

Trabajo Fin de Master

Estudio en detalle de LoRaWAN.
Comparación con otras tecnologías LPWAN
considerando diferentes patrones de
tráfico.

Silvia Hernández Caballero

Máster universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones – Telemática

José López Vicario

Xavi Vilajosana Guillen

Enero 2020

Índice

- ▶ Introducción
 - ▶ Contexto y justificación del trabajo
 - ▶ Objetivos
 - ▶ Planificación
- ▶ Descripción del estudio
 - ▶ LPWAN
 - ▶ Sigfox
 - ▶ LoRa
 - ▶ NB-IoT
 - ▶ LTE-M
- ▶ Comparativa entre tecnologías LPWAN
- ▶ LoRaWAN en profundidad
- ▶ Simulaciones
- ▶ Conclusiones
 - ▶ Conclusiones
 - ▶ Líneas futuras

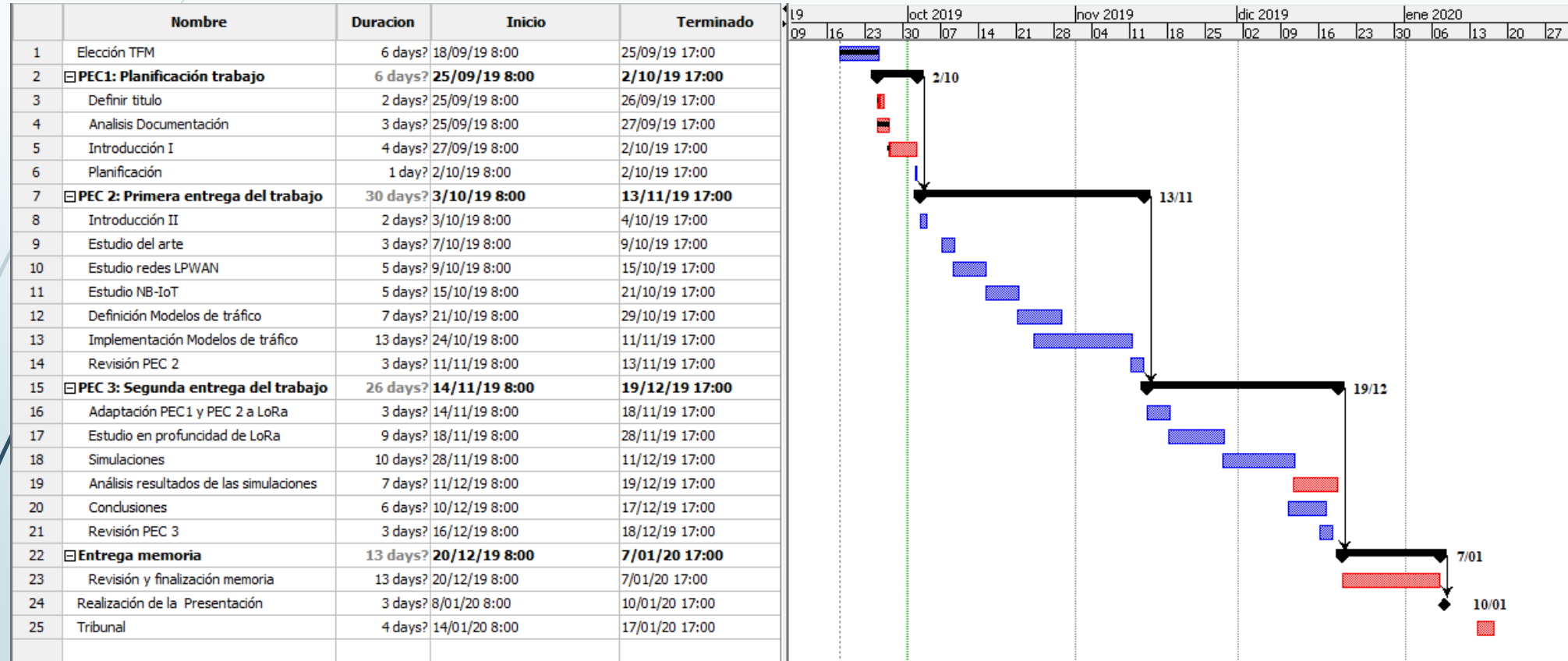
Contexto y justificación del trabajo

- ▶ El Internet de las Cosas (IoT):
 - ▶ Gran cantidad de dispositivos IoT conectados en los últimos años
 - ▶ Se prevé un gran aumento en los próximos años
- ▶ Para dar solución a este crecimiento nace la tecnología LPWAN
 - ▶ Permite conectar un elevado número de dispositivos
 - ▶ Ofrece gran cobertura
 - ▶ Minimiza el consumo de energía
 - ▶ Sigfox, LoRa, NB-IoT y LTE-M como las más importantes

Objetivos

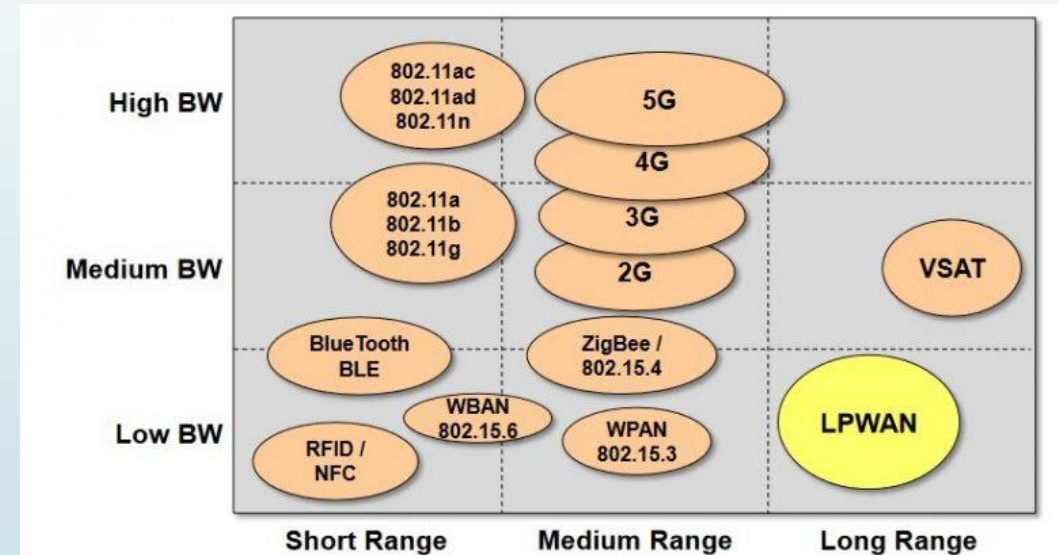
- ▶ Estudio de las redes Low Power Wide Area Network (LPWAN).
- ▶ Estudio detallado y análisis en profundidad de la tecnología LoRaWAN.
- ▶ Comparativa de las tecnologías LPWAN.
- ▶ Análisis de ventajas y desventajas de los sistemas LPWAN y casos de uso.
- ▶ Modelado del comportamiento de LoRaWAN.
- ▶ Análisis de los resultados de las simulaciones.

Planificación

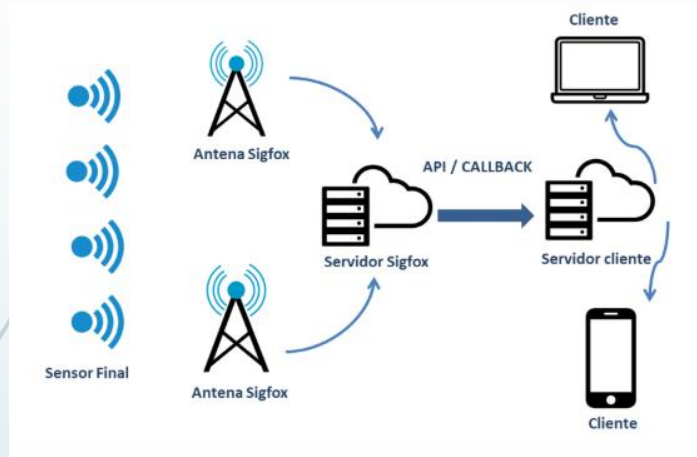


LPWAN

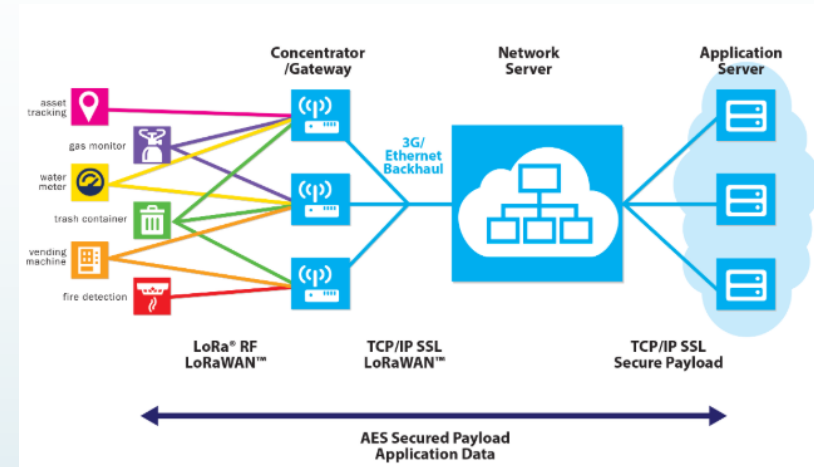
- ▶ Low Power Wide Area Network (LPWAN):
 - ▶ Larga duración de la batería
 - ▶ Bajo coste
 - ▶ Cobertura amplia
 - ▶ Baja potencia
 - ▶ Gran número de dispositivos
- ▶ Principales aplicaciones:
 - ▶ Smartcities
 - ▶ Industria,
 - ▶ Medicina
 - ▶ Agricultura y ganadería
 - ▶ Tracking
 - ▶ Dispositivos personales



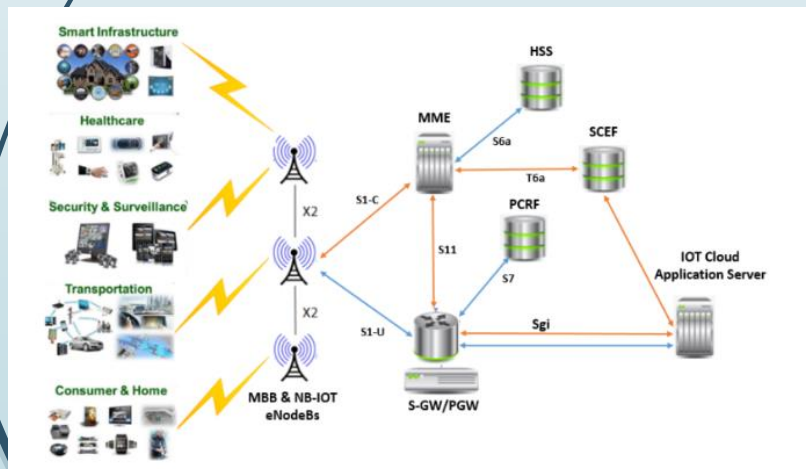
Sigfox



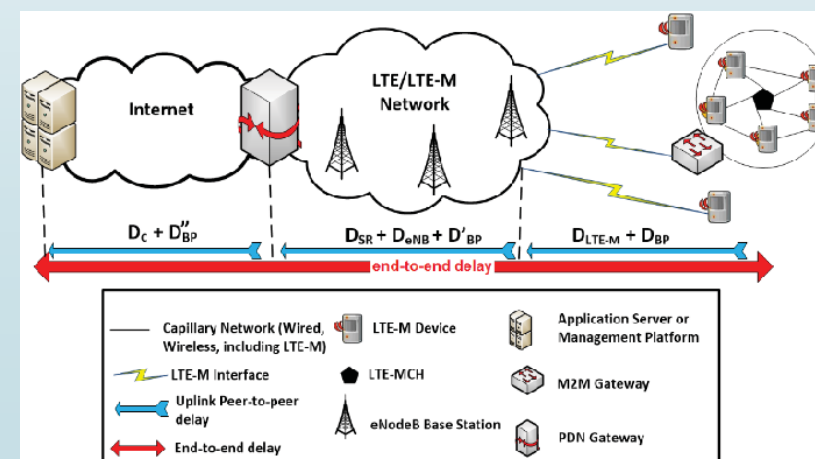
LoRa/LoRaWAN



NB-IoT



LTE-M



Comparativa entre tecnologías LPWAN

	Frecuencia	Modulación	Ancho de banda	Velocidad	Bidireccional	Límite de mensajes	Longitud máxima	Alcance	Duración batería	Estandarización
Sigfox	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	BPSK	100 Hz	100 bps	Half-duplex	140 (UL) 4 (DL)	12 bytes (UL) 8 bytes (DL)	10 km (urbano) 40 km (rural)	20 años	La compañía Sigfox + ETSI
LoRa/LoRaWAN	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	CSS	250 kHz 150kHz	50 kbps	Half-duplex	Ilimitado	243 bytes	5 km (urbano) 20 km (rural)	15 años	LoRa -Alliance
LTE-M	Bandas de frecuencia LTE con licencia	QPSK	1,4 MHz	1 Mbps	Full-duplex	Ilimitado	27.2 bytes (DL) 62.5 bytes (UL)	1 km (urbano) 5 km (rural)	10 años	3GPP
NB-IoT	Bandas de frecuencia LTE con licencia y 2G	QPSK	200kHz	100 kbps	Half-duplex	Ilimitado	1600 bytes	1 km (urbano) 10 km (rural)	10 años	3GPP

Comparativa entre tecnologías LPWAN

Si hacemos una comparativa en términos de características IoT:

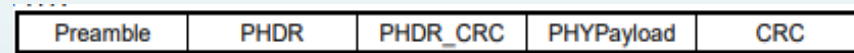
	Sigfox	LoRa	LTE-M	NB-IoT
QoS	Media	Media	Alta	Muy Alta
Batería	20 años	15 años	10 años	10 años
Latencia	Alta	Alta clase A y B Baja en clase C	Baja	Baja
Escalabilidad	Baja	Baja	Alta	Alta
Rango	Alto	Media	Bajo	Bajo
Implantación	Medio	Alta	Baja	Baja
Coste	Bajo	Bajo	Alto	Alto

- ▶ LoRa y Sigfox destacan para aplicaciones no sensibles a la latencia como el tracking de mercancías, el control del consumo de un hogar, la agricultura o mediciones meteorológicas.
- ▶ NB-IoT y LTE-M destacan para aplicaciones sensibles a la latencia como parking inteligente, alarmas de incendios o la sanidad.

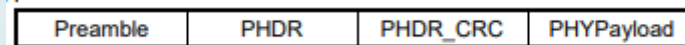
LoRaWAN en profundidad

- LoRa (Long Range) es el tipo de modulación en radiofrecuencia, por tanto, es la capa física de la red LPWAN conocida como LoRaWAN. Su propietario es Semtech.

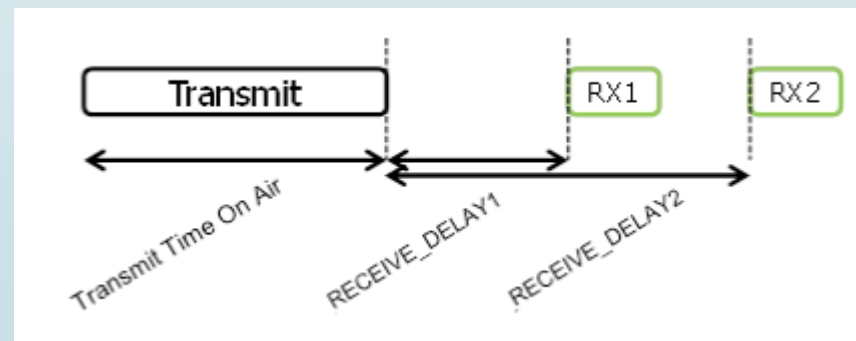
- Trama uplink:



- Tramo downlink:



- Ventana de recepción:



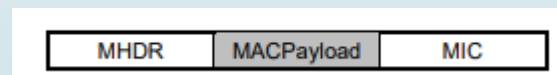
LoRaWAN en profundidad

- ▶ LoRa utiliza la banda ISM.
 - ▶ No necesita licencia.
 - ▶ En Europa 868 MHz, en Asia 433 MHz y en EEUU 915 MHz.
- ▶ Modulación Chirp Spread Spectrum (CSS)
- ▶ Método de ajuste dinámico (ADR)
- ▶ Seis factores de ensanchamiento (SF7 – SF12)
 - ▶ 0.3kbps para SF12 hasta 5486 kbps para SF7
 - ▶ -137 dBm para SF12 y -123 para SF7
 - ▶ 14 km para SF12 y 2 km para SF7.
- ▶ Ciclo de trabajo menor al 1%

LoRaWAN en profundidad

- ▶ LoRaWAN es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para comunicar y administrar dispositivos LoRa, por tanto, es la capa de acceso al medio y se desarrolla de forma abierta por LoRa Alliance.
- ▶ Clases de dispositivos:
 - ▶ Clase A
 - ▶ Clase B
 - ▶ Clase C

- ▶ Trama MAC:



- ▶ MAC payload:



LoRaWAN en profundidad

- ▶ Activación del dispositivo final:
 - ▶ **Over the air activation (OTAA)**
 - ▶ **Activation by personalization (ABP)**
- ▶ Seguridad cifrado simétrico de llave compartida con AES-128.

- ▶ Aspectos teóricos:

- ▶ $Overlap(x, y) = \left| \frac{T_{ix} + T_{fx}}{2} - \frac{T_{iy} + T_{fy}}{2} \right| < \frac{(T_{fx} - T_{ix}) + (T_{fy} - T_{iy})}{2}$

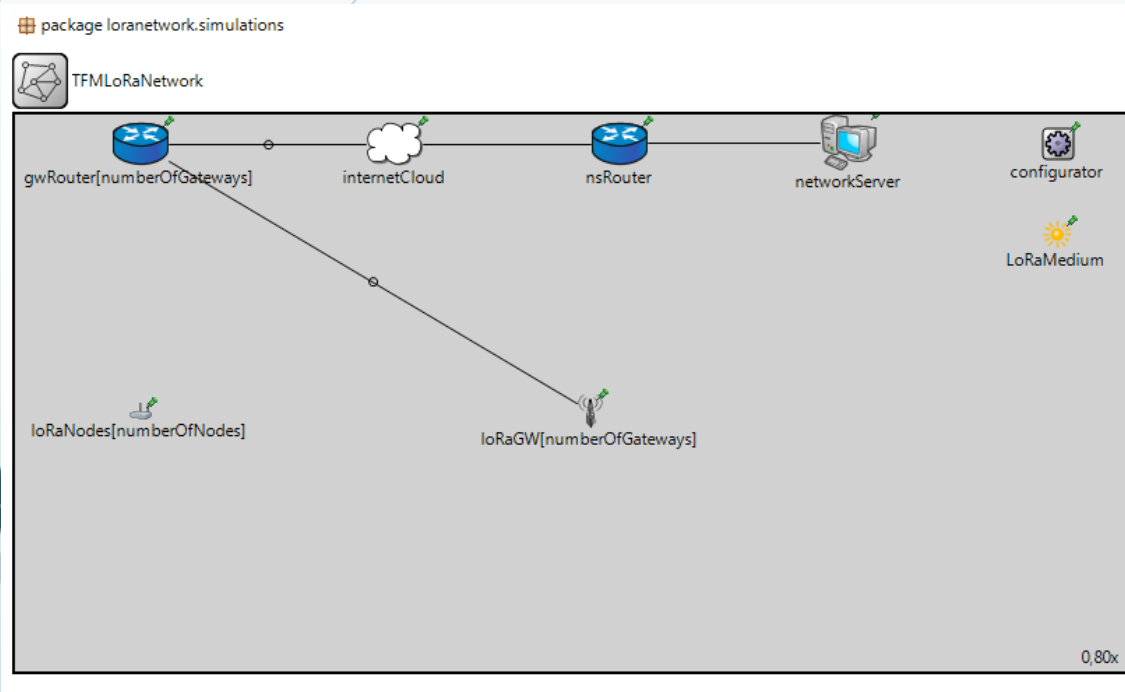
- ▶ $DER = \frac{\text{Paquetes Recibidos correctamente}}{\text{Paquetes enviados}}$

- ▶ $P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} - L_{pl} + G_{rx} - L_{rx}$

- ▶ $Duración\ batería(años) = \frac{E_{nom\ bat}}{P_{nodo} * 24 * 365}$ donde $P_{nodo} (W) = \frac{E_{red}}{T_s(s) * N_n}$

Simulaciones

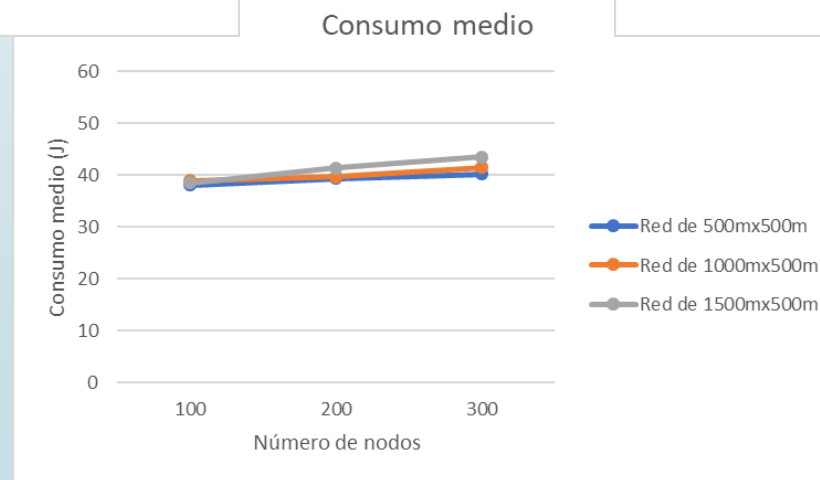
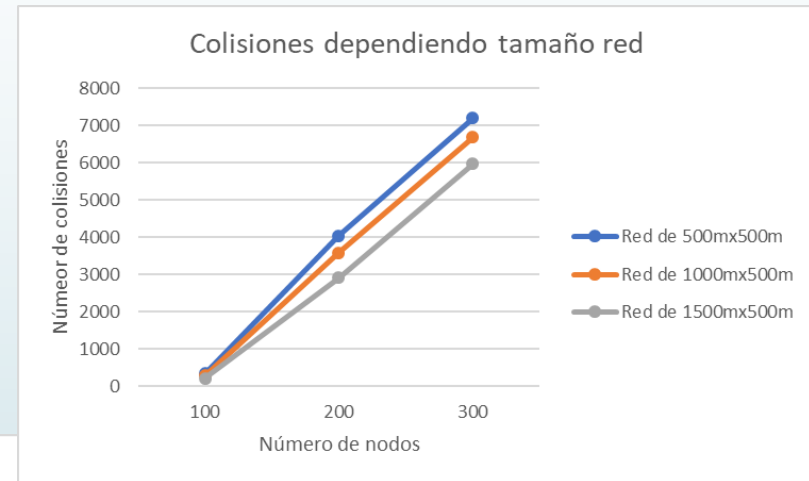
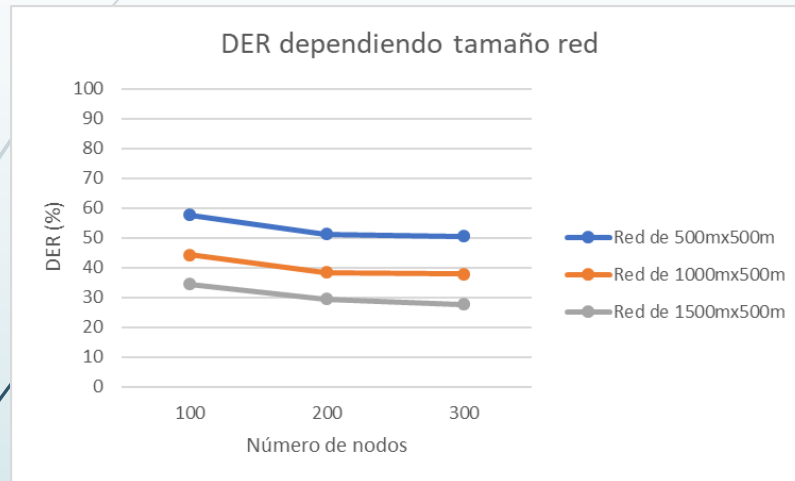
- OMNET++ con el simulador FLoRa



	Área	Nº Nodos	Sigma	Nº gateways
Escenario 1	500 x 500	100/200/300	3.57	1/2
Escenario 2	1000 x 500	100/200/300	3.57	1/2
Escenario 3	1500 x 500	100/200/300	3.57	1/2

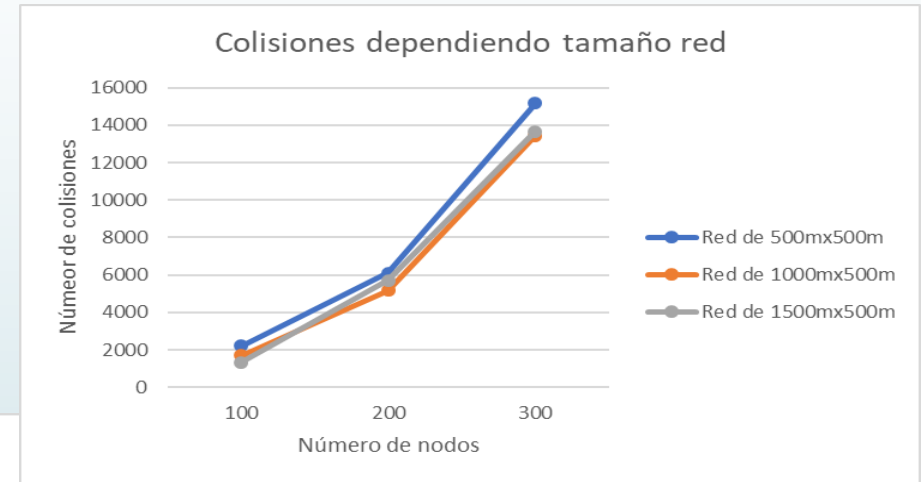
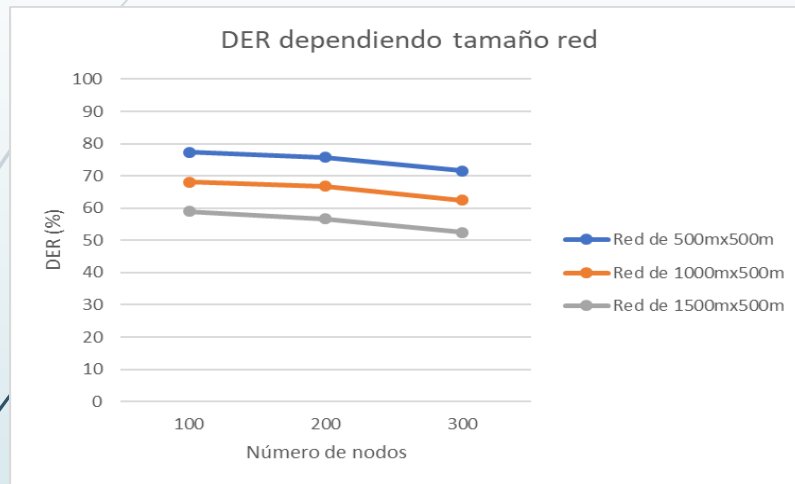
Simulaciones

► Un gateway en área urbana

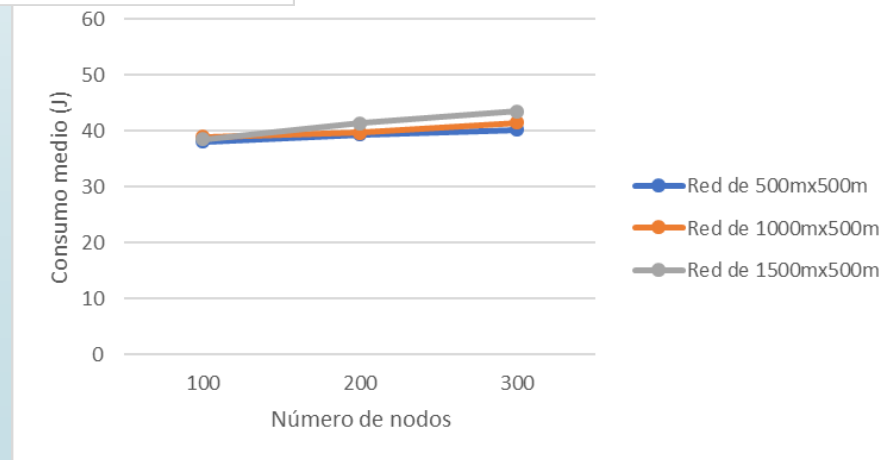


Simulaciones

► Dos gateways en área urbana

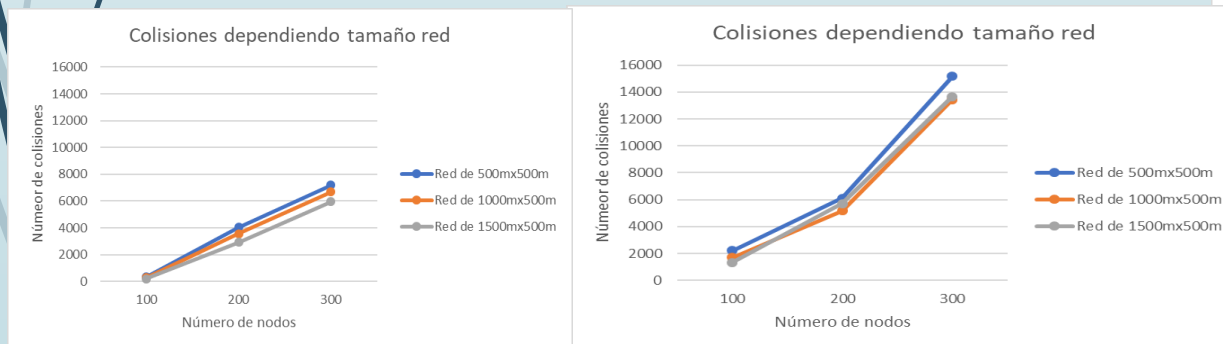
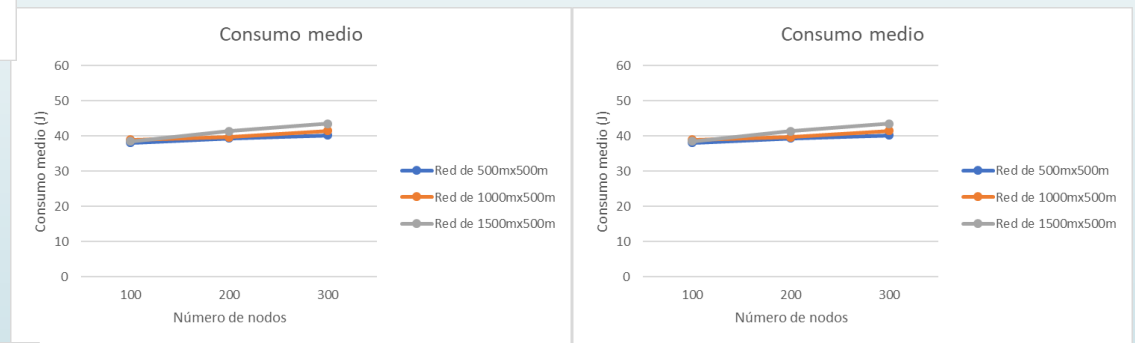
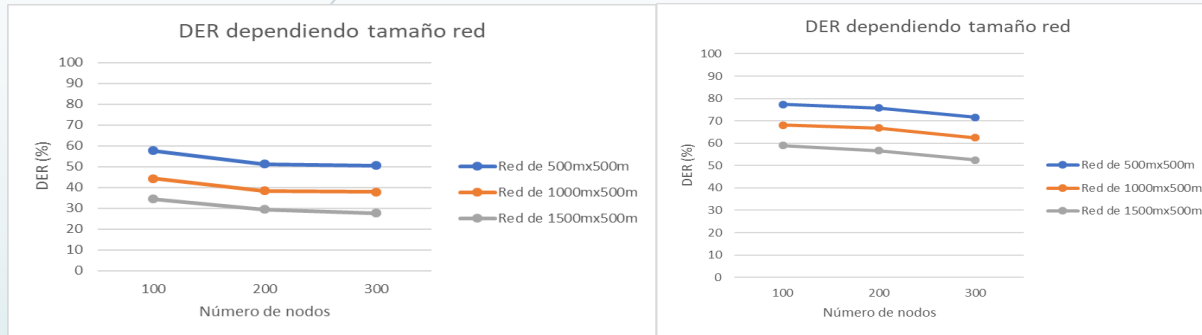


Consumo medio



Simulaciones

- Comparativa para un gateway y dos gateways en área urbana



Conclusiones

- ▶ LoRa destaca en duración de batería, implantación y coste
- ▶ Sigfox destaca en cobertura, duración de la batería y coste
- ▶ NB-IoT y LTE-M destacan en QoS, latencia y escalabilidad

- ▶ En LoRa a mayor número de nodos menor escalabilidad y mas colisiones
- ▶ En LoRa a mayor área menor escalabilidad
- ▶ En LoRa el consumo no se ve afectado
- ▶ En LoRa al añadir un gateway mejoramos la escalabilidad y aumentan las colisiones
- ▶ LoRa funciona en aplicaciones IoT tolerantes a la latencia y con un bajo tasa de envío de datos
- ▶ LoRa es fiable en aplicaciones de domótica, Smart-cities, tracking, agricultura, wearables e industria IoT



Líneas Futuras

- ▶ Modificar FLoRa para poder añadir más canales
- ▶ Simulaciones en entorno sub-urbano o rural
- ▶ Escenario real



¡MUCHAS GRACIAS!

?