

Protocolo LoRa para implementación de redes IoT en smart cities.

Marcelo Cárdenas, Diego González, y Camila Retamal

20 Diciembre, 2018

Resumen—Se estudia el protocolo LoRa (solución de largo alcance, de baja potencia y de bajo bitrate) como alternativa para comunicar una red simple de IoT que pudiera ser implementada para smart cities. El trabajo explica a profundidad el funcionamiento de este protocolo. Se evalúa el desempeño del protocolo por medio de simulaciones en un software especializado en el protocolo. Se proponen algunas implementaciones de esta solución a partir de los resultados del análisis de las simulaciones.

Index Terms—IoT, LoRa, LoRaWan, Protocolos, LoRaSim.

1. INTRODUCCIÓN

EL internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) en el sentido más amplio del concepto es la conexión y compartición de información entre dispositivos, que pueden ser desde un smartphone, un sensor de temperatura o un cronómetro hasta un aparato auditivo, conectados a internet. El problema que aparece al conectar todo tipo de dispositivos a internet es que muchos de estos tienen menos capacidad computacional disponible; menos ancho de banda, menos poder de procesamiento, menos memoria y menos energía disponible. Esto limita la disponibilidad de tecnologías tradicionales como WiFi por requerimientos de energía y disponibilidad. A partir de lo anterior nuevas tecnologías han surgido para satisfacer los requisitos y necesidades del internet de las cosas entre estas: Lora, un protocolo de comunicación para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) que es el sujeto de investigación de este trabajo. El trabajo se divide en las siguientes secciones: trabajos relacionados, que tiene trabajos de investigación relacionados con el tema, explicación detallada de LoRa en la que se explica lo qué es y cómo funciona, la implementación que describe el experimento que se llevó a cabo, resultados que explica los resultados obtenidos a partir de la simulación y sus respectivas conclusiones.

1.1. ¿Qué es LoRa?

LoRa[1] es un protocolo de comunicación para tecnologías LPWAN, que cuenta con grandes ventajas para proyectos de IoT con dispositivos alimentados por baterías que necesitan optimizar el tiempo de vida de dicha batería.

LoRa utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech llamado Chirp Spread Spectrum, o CSS y opera en la banda ISM en las frecuencias de 433[Mhz], 868[Mhz] ó 915[MHz], dependiendo en la región en la que sea desplegado. La ventaja que ofrece esta modulación es que puede lograr comunicaciones a largas distancias (kilómetros) y tiene gran solidez frente a las interferencias, todo esto utilizando una potencia menor a la consumida por tecnologías como WiFi.

1.2. ¿Qué es LoRaWan?

LoRaWAN es una especificación de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network), correspondiendo a capa 2 (enlace a la red). Es lo que se conoce como MAC (Media Access Control). Se puede decir que LoRaWAN se encarga de unir diferentes dispositivos LoRa gestionando sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, entre otros.

1.2.1. Estructura de Lora y LoRaWan

La estructura básica de LoRaWAN es la mostrada en la figura 1. Los dispositivos finales se comunican con puntos de acceso usando LoRa. Los puntos de acceso (Gateway) reenvían, íntegra, la información a un servidor de red con diferente conectividad, típicamente ethernet o 3G. De esta manera los puntos de acceso solo se convierten en redireccionadores o convertidores de protocolo siendo los servidores de red los responsables de decodificar los paquetes y generando los paquetes que los dispositivos finales recibirán.

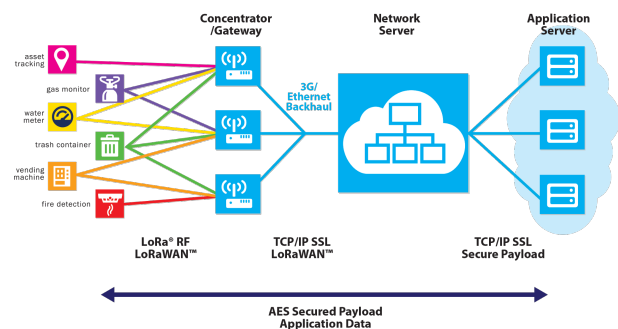


Figura 1. Arquitectura Lorawan

1.2.2. Seguridad de LoRaWan

Existen dos maneras de conectarse a una red LoRaWAN. Para entrar a la red se requieren una serie de claves y números de identificación por parte del nodo para lograr el correcto funcionamiento de la red y mantener su seguridad. Las formas de acceder son, usando protocolo de activación

LoRaWAN Over The Air Activation (OTAA) o LoRaWAN Activation by Personalisation (ABP).

Los parámetros necesitados por OTAA son: identificador de fábrica (DevEUI), que hace a cada dispositivo único; identificador de aplicación único (AppEUI), la dirección de 64 bits se utiliza para clasificar los dispositivos por aplicación; clave secreta (AppKEY) AES de 128 bits compartida entre el dispositivo y la red. Se utiliza para determinar las claves de sesión. Con estos datos, la conexión es mostrada en la figura 2 y se realiza de la siguiente manera:

1. El nodo solicita un inicio de sesión a la red con los datos de configuración y abre la ventana de recepción.
2. El Gateway recibe la solicitud y la envía al servidor.
3. El servidor verifica que el nodo este dado de alta y la llave de encriptación sea correcta.
4. Si es correcta asigna una sesión temporal y la envía por medio del gateway al nodo, si los datos son incorrectos rechaza el join.
5. El nodo recibe la sesión temporal y puede enviar datos a la red.

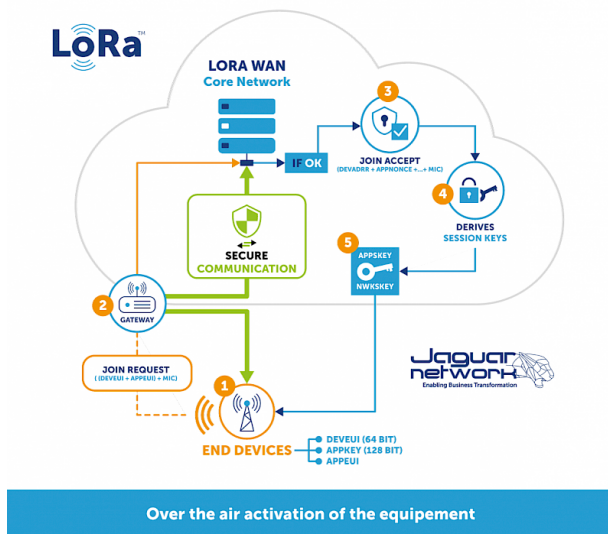


Figura 2. Seguridad On The Air

La principal ventaja de la conexión tipo OTAA es la seguridad ya que la sesión “se crea en el aire” y se renueva cada vez que el dispositivo pierde conexión, se apaga o se reinicia, lo que dificulta el robo de sesión y la clonación del dispositivo.

Los parámetros necesitados por ABP son: Dirección lógica (DevAddress), equivalente a una dirección IP, que se usará para toda comunicación posterior con la red; clave de cifrado (NetworkSessionKey) entre el dispositivo y el operador usado para las transmisiones y para validar la integridad de los mensajes y por último, hay una clave de cifrado entre el dispositivo y el operador (ApplicationSessionKey) utilizada a través de la aplicación. Con estos datos, la conexión se muestra en la figura 8 realiza de la siguiente manera:

1. El dispositivo envía datos hacia al Gateway.

2. El Gateway valida que los datos correspondan a la sesión.
3. Si es correcta la sesión se procesan los datos, sino se rechazan.

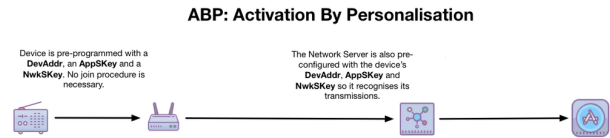


Figura 3. Activación Personalizada

La principal ventaja de este tipo de conexión es que no se requiere hacer un inicio de sesión a la red para poder enviar datos, lo que es ideal para dispositivos que están en movimiento o no tienen excelente recepción. La desventaja es que al encontrarse la llave de encriptación en el dispositivo pudiera ser extraída y clonada por un atacante.

2. IMPLEMENTACIÓN

Al ser LoRa/LoRaWAN tecnologías emergentes y en busca de penetración en el área de las comunicaciones, es que se han ido desarrollando de a poco simuladores que permiten evaluar diversos aspectos de una red a implementar. Para este caso, se utilizó el simulador *LoRaSim*, desarrollado por académicos de la Universidad de Lancaster. Hasta ahora, es el simulador más usado tanto para investigación como para implementaciones de prueba, sin embargo dista de las aplicaciones esperadas, ya que sólo simula un tipo de aplicación IoT (cuando en la realidad se espera que los nodos sean multiplicación, es decir, manejen más de un tipo de parámetros a comunicar). No obstante, *LoRaSim* permitirá evaluar el desempeño de una red IoT genérica bajo ciertas condiciones. Una de ellas es la asunción de que los enlaces se encuentran todos en línea de vista, por lo que no existirán terminales ocultos a las estaciones base. Esto permite suponer una distribución aleatoria de los nodos en una ciudad cualquiera, considerando los límites de rango que LoRa puede ofrecer. A raíz de esto, los principales puntos de evaluación corresponden al número de paquetes perdidos por saturación de canales, números de paquetes colisionados, número de paquetes entregados, potencia consumida durante el funcionamiento de la red, entre otros.

Para finalizar la implementación se presentará una comparativa de distancias entre 2 nodos que se conectan a través de los protocolos Zigbee, Wifi, y Lora, esto se realiza mediante el simulador CupCarbon.

3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Suponiendo una red LoRaWAN estrella (figura 6, nodo rojo correspondiente a estación base), el simulador permite encontrar una relación entre la probabilidad de colisiones, el número de sensores y el tiempo promedio de envío de datos de estos. Se puede observar un trade-off de desempeño entre el tiempo promedio de transmisión y el número de nodos para un periodo de envío constante. Considerando que una colisión significa un compromiso en el ancho de

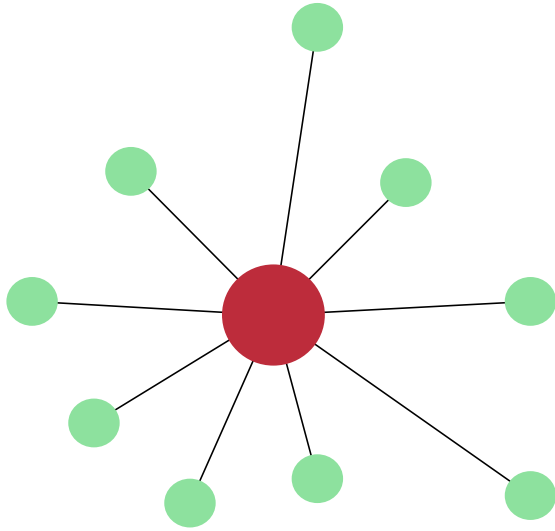


Figura 4. Red LoRaWAN con una estación base

banda de la red y una disminución en el desempeño de esta, añadir más nodos a una red con solo una estación base vuelve irrelevante este trade-off, por lo cual el compromiso se mantiene. La solución propuesta a este problema es aumentar el número de estaciones base.

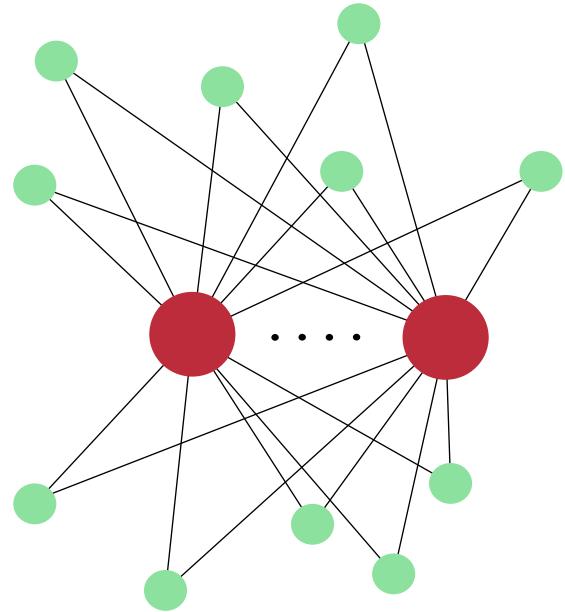


Figura 6. Red LoRaWAN con múltiples estaciones base

DER mínimo de 0,9. Esto ya que el simulador no contempla recuperación de paquetes, lo cual permitiría aumentar el DER a costa de un mayor retraso.

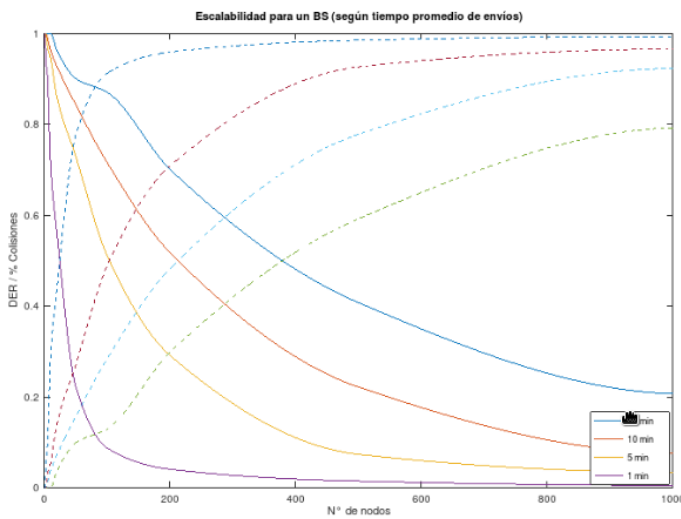


Figura 5. Escalabilidad para una estación base. Se evaluaron distintos períodos de envío

Debido a que se tiene como parámetro libre el número de estaciones base, se puede mejorar el tiempo promedio de transmisión a 1 minuto. Esto permite acercar la simulación a aplicaciones más reales, como el sensado de variables climáticas, de tráfico entre otros. La variable de interés corresponde al DER (data extraction rate), el número de frames recibidos versus los frames emitidos.

Esto debido a que al aumentar el número de estaciones base, las colisiones aumentarán, entre estaciones base, más no disminuirá a consecuencia de esto el número de frames recibidos. Se puede observar a partir de la figura que contando con 8 estaciones base, se posee mayor flexibilidad para ubicar hasta 3000 nodos, con 6 o 4 estaciones base hasta 1000 y con 2 estaciones base hasta 400, considerando un

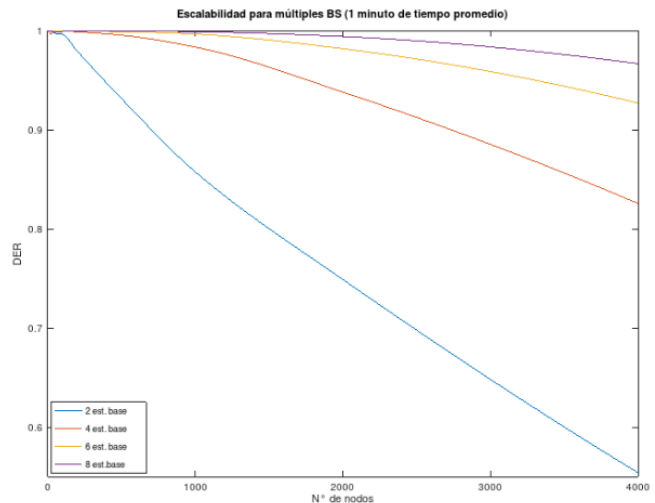


Figura 7. Escalabilidad para múltiples estaciones base. Se evaluaron distintos períodos de envío

Finalmente se desea evaluar la escalabilidad mediante el uso de antenas directivas para cada nodo. La figura anterior muestra (en línea discontinua) el desempeño de una red de solo una estación base (red estrella) para diversos nodos. La línea continua muestra la mejora comparativa, tras usar antenas directivas para cada nodo. Se puede apreciar que la mejora no es significativa ya que las antenas solo permiten mejorar la línea de vista mas no disminuye la cantidad de colisiones inminentes en la red.

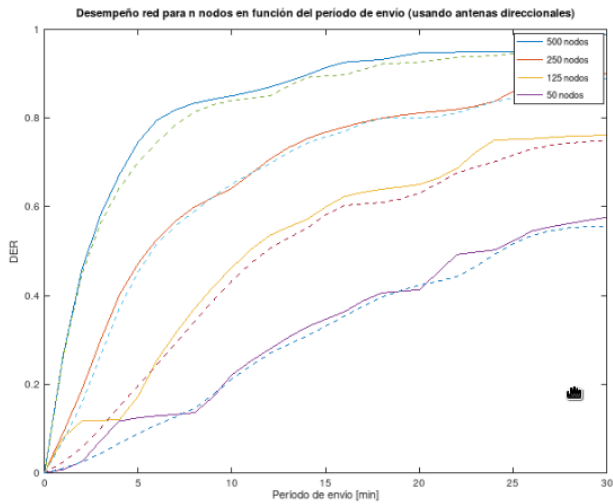


Figura 8. Escalabilidad para múltiples nodos y una sola estación base, utilizando antenas direccionales.

A continuación se muestran las distancias máxima entre nodos en una ciudad, sin ninguna estación base y con las interferencias que los edificios pueden ofrecer, no se analiza el envío de paquetes porque eso ya se ha realizado en LoRa-Sim. Las siguientes imágenes demuestran la efectividad del protocolo lora en larga distancia. Para la figura 9 tenemos una distancia de 76 [m], para la figura 10, la distancia es de 311[m], finalmente para el protocolo de LoRa, la distancia entre nodos es de 811[m].

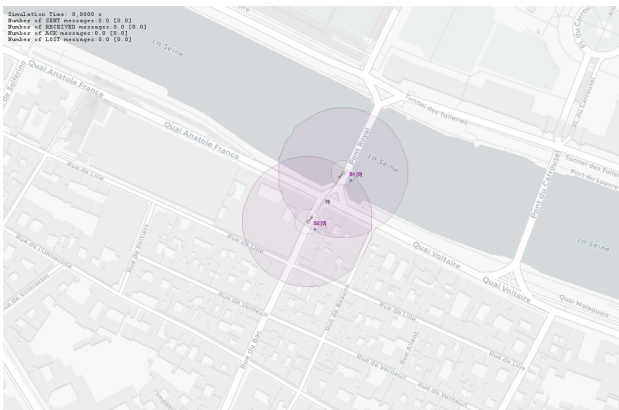


Figura 9. Distancia entre Nodos con protocolo ZigBee



Figura 10. Distancia entre Nodos con protocolo WiFi

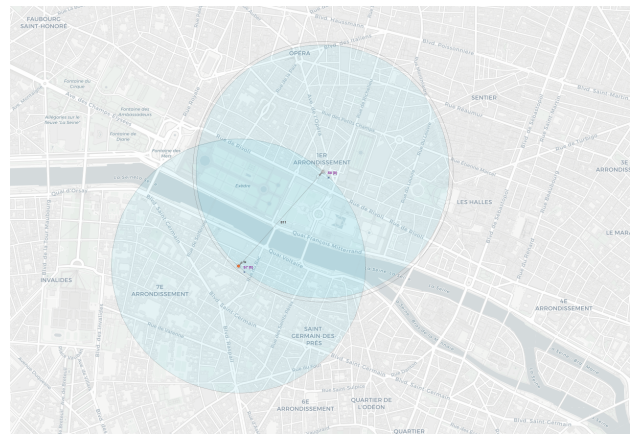


Figura 11. Distancia entre Nodos con protocolo lora

4. CONCLUSION

LoRa junto con LoRaWAN prometen ser las tecnologías dominantes para las SmartCities, tanto por sus especificaciones de largo alcance, ancho de banda adecuado, bajo consumo y seguridad integrada. A su vez, el bajo coste de los dispositivos lo hace una solución atractiva e implementable en las ciudades, desde las más pequeñas hasta las metrópolis. Actualmente al ser una tecnología reciente, el análisis de escalabilidad de una red que se busque implementar queda comprometida por la falta de simuladores destinados a la creación de redes urbanas. No obstante, los actuales simuladores destinados a la investigación permiten vislumbrar bajo ciertas condiciones, el cómo se comportaría una red a implementar en una ciudad, con resultados satisfactorios. Aún así, LoRa demuestra ser un contenedor fuerte para la implementación de tecnologías IoT en áreas donde la centralización de las tecnologías busca tomar relevancia.

APÉNDICE A TRABAJOS RELACIONADOS

Se cuenta con los siguientes trabajos [2],[3] y [4] que publica resultados experimentales del uso de LoRa y que se utilizará como referencia en caso de ser necesarias comparaciones con otros trabajos.

APÉNDICE B

SIMULADORES

LoRaSim [5] es un simulador de eventos discretos basado en SimPy para la simulación de colisiones en redes que utilizan Lora y analizar su escalabilidad. Actualmente LoRaSim es el simulador más popular para Lora/Lorawan. Aún así, sólo soporta la simulación de redes con una única aplicación IoT.

Se han hecho documentos de investigación [6] para lograr que LoRaSim simule múltiples aplicación.

CupCarbon [7] facilitó el hecho de poder apreciar las distancias a las que pueden trabajar los nodos, insertos en una ciudad. Este simulador es nuevo, fue lanzado el 2017, y simula una ciudad inteligente, con posibilidades de usar nodos con distintos módulos de radio y verificar funcionamientos a distintos eventos.

REFERENCIAS

- [1] "Sabas"(2017 Sept 25),Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN?
- [2] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, "Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 23, Oct. 2016.
- [3] Bor, Martin; Roedig, Utz; Voigt, Thiemo; Alonso, Juan. MSWiM '16 Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York : ACM Press, 2016. p. 59-67. Do LoRa low-power wide-area networks scale?
- [4] Voigt, Thiemo; Bor, Martin; Roedig, Utz; Alonso, Juan. EWSN '17 Proceedings of the 2017 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks. New York : ACM Press, 2017. p. 323-328. Mitigating Inter-Network Interference in LoRa Networks
- [5] Voight, Thiemo; Bor, Martin; Simulador LoraSim
- [6] Farooq, Muhammad; Pesch, Dirk EWSN '18 Proceedings of the 2018 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks Pages 175-176
- [7] CupCarbon U-One 3.8 A Smart City IoT Wireless Sensor Network Simulator CupCarbon