

El software WiMOD LoRaWAN EndNode Studio, Fig. 13, es una aplicación para Windows que puede ser usada en combinación con el módulo radio iU880B para explorar sus capacidades, ofreciendo una forma cómoda de configurar y controlar características como [24]:

- Modos de activación OTTA o ABP

- Encriptación y Autenticación
- Transmisión de datos no confirmada
- Transmisión de datos confirmada
- Adaptación de velocidad de datos –ADR
- Recepción de datos y ACK
- Ahorro de energía
- Clase A y Clase C

III.1.4. ANTENA

Un aspecto muy importante de la pasarela es la antena, que se empleará, Fig. 4. Para este caso se utiliza una antena que trabaja en la frecuencia de 868 MHz, de 7.5 dBi (280mm) con radiación omnidireccional, junto con un cable pigtail para conectarlo al módulo concentrador iC880A-SPI.

III.2. SERVIDORE DE RED

Para poder integrar las pasarelas como nodos terminales y conformar la red LoRaWAN, se requiere de un servidor de red. The Things Networks (TTN), iniciativa de establecer una red mundial de IoT-LPWAN, es una plataforma Open source, donde se permite construir e integrar una red de datos de IoT descentralizada, operada y propietaria por los usuarios.[25]

Los sistemas de back-end de TTN (Network Server –Fig. 2), son responsables de enrutar los datos de IoT entre dispositivos y aplicaciones. Para ello requieren de Gateways que trabajan como un puente entre protocolos de radio específicos e internet. Los protocolos que no son IP como LoRaWAN, requieren alguna forma de enrutamiento y procesamiento antes que los datos puedan ser entregados a una aplicación. Para ejecutar estas funciones de enrutamiento la visión de TTN es realizarlas de forma descentralizada y distribuida, como se muestra en la Fig. 6.

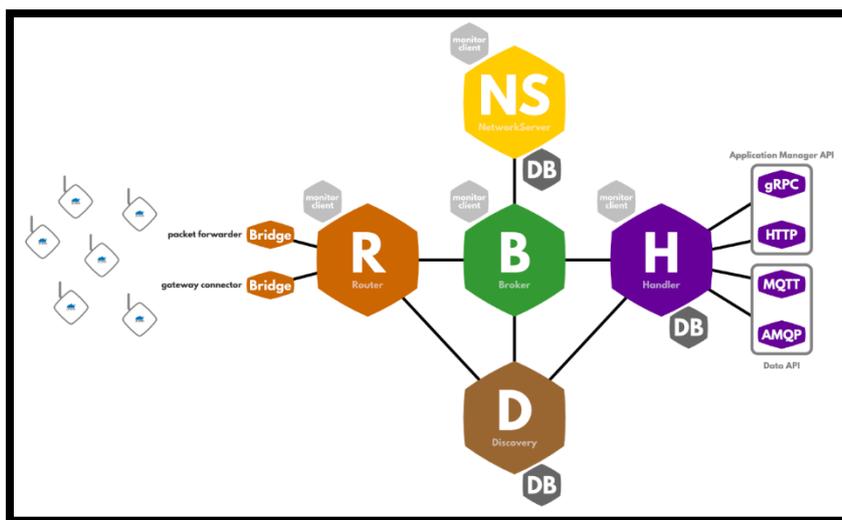


Fig. 6. Network Server - The Things Networks [18]

Los dispositivos finales (nodos), transmiten mensajes LoRaWAN a través del protocolo de radio LoRa, donde son recibidos por los Gateways. El Gateway envía las transmisiones de radio al back-end (servidor). Está conectado a un enrutador (R). El Router es el responsable de administrar los estados de los Gateways y programar las transmisiones. Cada Router es conectado a uno o más Brokers. Los Brokers (B) son la parte central de TTN. Su responsabilidad es asignar un dispositivo a una aplicación, reenviar mensajes de enlace ascendente (Uplink) a la aplicación correcta y enviar mensajes de enlace descendente (Downlink) al Router correcto, y este envía al Gateway. El Network Server (NS) es responsable de la funcionalidad que es específica para LoRaWAN. Un Handler es responsable de manejar los datos de una o más Aplicaciones, en que para hacerlo debe conectarse a un Broker donde registra aplicaciones y dispositivos. El Handler (H) es el punto donde los datos son encriptados o desencriptados.[18]

III.3. APLICACIÓN

Para realizar las mediciones de cobertura de la pasarela LoRaWAN, se empleará la aplicación de “TTN Mapper” la cual se configura para cargar información de del nodo terminal (ubicación, RSSI y SNR) desde el servidor de red, back-end TTN, y con la información recolectada, poder proporcionar un mapa de cobertura real del Gateway.[26]

Otra de las aplicaciones a emplear es “Cayenne” que opera como un servidor de aplicaciones, permite crear y configurar prototipos de IoT para ser llevados posteriormente a producción.[27]

En el capítulo IV.3.2, de las integraciones de las aplicaciones con el servidor de red de TTN, se aprecian los resultados obtenidos de testing realizadas.

III.4. DIMENSIONAMIENTO DE COBERTURA

En esta sección se pretende tener una noción del alcance que se debería esperar de una pasarela LoRa con los parámetros de los dispositivos a emplearse. Se procederá a calcular el radio máximo de cobertura, para ello es necesario determina el presupuesto del enlace.

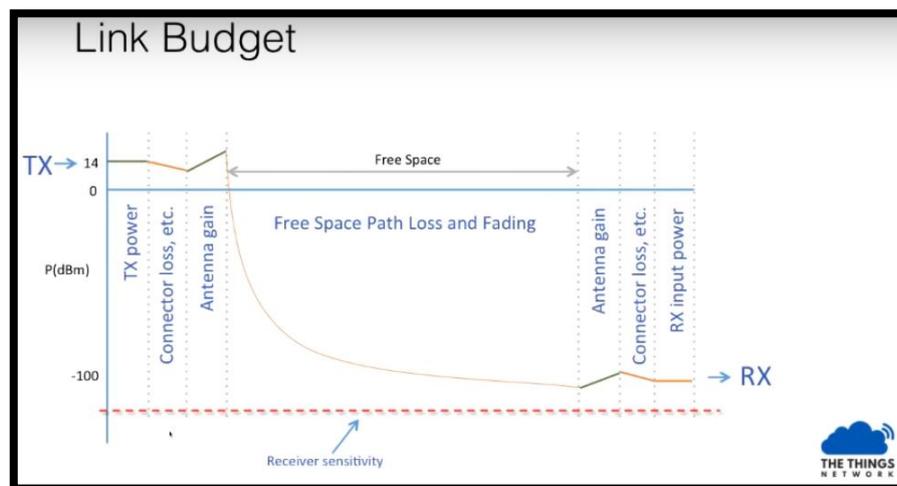


Fig. 7. Link Budget – Presupuesto del enlace [19]

Como se parecía en la Fig. 7, el Link Budget (Presupuesto del enlace) de un sistema o red inalámbrica, es una medida de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor, a través del canal de propagación, hasta el receptor de destino.[5][19]

Para el cálculo del presupuesto del enlace, es necesario conocer la máxima pérdida por trayecto (Path Loss) que está dado por:

$$PathLoss_{max}(dB) = E_{iRP-Tx} - Sensibilidad-Rx \quad (1)$$

La Potencia Isótropa Radiada Equivalente (EIRP o PIRE) está dada por la potencia de radio (PowerTX), la ganancia de la antena (G) y las pérdidas (L):

$$E_{iRP-Tx}(dBm) = PowerTx(dBm) + G(dB) - L(dB) \quad (2)$$

La sensibilidad o Noise Floor en sensibilidad de LoRa [5], está dada por:

$$Sensibilidad-Rx(dBm) = -174 + 10 \log(B) + SNR + NF \quad (3)$$

Donde:

- B: ancho de banda del canal (Hz), 125kHz (Tabla 3)
- SNR: Relación señal ruido del demodulador, -20dB para SF12
- NF: figura de ruido, 6dB (SX1272 y SX1276 típica para Lora) [5]

Aplicando estos valores en la ecuación (3) se obtiene:

$$Sensibilidad-Rx: -174 + 10 \log(125) - 20 + 6 = -137(dBm) \quad (4)$$

Tomando los parámetros de los equipos a emplearse, pasarela LoRaWAN y módulo iU880B, para radioenlace Uplink estos son:

- Banda de frecuencia (LoRa): 868 MHz
- Sensibilidad de Rx (pasarela): -137dBm, para SF12, (Tabla 4)
- Potencia de transmisión de Tx (EIRP) (nodo): + 14dBm (limite Recomendación ERC)

Aplicando en la ecuación (17), da como resultado:

$$PathLoss_{max}(dB) = 14 + 137 = 151(dB) \quad (5)$$

Con este resultado se entiende que, podría perderse aproximadamente unos 150(dB) entre la señal transmitida y recibida, y sería factible demodular la señal. Por ejemplo, si se toma la fórmula de Pérdida de Trayecto en el Espacio Libre (FSPL)[15]:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44 \quad (6)$$

- d: es la distancia del receptor del transmisor (km)
- f: es la frecuencia de la señal (MHz)

Con dicha fórmula, se obtendría una señal que podría recorrer 800Km y el receptor sería capaz de demodular. Pero en la realidad al no existir el Espacio Libre como tal en una ciudad urbana, se consideran las pérdidas por multitrayecto, desvanecimiento, zonas de Fresnel, etc., los cuales son provocados por obstáculos típicos (árboles, edificios, etc.) que se observa en la ciudad. Dentro de las ventajas de la modulación LoRa destacan: la alta robustez a interferencias, resistencia al multitrayecto y desvanecimiento, resistente al desplazamiento Doppler, entre otras.[5] Para este caso solo se consideraran las pérdidas provocadas por los edificios que ronda los 20(dB), para estructuras de concreto. Por tanto, la ecuación (5) daría como resultado:

$$PathLoss_{max}(dB) = 14 + 137 - 20 = 131(dB) \quad (7)$$

Con el valor obtenido en la ecuación (7), se puede aplicar un modelo de predicción de propagación, para determinar la distancia desde la pasarela al punto en el cual se esperaría tener el valor de (Path Loss).

El modelo Okumura-Hata Cost 231[28], es un modelo de propagación de radio, dentro del rango de frecuencia de 800 MHz a 2000 MHz, que proporciona los valores de pérdidas, para este caso entre estación base (pasarela LoRaWAN) y un dispositivo móvil (LoRa nodo-thing). La fórmula está dada por:

$$L(dB) = 46,3 + 33,9 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) \quad (8)$$

Donde:

- f: frecuencia de transmisión (MHz)
- h_b : Altura de la antena de la pasarela en referencia al suelo (metros)
- h_m : Altura de la antena del nodo en referencia al suelo (metros)
- a(h_m) : Factor de corrección de la altura de la antena
- d : Distancia de la pasarela al nodo (km)

Para una ciudad mediana, como Valencia, el factor de corrección de la altura de la antena, a (h_m), esta formulado de la siguiente manera:

$$a(h_m) = (1,1 \log_{10}(f) - 0,7)(h_m) - 1,56 \log_{10}(f) + 0,8 \quad (9)$$

Para la implementación de la red LoRa se estiman valores a emplearse donde:

- h_b : 30m (altura promedio de los edificios en la ciudad de Valencia)
- h_m : 1,50m (altura - nodo LoRa)
- f: 868MHz

Y aplicando dichos valores a la ecuación (8) y (9) se obtiene:

$$a(h_m) = (1,1 \text{Log}10(868) - 0,7)(30) - 1,56 \text{Log}10(868) + 0,8 = \mathbf{0,01447} \quad (10)$$

$$L(dB) = 46,3 + 33,9 \text{Log}10(868) - 13,82 \text{Log}10(30) - a(0,01441) + (44,9 - 6,55 \text{Log}10(30)) \text{Log}10(d) \quad (11)$$

$$L(dB) = \mathbf{125,488 + 35,2249 \text{Log}10(d)} \quad (12)$$

Remplazando valores entre la ecuación (7) y ecuación (12), se obtiene la distancia, siendo el radio límite máximo.

$$131 = 125,448 + 35,2249 \text{Log}10(d) \quad (13)$$

$$d = \mathbf{1,434Km} \quad (14)$$

Con el resultado de la ecuación (14) se esperaría alcanzar un radio de cobertura de 1,434Km para la pasarela LoRaWAN. Los datos calculados en este subcapítulo se emplearán para el despliegue de cobertura en la ciudad de Valencia, capítulo 5.

IV. PRUEBAS DE COBERTURA

IV.1. CONFIGURACIÓN DE LA PASARELA

Una vez conocidos los equipos LoRa/LoRaWAN, servidores de red y aplicación que se empleará para integrar y evaluar las prestaciones de la red, así como el cálculo de cobertura para la ciudad, a continuación se procede con la configuración de la pasarela.[29]

Suministrada la fuente eléctrica a la pasarela, se procede a conectar a Internet el equipo vía Ethernet. En la misma red LAN se ingresa al equipo vía SSH para poder configurar sus actualizaciones, para este caso se emplea PuTTY, Fig. 8.

```
ttn@ttn-gateway: ~
login as: ttn
ttn@192.168.0.25's password:
Linux ttn-gateway 4.14.34-v7+ #1110 SMP Mon Apr 16 15:18:51 BST 2018 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
last login: Fri Jun 29 05:19:58 2018 from 192.168.0.22
ttn@ttn-gateway:~$
ttn@ttn-gateway:~$
ttn@ttn-gateway:~$
```

Fig. 8. Aplicación PuTTY

El identificador de la pasarela (Gateway-EUI, end-device identifier-unique), es de 64 bit y es único. La pasarela al funcionar con el software de configuración remota [29], requiere de cambios en el archivo JSON (JavaScript Object Notation) para establecer sus nuevas coordenadas, Fig. 9.

```
Rama: maestro gateway-remote-config / B827EBFFFE5850C0.json
MichaelMoya B827EBFFFE5850C0.json 29e33b1 on 31 May
2 contribuidores
19 líneas (18 sloc) | 435 bytes
Historia de la culpa cruda
1 {
2   "gateway_conf": {
3     "gateway_ID": " B827EBFFFE5850C0 ",
4     "servidores": [
5       {
6         "server_address": " router.eu.thethings.network ",
7         "serv_port_up": 1700 ,
8         "serv_port_down": 1700 ,
9         "serv_enabled": true
10      }
11     ],
12     "ref_latitude": 39.44700556 ,
13     "ref_longitude": -0.37297183 ,
14     "ref_altitude": 20 ,
15     "contact_email": " loragospv@gmail.com ",
16     "descripción": " TTN UPV "
17   }
18 }
```

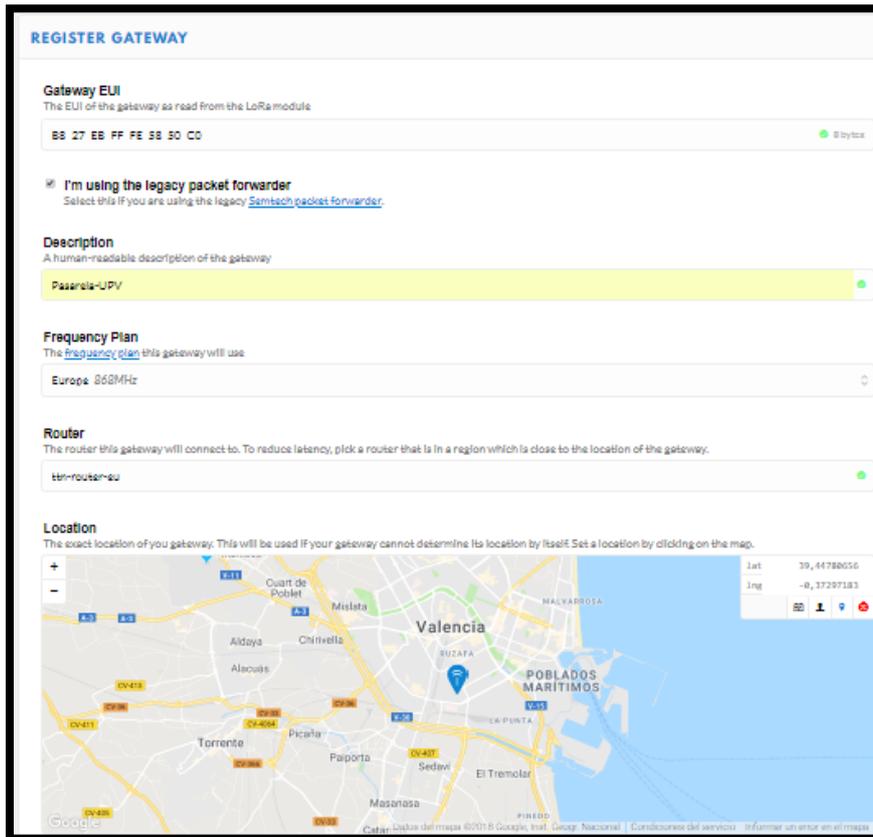
Fig. 9. Archivo JSON modificado

Modificado el archivo JSON, para actualizar la pasarela, se procede a ejecutar el instalador con las siguientes instrucciones, vía SSH:

```
$ cd ~/ic880a-gateway
```

```
$ sudo ./install.sh spi
```

Para verificar el comportamiento, el estado y tráfico de la pasarela, se registró en la consola de TTN con la información que se presenta en la siguiente imagen.



REGISTER GATEWAY

Gateway EUI
The EUI of the gateway as read from the LoRa module

B8 27 EB FF FE 58 50 C0

I'm using the legacy packet forwarder
Select this if you are using the legacy [Semtech packet forwarder](#).

Description
A human-readable description of the gateway

Pasarela-UPV

Frequency Plan
The [frequency plan](#) this gateway will use

Europe 868MHz

Router
The router this gateway will connect to. To reduce latency, pick a router that is in a region which is close to the location of the gateway.

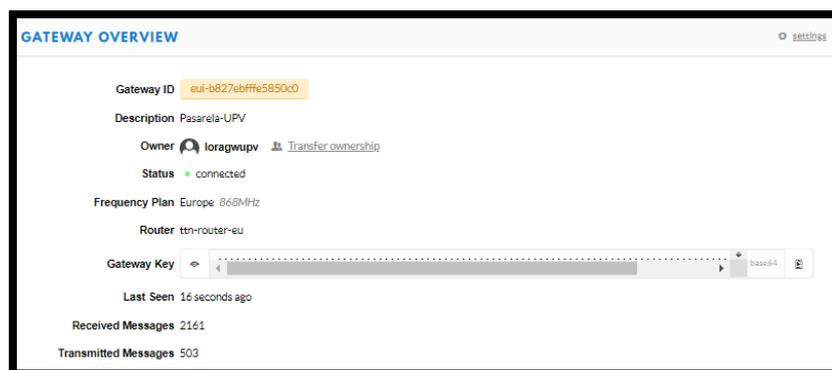
ttn-router-eu

Location
The exact location of your gateway. This will be used if your gateway cannot determine its location by itself. Set a location by clicking on the map.

Map showing Valencia, Spain. Coordinates: Lat: 39,41780056, Long: -0,37287183

Fig. 10. Registro de pasarela - TTN

Una vez registrada la pasarela, se puede observar en estado de “conectado” como se muestra en la siguiente imagen. Para modificar información se debe seleccionar “configuración”. [18]



GATEWAY OVERVIEW

Gateway ID: eui-b827ebfffe5850c0

Description: Pasarela-UPV

Owner: loragwupv [Transfer ownership](#)

Status: ● connected

Frequency Plan: Europe 868MHz

Router: ttn-router-eu

Gateway Key:

Last Seen: 16 seconds ago

Received Messages: 2161

Transmitted Messages: 503

Fig. 11. Estado de la pasarela en consola TTN

IV.2. COMUNICACIÓN ENTRE PASARELA Y DISPOSITIVOS FINALES

Para poder establecer comunicaciones entre la pasarela LoRaWAN y el nodo terminal (iU880B) se requiere generar una aplicación en la red, en la cual se registran los dispositivos. La aplicación se genera en el servidor de red (TTN), permitiendo realizar integraciones con diferentes plataformas IoT externas.

En la aplicación generada se agrega la información ID como EUI del nodo terminal (iU880B), empleando el método OTAA, Fig. 12. Seguidamente en EndNode Studio, se configuran la activación del nodo terminal, de igual manera por método OTTA, ingresando los datos de “Application EUI” como “Application key” generados al registrar el nodo terminal en la aplicación. Con los datos configurados, se procede a enviar un “Join Network” para establecer la comunicación en red entre el nodo terminal y la pasarela LoRaWAN. Fig. 13.

Fig. 12. Registro de módulo iU880B en consola TTN

No.	Port	Time	Event	Frequency	Data Rate	Airtime / Tx Power (TRX)
1	COM5	2018-08-11 23:36:36	Tx Join Done			
2	COM5	2018-08-11 23:36:41	Join Accept			
3	COM5	2018-08-11 23:36:42	Tx U-Data Done			
4	COM5	2018-08-11 23:36:44	Rx No Data			

Fig. 13. EndNode Studio- Configuración de módulo iU880B, método OTTA

IV.2.1. INFORMACIÓN A ENVIAR

Para el envío de datos el Low Power Payload (LPP) de Cayenne proporciona una forma conveniente de enviar datos a través de redes LPWAN como LoRaWAN. Permite que el dispositivo envíe múltiples datos del sensor a la vez. Además, el LPP de Cayenne permite que el dispositivo envíe datos de sensores diferentes en distintos frames. Para hacer eso, cada dato del sensor debe tener un prefijo de dos bytes [30]:

- Canal de datos: identifica de manera única cada sensor en el dispositivo a través de los frames, por ej. "Sensor interno"
- Tipo de datos: identifica el tipo de datos en el frame, ej. "temperatura".

La estructura de los datos de enlace ascendente (Uplink) se muestra en la siguiente imagen.

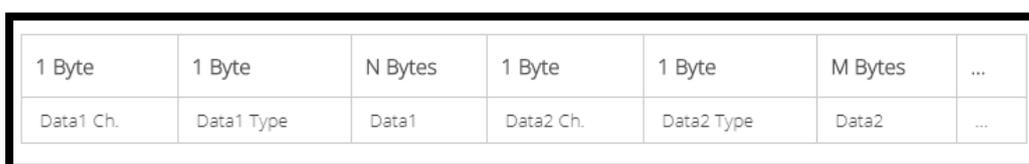


Fig. 14. Uplink Payload Structure [25]

Los tipos de datos cumplen con los lineamientos de la IPSO Alliance, que identifican cada tipo de datos con un "ID de Objeto", pero se realiza una conversión del ID de objeto para que solo se utilice un solo byte. Como ejemplo se muestran los siguientes objetos [30]:

Tipo	HIM	LPP	HEX	Tamaño de datos	Resolución de datos por bit
Sensor de temperatura	3303	103	67	2	0.1 °C Signed MSB
Barómetro	3315	115	73	2	0.1 hPa Unsigned MSB

Tabla 7. Ejemplos de conversión de datos LLP a HEX

Para el presente trabajo, en las pruebas de cobertura se simulará la información enviada por sensores de temperatura, por lo cual el Payload tendrá la siguiente estructura como se muestra en la siguiente Tabla 8.

Canal de datos	Tipo	Valor
01 ⇒ 1	67 ⇒ Temperatura	0110 = 272 ⇒ 27.2°C
03 ⇒ 3	67 ⇒ Temperatura	00FF = 255 ⇒ 25.5 °C
05 ⇒ 5	67 ⇒ Temperatura	010B = 267 ⇒ 26.7 °C

Tabla 8. Ejemplo de estructura de Payload a enviarse [30]

La estructura completa del paquete LoRa se detalla en [31] y [16].

IV.3. PRUEBAS Y RESULTED DE COBERTURA

Para evaluar la cobertura de la pasarela LoRa/LoRaWAN se lo ubicó en la segunda planta de un edificio residencial, 10 metros aproximadamente, del sector de Malilla, ciudad de Valencia, Figura 7., suministrado una conexión Ethernet para mantener comunicación con Network Server de TTN.

Para realizar las pruebas de cobertura se estableció los siguientes parámetros en el módulo iU880B a través del software de WiMOD LoRaWAN EndNode Studio:

- Frecuencia de transmisión a 868 MHz (europea)
- 14 dBm como potencia de transmisión máxima
- Retransmisiones máximas 15

Se fue variando el SF en las mediciones dependiendo la distancia del nodo con respecto a la pasarela LoRaWAN. Los datos que se envían desde el módulo iU880B a través de EndNode Studio, conforman un total de 25 bytes de Payload + ACK, del cual se confirmará la recepción de los datos, es decir una comunicación bidireccional, Fig. 15.

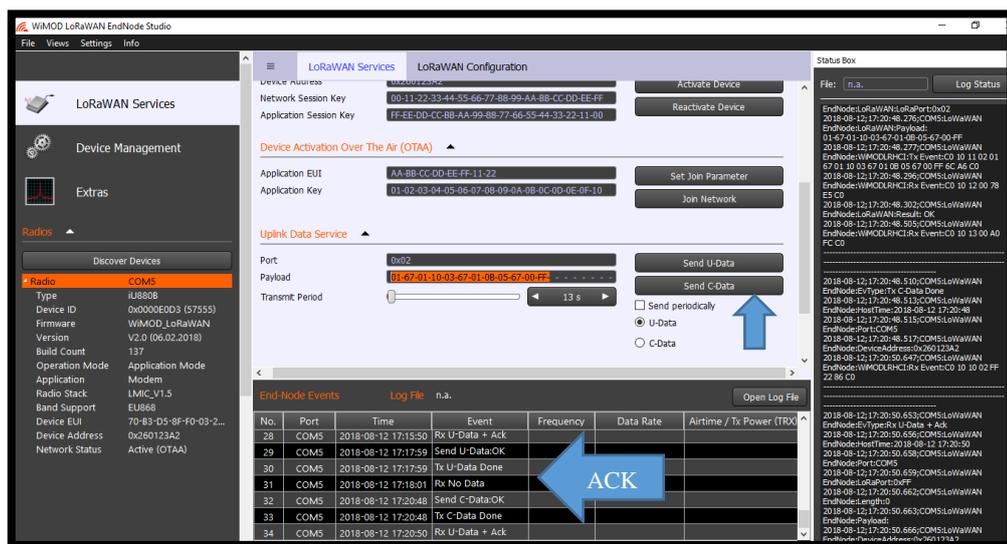
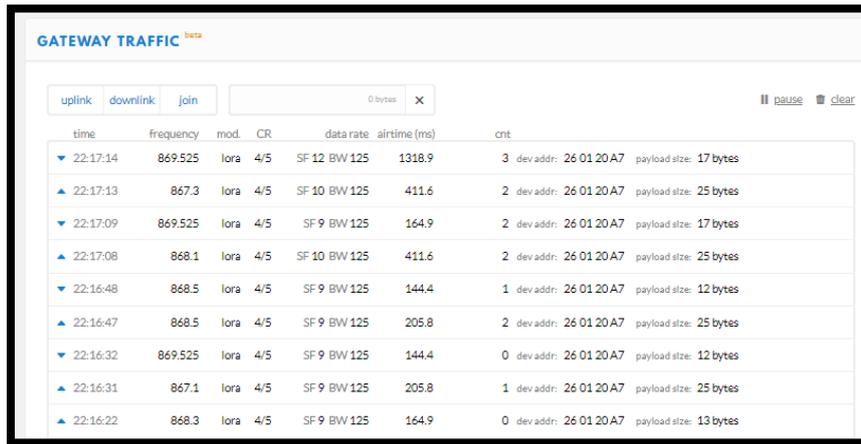


Fig. 15. WiMOD LoRaWAN EndNode Studio - Payload enviado desde el módulo iU880B

La información que es receptada por la pasarela y almacenada en los servidores de TTN, Fig. 16.



The screenshot shows the 'GATEWAY TRAFFIC' console with a table of traffic data. The table has columns for time, frequency, mod., CR, SF, BW, data rate, airtime (ms), cnt, dev addr, and payload size. The data is filtered for 'uplink' traffic.

time	frequency	mod.	CR	SF	BW	data rate	airtime (ms)	cnt	dev addr	payload size
22:17:14	869.525	lora	4/5	SF 12	BW 125	1318.9	1318.9	3	26 01 20A7	17 bytes
22:17:13	867.3	lora	4/5	SF 10	BW 125	411.6	411.6	2	26 01 20A7	25 bytes
22:17:09	869.525	lora	4/5	SF 9	BW 125	164.9	164.9	2	26 01 20A7	17 bytes
22:17:08	868.1	lora	4/5	SF 10	BW 125	411.6	411.6	2	26 01 20A7	25 bytes
22:16:48	868.5	lora	4/5	SF 9	BW 125	144.4	144.4	1	26 01 20A7	12 bytes
22:16:47	868.5	lora	4/5	SF 9	BW 125	205.8	205.8	2	26 01 20A7	25 bytes
22:16:32	869.525	lora	4/5	SF 9	BW 125	144.4	144.4	0	26 01 20A7	12 bytes
22:16:31	867.1	lora	4/5	SF 9	BW 125	205.8	205.8	1	26 01 20A7	25 bytes
22:16:22	868.3	lora	4/5	SF 9	BW 125	164.9	164.9	0	26 01 20A7	13 bytes

Fig. 16. Datos Uplink y Downlink en consola TTN

El mensaje recibido por la pasarela tiene la siguiente estructura, Fig. 17. Como se observa el Payload se encuentra cifrado, protegiendo la información enviada. Se receipta los niveles de RSSI (Received Signal Strength Indicator), para indicar la calidad relativa de una señal recibida; así como la relación señal a ruido (SNR), el tiempo en aire del paquete, ancho de banda, spreading factor (SF).

```

1  {
2    "gw_id": "eui-b827ebfffe5850c0",
3    "payload": "QKIjASaACQACGvbn6rGXd3Zw238vZIgezW==",
4    "f_cnt": 9,
5    "lora": {
6      "spreading_factor": 9,
7      "bandwidth": 125,
8      "air_time": 205824000
9    },
10   "coding_rate": "4/5",
11   "timestamp": "2018-08-12T15:18:00.812Z",
12   "rssi": -67,
13   "snr": 10,
14   "dev_addr": "260123A2",
15   "frequency": 867100000
16 }
17

```

Fig. 17. Estructura del mensaje recibido en pasarela LoRaWAN

IV.3.1. RESULTADOS DE PRUEBAS DE COBERTURA

Para las pruebas de cobertura, se tomaron los datos de 333 puntos en el sector de Malilla, como se muestra en la Fig. 18.



Fig. 18. Puntos de cobertura en el sector de Malilla, ciudad de Valencia

La pasarela LoRaWAN, pudo ser ubicado en el segundo piso de un edificio residencial Fig. 18, alcanzando únicamente una altura de 10 metros aproximadamente. En la zona residencial de Malillas, se presentó obstáculos como grades edificaciones residenciales, vegetación y diversos objetos comunes de un sector urbano.

- Edificios: altura entre 30-50 metros de altura
- Vegetación –árboles: 5-8 metros de altura

La altura en la que se ubicó el módulo LoRa iU880B (nodo), para realizar las transmisiones fue de aproximadamente 1,50 metros. Los datos obtenidos con los niveles de RSSI y SNR se adjuntan en la tabla de Anexos [32]. Una vez procesados los datos, se representan en la siguiente imagen los mapas de calor para los niveles de RSSI Y SNR obtenidos.

En la Fig. 19, se puede apreciar la disminución de la calidad de la señal (RSSI) conforme aumenta la distancia entre el nodo y la pasarela. El rango que se obtuvo fue de -52dBm (NOD-108, cercano a la pasarela) a -117dBm (NOD-48, más alejado de la pasarela), este último a una distancia de 875 metros aproximadamente.

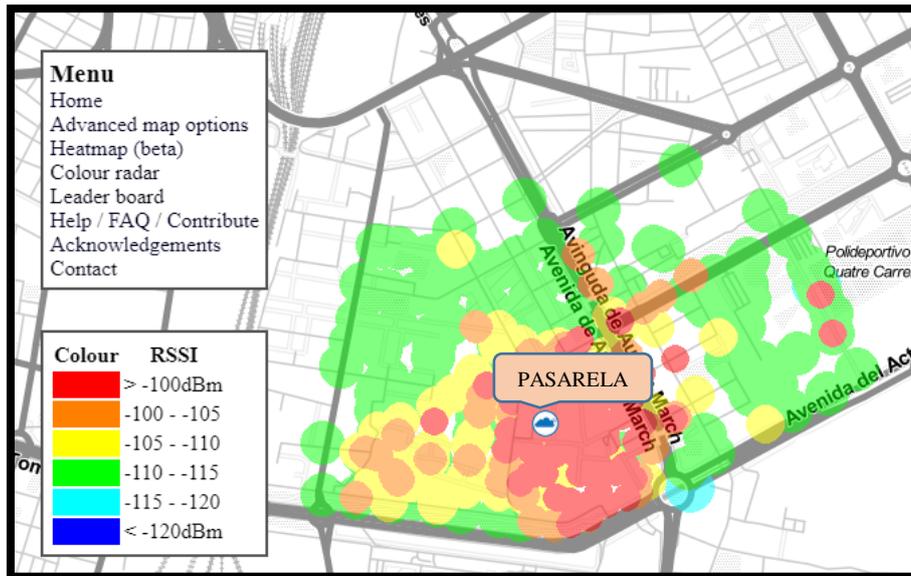


Fig. 19. Niveles de RSSI - Pasarela LoRAWAN

En base a las medidas obtenidas también se pudo obtener radios de cobertura con los valores obtenidos de RSSI, Fig. 20. De igual manera que la imagen anterior, se puede apreciar las zonas por colores donde va disminuyendo la zona de cobertura, lo que permitirá tener una visión del alcance para esta pasarela y será de gran utilidad para realizar una comparativa con los datos calculados en el capítulo 3 sobre el dimensionamiento de cobertura.

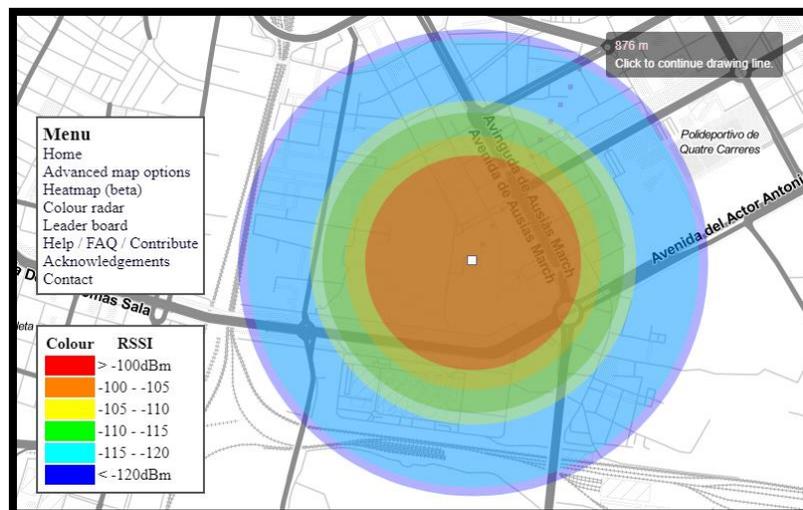


Fig. 20. Radios de cobertura con niveles de RSSI - Pasarela LoRAWAN

El radio máximo alcanzado para una pasarela LoRaWAN, con las características detalladas en el capítulo 3, dentro de una zona urbana densa es de 875 metros aproximadamente. Si se analiza la figura se puede apreciar que uno de los mayores inconvenientes son las edificaciones que se interponen entre la pasarela y los puntos de medición (nodos).

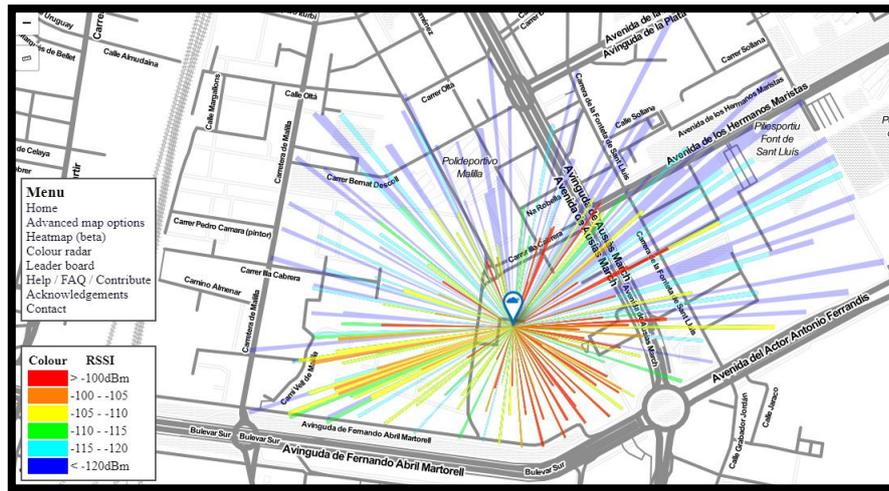


Fig. 21. Enlaces de radio entre Pasarela LoRAWAN y módulo final (iU880B)

IV.3.2. APLICACIONES

Configurada la integración de la información de GPS de cada medición de nodo terminal (iU880B) con los datos del servidor de red (TTN) se van obteniendo los enlaces de comunicaciones de cada uno de los puntos de prueba con sus respectivas distancias, Fig. 22.

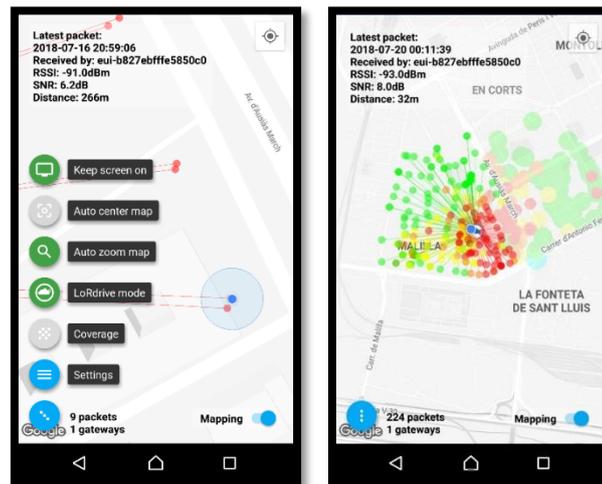


Fig. 22. Resultados de cobertura visualizado en móvil

En las aplicaciones para Smartphone como en la interface web, se realizó la configuración para acceder a la información del servidor de red (TTN) y mediante widgets visualizar la información decodificada de los valores RSSI, SNR y temperatura, de los diferentes puntos de medición realizados, Fig. 23.

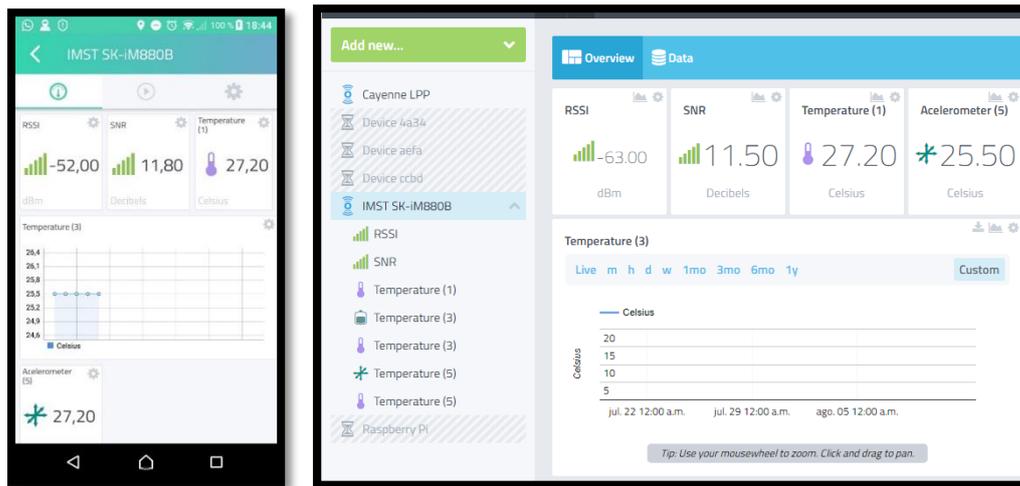


Fig. 23. Datos decodificados recibidos en widgets para Smartphone e interface web

Con respecto a los datos recibidos en las aplicaciones, se constató que de los datos enviados de los 333 puntos, los mensajes que fueron recibidos exitosamente están entre el 80% y 90% en los 3 primeros intentos de transmisión. Los demás datos fueron conseguidos entre los 8 a 15 intentos de transmisión, esto ocurrió en los lugares más alejados con respecto a la pasarela, a consecuencia de los obstáculos que se presentaban, en su gran mayoría los grandes edificios del sector.

IV.3.3. THROUGHPUT

En las mediciones realizadas, se emplearon los seis factores de dispersiones de la tecnología LoRa, de SF6 a SF12, para un PHY payload de 25 bytes con ACK. Los datos de SF, tiempo en aire como payload, se los obtuvieron del servidor de red (consola TTN), Fig. 24.

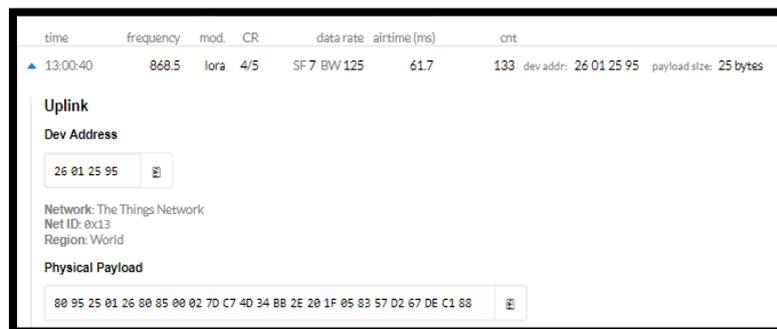


Fig. 24. Parámetros de enlace Uplink

Con los valores obtenidos, se determinó el throughput alcanzado para los distintos valores de SF, como se muestra en la siguiente tabla. De los valores obtenidos, se aprecia que a medida que un nodo cambia de SF y que al emplear tanto SF12 como SF11 se puede alcanzar mayores distancias, pero con una velocidad de datos mucho menor y con un mayor tiempo en aire. Al emplearse valores por debajo de SF9, se obtiene un menor tiempo en aire pero con una mayor velocidad de datos. Estos factores son importantes para determinar el consumo de batería del nodo como la latencia de los datos.

Modo	Tiempo en aire [ms]	Throughput [bps]
SF12	1810,4	110
SF11	823,3	243
SF10	411,6	486
SF9	205,8	972
SF8	123,4	1621
SF7	61,7	3241

Tabla 9. Throughput alcanzado para PHY payload de 25bytes

IV.4. ALCANCE, LIMITACIONES Y VENTAJAS DE LA PASARELA LORAWAN

Una vez realizadas las pruebas de cobertura se logró conseguir una sensibilidad de -117 dBm, con la pasarela a una altura 10 metros, a una distancia de 875 metros. Si, en los valores calculados del capítulo 3, en la ecuación (17), se modifica el valor de altura de nodo (h_m) por los 10 metros:

$$P L(dB) = 132,081 + 38,35 \log_{10}(d) \quad (15)$$

Y, reemplazando los valores en la ecuación (7), se obtendría una distancia de radio igual a:

$$131 = 132,081 + 38,35 \log_{10}(d) \quad (16)$$

$$d = 0,937 \text{ Km} \quad (17)$$

Con este resultado se puede determinar que se alcanzó el 93,4% del valor teórico calculado con respecto al valor medido, para determinar el alcance de la pasarela LoRaWAN.

Cabe mencionar que se podría alcanzar una mejor cobertura tomando en cuenta los siguientes factores como:

- Tipo y tamaño de antena
- Instalación del equipo y la antena (Pasarela a una mayor altura)
- Configuración de potencia del equipo (Pasarela)
- Orientación y tipo de antena del nodo (Características del nodo)
- Altura del nodo
- Obstáculos intermedios

LoRaWAN al ser una solución en la cual se maneja información a nivel de bytes, permite alcanzar grandes distancias con una bajo consumo de energía. Pero no sería una tecnología viable si se pretendiera enviar información como imágenes, video o datos en tiempo real críticos, ya que la información que está en el orden de los kilobytes o megabytes, y los dispositivos (nodos o motes) son sistemas embebidos sencillos de baja potencia con una función simple, como medir y transmitir valores de sensor.

Desplegar una red con este tipo de tecnología no llevaría mayor complejidad, ya que en los últimos años se han venido realizando despliegues de redes LPWAN en muchas ciudades europeas. Al contar documentación de publicaciones y proyectos que continuamente va a portando al desarrollo de esta tecnología, como es el caso de comunidad TTN, y sobretodo porque LoRa es una tecnología libre, posibilita la aplicaciones de soluciones IoT a bajos costo, siendo una gran alternativa para Smart cities

V. DESPLIEGUE DE LORAWAN EN LA CIUDAD DE VALENCIA

En este apartado se realizará un estudio del despliegue de la tecnología LoRaWAN dentro de la zona central de la ciudad de Valencia, 63 km² aproximadamente, donde se concentran la mayor cantidad de distritos, con una alta densidad de edificaciones y habitantes. Como se muestra en la Fig. 25, se delimitó las zona en las que se pretende realizar el despliegue.



Fig. 25. Distrito de la ciudad de Valencia

En el capítulo anterior, mediante las pruebas realizadas se lograron alcanzar cobertura radio de 875m, ubicando la antena de la pasarela a una altura de 10m, mientras que en los valores calculados, dio como resultado 937m de cobertura radio, variando únicamente en un 7%. Para el despliegue en la ciudad de Valencia, se tomará los valores calculados en el capítulo 3, es decir un radio de cobertura 1434m, ya que se asumirá las antenas de las pasarelas estén ubicadas a una altura de 30 metros.

Con el uso de la herramienta AutoCAD se realizó el mallado en el mapa de la ciudad, Fig. 26. Para determinar los puntos óptimos donde sería factible colocar una pasarela LoRaWAN, tratando de cubrir la mayor superficie de la ciudad. Para calcular la distancia (d) una pasarela a otra, se tiene la siguiente ecuación [33]:

$$d = \frac{3}{2}R \quad (18)$$

$$d = \frac{3}{2}(1424m) = 2151m \quad (19)$$

Para calcular las pasarelas más cercanas, a partir del centro de la primera pasarela, se traza una línea horizontal con la distancia calculada con la ecuación (17). Con un ángulo de 120 ° con respecto a la horizontal, se van trazando las líneas inclinadas que al cruzarse con las horizontales darán los puntos de referencia para las pasarelas.

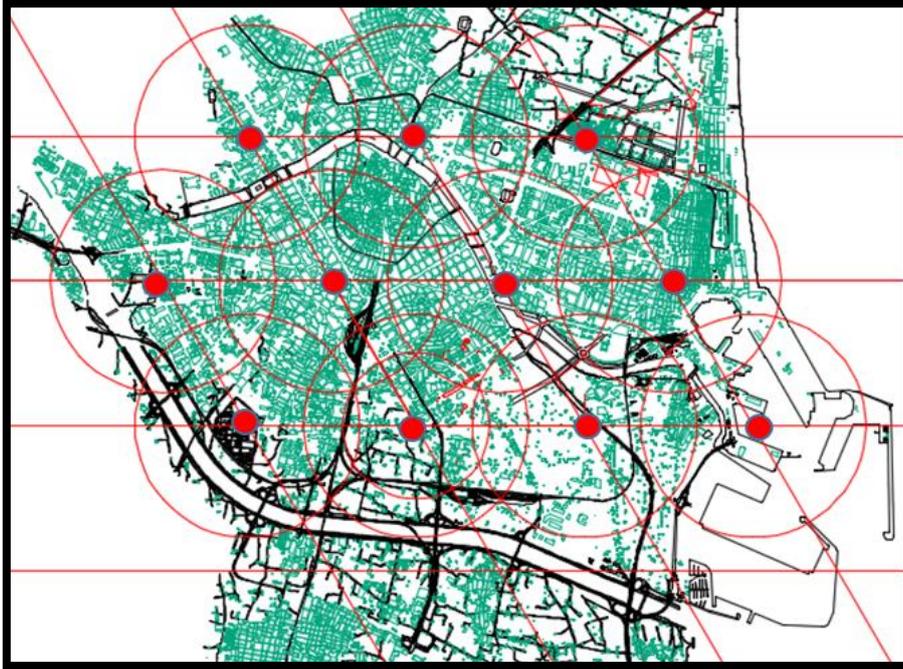


Fig. 26. Mallado para la red LoRaWAN en la Ciudad de Valencia

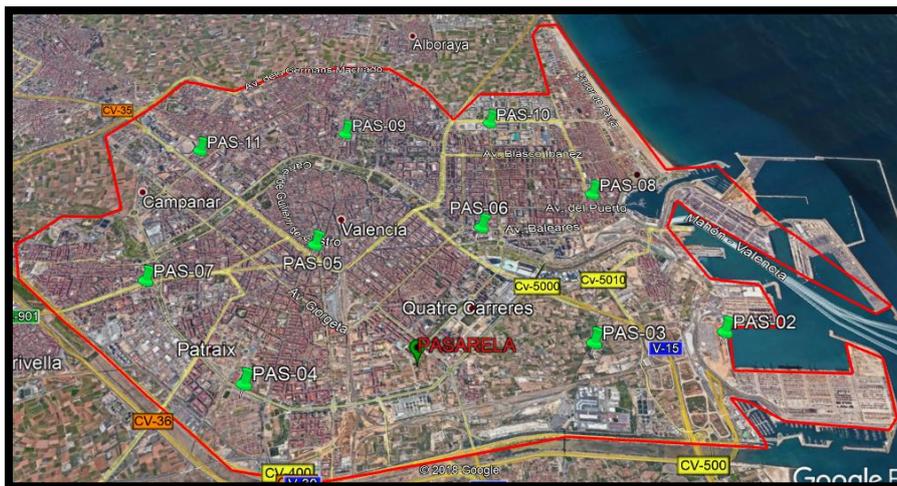


Fig. 27. Puntos (verde) candidatos para las pasarelas

Como se muestran en las Fig. 26 y Fig. 27, con 11 pasarelas LoRaWAN se podría cubrir la zona delimitada de la ciudad de Valencia, pudiendo alcanzar una sensibilidad de borde cercana a -117 dBm. Los radios de cobertura se solapan para permitir cubrir por completo la zona central de la ciudad, donde se alberga una mayor cantidad de edificaciones.

V.1. *USO PRÁCTICO DE LA RED LORAWAN*

V.1.1. *PROBLEMÁTICA*

Las ciudades destinan grandes presupuestos anualmente para la recolección de residuos urbanos, ya que son los centros de mayor generación de desperdicios.

En el año 2017 el ayuntamiento de Valencia destino cerca de 64.22 millones de euros para la limpieza y recolección de residuos, 5.56 millones más del presupuesto del anterior. [34]

La ciudad de Valencia es una de las 30 ciudades que mejores resultados ha obtenido en la encuesta de satisfacción de limpieza. En el año 2016 se acopiaron 315 millones de kilos de residuos. [35]

Para las empresas encargadas de la recolección contenedores de residuos en toda la ciudad, es un gran desafío operativo. Entre los factores que pueden impedir la eficiencia operativa se pueden mencionar [35] :

- Alto costo en logística debido a los viajes redundantes
- Bajo rendimiento de basura recolectada por vehículo
- Desbordamiento de contenedores por exceso de residuos

V.1.2. *SOLUCIONES*

El Internet de las cosas está tendiendo un impacto tanto en la industria como en la vida cotidiana de la personas. Actualmente existen contenedores de basura inteligentes, los que han funcionado exitosamente en ciudades como Sevilla, que a través del proyecto europeo LIFE EWAS, han implementado una solución de TICS siendo capaces de monitorizar el volumen de llenado de los contenedores.

Implementando sensores con sistemas de medidas volumétricas en base a parámetros como la distancia, es decir el trecho entre el nivel de residuos y el sensor, es un dato que permite saber la capacidad de un contenedor. Al dar la inteligencia al contenedor se puede entregar información a un gestor de servicios y poder optimizar en este caso la recolección de los residuos.

La recolección de información de los contenedores, en el proyecto LIFE EWAS, se la realiza a través de la instalación de sensores inalámbricos, empleando una solución de comunicación Zigbee o GPRS.

LoRaWAN al tener una distancia de cobertura superior a Zigbee [4] y al ser una tecnología no licenciada a diferencia de GPRS, hace que sea una tecnología ideal de para la recolección de información de contenedores inteligentes de residuos .

En el trabajo [17] se desarrolla un dispositivo terminal (nodo) para control de llenado en contenedores, compuesto por un sensor ultrasonidos, un clon de Arduino Fio y un módulo LoRaWAN, resultando un proyecto de bajo costo de implementar.

En futuros trabajos se podría evaluar la capacidad y viabilidad de implementar contenedores inteligentes para una ciudades urbanas como Valencia, empleando una infraestructura de bajo costo como la pasarela utilizada el presente trabajo en conjunto con un dispositivos final como el desarrollado en [17].

VI. CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo se ha estudiado las propiedades de LoRa, el protocolo LoRaWAN, y los componentes principales para establecer una infraestructura de red y los posibles ámbitos de aplicaciones. También se realizó una revisión de los trabajos de investigación más recientes relacionados con esta tecnología, permitiendo la comprensión el gran potencial de esta tecnología.

Se configuró e integró los componentes para formar una red LoRaWAN, además de evaluar la cobertura en de una pasarela (de bajo costo) con un dispositivo final (iU880B), en un entorno urbano, logrando alcanzar una sensibilidad de -117 dBm, a una distancia de 875m aproximadamente, variando en un 7% del valor de cobertura calculado (937m).

Se logró enviar información exitosamente con acuse de recibo (ACK- comunicación bidireccional) desde el dispositivo final y recibirlos datos decodificados en una aplicación para Smartphone y Web.

Si bien, dentro del cálculo de cobertura, con una sola pasarela se podría cubrir la ciudad de Valencia, llevada a un ámbito real se comprobó que existen pérdidas de cobertura, en gran medida ocasionadas por grandes edificaciones del sector, lo cual hace necesario emplear valores máximos de factores de dispersión (SF11 - SF12), lo que incrementa significativamente el tiempo en el aire y una disminución en la sensibilidad del receptor, ocasionando una menor densidad de nodos por km² a ser implementados y con un mayor consumo de energía para estos.

Mediante las mediciones realizadas y valores calculados, se determinó que para cubrir la ciudad de Valencia se necesitarían 11 pasarelas con las mismas características del dispositivo implementado, para lograr alcanzar aproximadamente sensibilidades de borde de cobertura alrededor de los -117dBm en la zona delimitada, Fig. 27.

Dentro de la gama de posibilidades de implementación de LoRaWAN se planteó un posible caso de estudio e implementación de una red en la ciudad de Valencia, mediante la utilización de pasarelas y dispositivos finales de bajo costo para contenedores inteligentes.

Como conclusión final se puede extraer del trabajo desarrollado, así como de las fuentes consultadas es que, si bien la tecnología LoRaWAN ha despuntado en los últimos años, tiene sus limitaciones, pero continúa mejorando gracias al aporte de organizaciones como Lora Alliance o The Thing Networks, que ha hecho posible la implementación de redes IoT más simples y económicas.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias al Prof. Carlos Palau por la propuesta para el desarrollo del presente trabajo. Agradezco a la comunidad de The Thing Network y al trabajo de Marianela Carrión, por la información proporcionada para el proyecto.

A mi familia y amigos mi más profundo agradecimiento por el apoyo constante, en especial a mi madre Guadalupe y mi hermano Daniel quienes son mi impulso para seguir adelante y a mi novia Catalina por todo su apoyo en tiempos difíciles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. Marais and R. Malekian, "LoRa and LoRaWAN Testbeds : a Review," *2017 Ieee Africon*, no. September, pp. 1544–1549, 2017.
- [2] M. Saari, A. M. Baharudin, P. Sillberg, S. Hyrynsalmi, and W. Yan, "LoRa - A Survey of Recent Research Trends," *2018 41st Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron.*, no. May, pp. 872–877, 2018.
- [3] J. Kölsch, C. Heinz, S. Schumb, and C. Grimm, "Hardware-in-the-loop simulation for Internet of Things scenarios," 2018, pp. 1–6.
- [4] T. O. AK Emarievbe, Joerg Koepp, "Emerging Communication Technologies Enabling the Internet of Things White Paper," *Rohde&Schwarz*, vol. 1, no. 2, p. 17, 2016.
- [5] Semtech Corporation, "LoRa Modulation Basics," no. May, pp. 1–26, 2015.
- [6] A. Lavric and A. Petrariu, "LoRaWAN Communication Protocol : The New Era of IoT," pp. 74–77, 2018.
- [7] LoRa Alliance™, "LoRa Alliance," 2018. [Online]. Available: <https://www.lora-alliance.org>.
- [8] LoRa-Alliance, "A technical overview of LoRa and LoRaWAN," no. November, pp. 1–20, 2015.
- [9] L. Feltrin, C. Buratti, E. Vinciarelli, R. De Bonis, and I. R. Verdone, "LoRaWAN : Evaluation of Link- and System-Level Performance," vol. 4662, no. c, pp. 1–10, 2018.
- [10] M. Lorient, A. Aljer, and I. Shahrour, "Analysis of the use of lorawan technology in a large-scale smart city demonstrator," in *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies, SENSET 2017*, 2017, vol. 2017–Janua, pp. 1–4.
- [11] A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadinia, and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks," *Proc. IEEE Sensors*, vol. 0, pp. 5–7, 2017.
- [12] B. Ross and M. G. Semtech, "LoRaWAN TM CAPACITY TRIAL IN DENSE URBAN ENVIRONMENT," 2017.
- [13] F. J. Grión, G. O. Petracca, D. F. Lipuma, and E. R. Amigó, "LoRa network coverage evaluation in urban and densely urban enviroment simulation and validation tests in Autonomous City of Buenos Aires," *2017 17th Work. Inf. Process. Control. RPIC 2017*, vol. 2017–January, pp. 1–5, 2017.
- [14] R. Pérez García, "Avaluació de LoRa/LoRaWAN per a escenaris de smart city," pp. 1–89, 2017.
- [15] A. Guzman-Martinez, "LoRaWAN Gateway and IoT Low-Cost Mote Prototype," 2017.
- [16] M. D. C. CARRIÓN GONZÁLEZ, "Desarrollo de una pasarela LORA y evaluación de prestaciones,"

- 2017.
- [17] C. S. D. E. Ingenier and G. E. N. Ingenier, “Recogida inteligente de desechos urbanos mediante una solución iot,” 2017.
- [18] T. T. Networks, “The Things Networks -Learn,” 2018. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/>.
- [19] The Things Networks, “LoRa Crash Course de Thomas Telkamp,” 2016. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/lora-crash-course-by-thomas-telkamp/3981/17>.
- [20] IMST GmbH, “WiMOD iC880A,” *Datasheet*, 2015.
- [21] W. S. by IMST, “IMST-Wireless Solutions,” *Germany*, 2018. [Online]. Available: <https://wireless-solutions.de/>.
- [22] © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., “Waspote LoRaWAN Networking Guide,” p. 56, 2016.
- [23] D. Id, I. G. Carl-friedrich-gau, and K. Germany, “WiMOD iU880B,” *Datasheet*, 2017.
- [24] I. GmbH, “WiMOD LoRaWAN EndNode Studio,” pp. 0–18.
- [25] Wienke Giezeman, “The Things Network: Building a global IoT data network in 6 months,” *medium.com*, 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/@wienke/the-things-network-building-a-global-iot-data-network-in-6-months-adc2c0b1ae9b>.
- [26] T. T. N. U. Timothy Sealy, “TTN MAPPER,” *www.thethingsnetwork.org/docs*, 2018. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/ttnmapper/>.
- [27] MyDevices, “Cayenne Docs,” 2018. [Online]. Available: <https://mydevices.com/cayenne/docs/lora/#lora-cayenne-low-power-payload-downlink-payload-structure>.
- [28] Y. Singh, “Comparison of Okumura , Hata and COST-231 models on the basis of path loss and signal strength,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 59, no. 11, pp. 37–41, 2012.
- [29] G. C. The Things Networks, “From zero to LoRaWAN in a weekend,” *github.com*, 2018. [Online]. Available: <https://github.com/ttn-zh/ic880a-gateway/wiki>.
- [30] MyDevices, “Cayenne LoRa,” 2018. [Online]. Available: <https://mydevices.com/cayenne/docs/lora/#lora-cayenne-low-power-payload-downlink-payload-structure>.
- [31] L. Specification, “LoRaWAN™ Specification,” 2015.
- [32] M. Moya, “ANEXO-TFM-Proyecto LoRaWAN,” 2018. [Online]. Available: https://drive.google.com/drive/folders/1fRZ_o8G9tnKMumBK7tTUz9YMcqbCPgyf?usp=sharing.
- [33] J. F. Monserrat, “Parámetros de planificación.” pp. 0–32, 2017.
- [34] Asociadosafelin.com, “AYUNTAMIENTO DE VALENCIA, INCREMENTO EN EL PRESUPUESTO DE LIMPIEZA,” 2017. [Online]. Available: <https://asociadosafelin.com/ayuntamiento-valencia-incremento-presupuesto-limpieza/>.
- [35] Wwww.levante-emv.com, “El ayuntamiento propone a los vecinos tirar la basura entre las 8 y las 10 de la noche,” 2017. [Online]. Available: <https://www.levante-emv.com/valencia/2017/11/07/ayuntamiento-propone-vecinos-tirar-basura/1638110.html>.