

# LoRaWAN™

---

Trabajo final de Redes de Comunicación

Ing. en Telecomunicaciones

Scalambrin Luca - Markevich Nahuel

# Introducción:

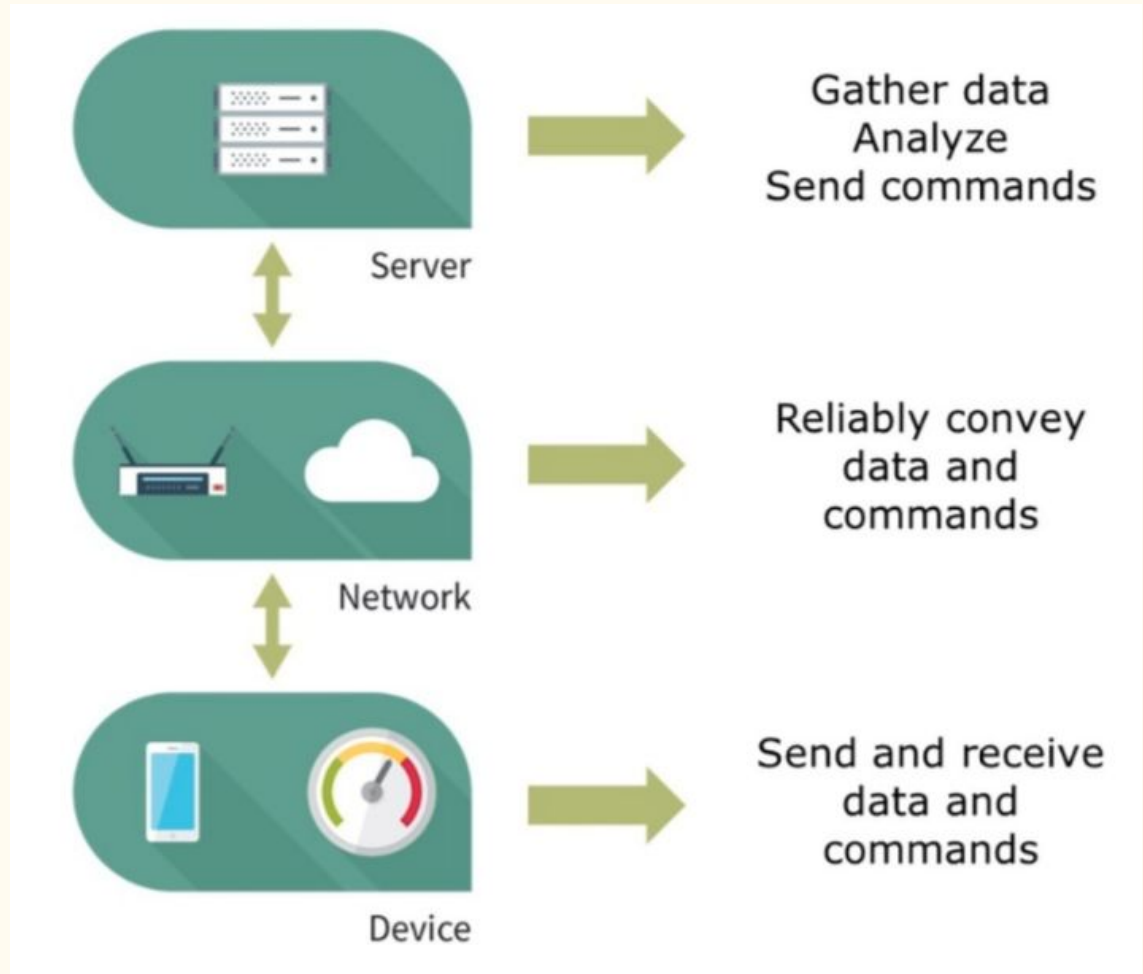
# LoRa/LoRaWAN

---

# IoT - Internet de los objetos

- Se estiman +20 billones de dispositivos empleando conceptos de IoT.
- Para el 2025 se espera un impacto económico anual de \$6,2 trillones de U\$D.
- Gran utilización en:
  - Cuidado de salud
  - Transporte
  - Gestión de infraestructura urbana (Smart cities)
  - Smart Homes
  - Agricultura

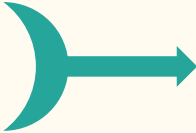
# Modelo básico de tres capas de la arquitectura de una red destinada a IoT



# Arquitectura básica

- Server layer: capa de aplicación que almacena y da uso de los datos colectados.
- Network layer: interconecta dispositivos con dispositivos y dispositivos con el servidor.
- Device layer: colecta los datos que serán utilizados por otras capas.

# ¿Qué se busca?

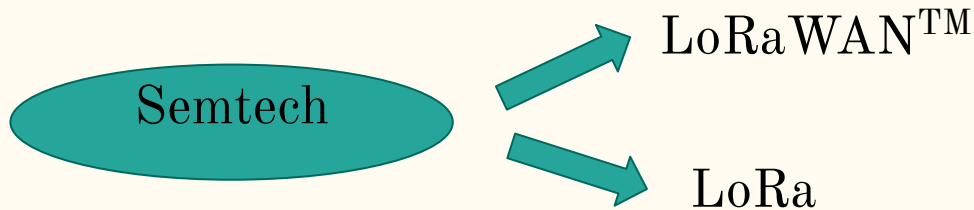
- Escalabilidad: se pronostican densidades de 60k dispositivos por  $\text{km}^2$ .
  - Costo: los chips deben tener costos muy reducidos.
  - Battery life: se busca una larga autonomía, lo cual es necesario para reducir costos de la red.
  - Poder de cómputo: los dispositivos(end-nodes) tienen capacidades reducidas.
  - Throughput ??
  - Conexiones persistentes ??
- 
- No son cruciales en una primera instancia

# ¿Cuál es el mejor estándar para IoT?

Una posible propuesta: LPWAN

- Low Power Wide Area Network

Una tecnología LPWAN: LoRaWAN<sup>TM</sup>



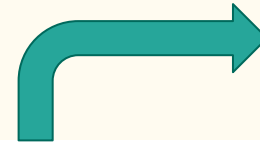
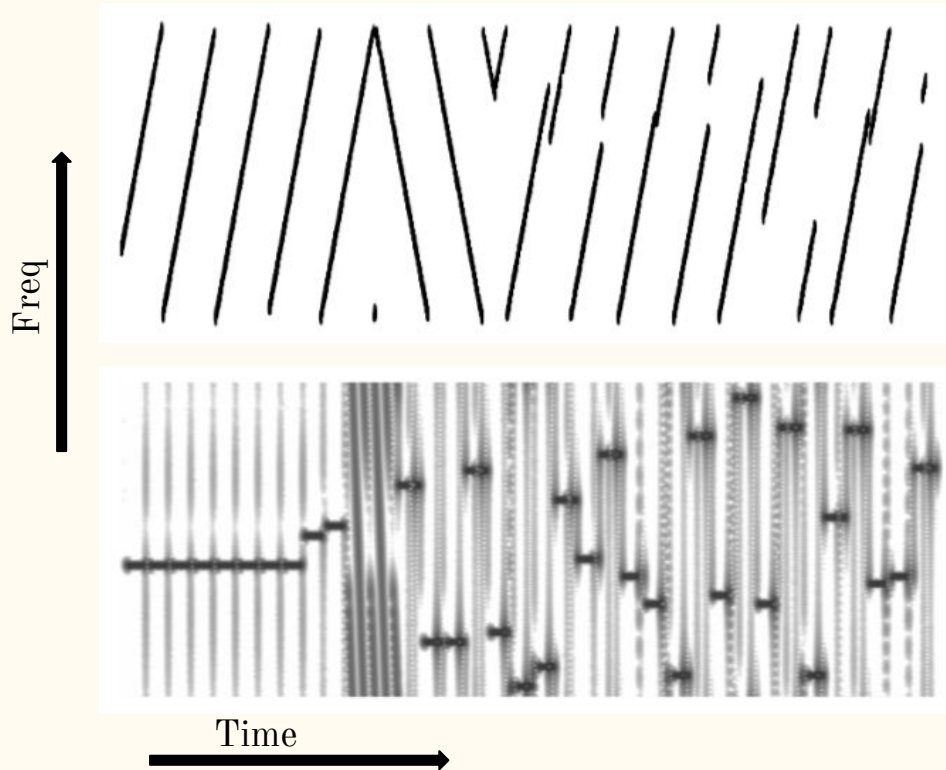
# LoRa modulation

- Long Range: gran rango de sensibilidad disponible, pero tasas bajas (hasta 40 ~ 50kbps).
- Capa física que implementa CSS (Chirp Spread Spectrum), patentado.
- Sinusoide cuya frecuencia varía linealmente con el tiempo.
- SF: spreading factor (# bits presentes en cada símbolo)
- Algunas definiciones:

$$T_s = 2^{\text{SF}}/B, \quad R_b = SF / T_s = SF * B / 2^{\text{SF}}.$$



# LoRa modulation



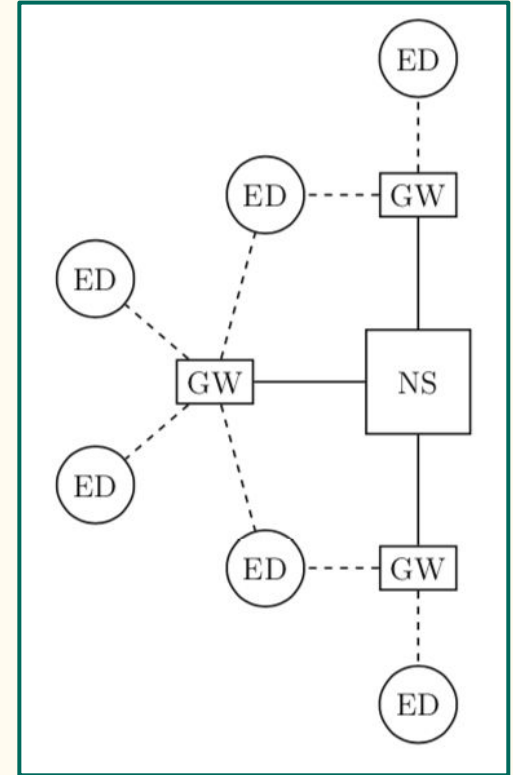
Ortogonalidad  
entre los diferentes  
SF

$SF$	SNR
7	-7.5 dB
8	-10 dB
9	-12.5 dB
10	-15 dB
11	-17.5 dB
12	-20 dB

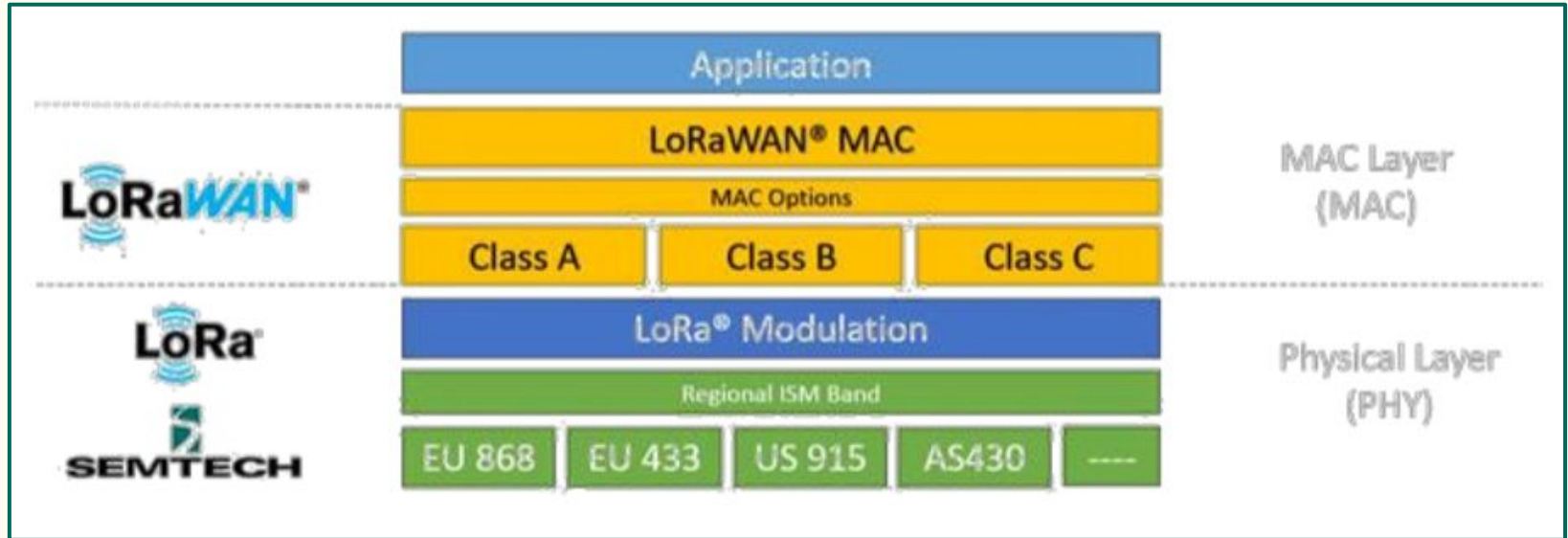
# LoRaWAN<sup>TM</sup>

Define el protocolo de comunicación y, a diferencia de la modulación LoRa, es de tipo “open”, regido por LoRa Alliance.

- Conexión tipo estrella típica.
- ED conectados a más de un GW.



# Modelo de capas



# LoRaWAN - ns3

---

# Modelado

Todo el proceso de Tx/Rx deberá ser simplificado para poder llevar a cabo la simulación

- Measurement Model:
  - Efectos de propagación
  - Desvanecimiento de pequeña escala
  - Ganancia de antenas
- Performance Model: determina la prob. de recibir paquete de forma correcta. Se utilizan:
  - Niveles de potencia del enlace
  - Posibles nodos interferentes

# Modelado

Publicaciones que analizan diferentes modelos y efectos que degradan las comunicaciones

- “Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges” - C. Goursaud and J.M. Gorce
- “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things” - A. Augustin, J. Yi and W. M. Townsley
- “LoRa for the internet of things” - M. Bor, J. E. Vidler and U. Roedig

Interferencias debido a los diferentes SF, mediciones con chip SX1276 para evaluar la performance de decodificación, análisis de las causas del evento “packet loss” (framework SimPy para simular)

# Modelado

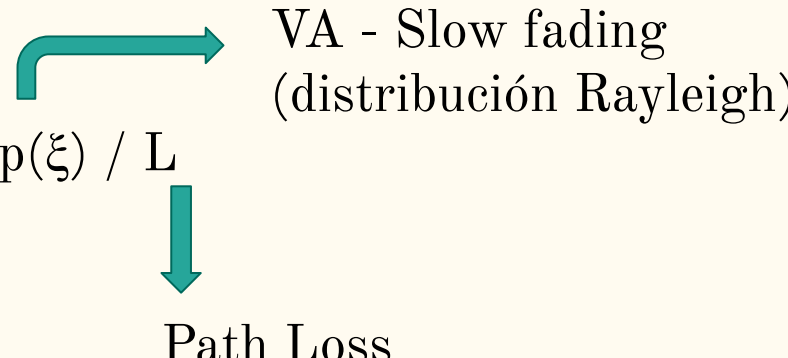
Conclusión



Modelar el esquema de la red puede no ser algo trivial

# Measurement model

Dado un conjunto Tx/Rx, se busca conocer la potencia de señal recibida

$$P_{rx} = P_{tx} * G_{tx} * G_{rx} * \exp(\xi) / L$$


VA - Slow fading  
(distribución Rayleigh)

Path Loss

$$L \text{ [dB]} = L_{\text{Prop}} \text{ [dB]} + L_{\text{Buildings}} \text{ [dB]}$$



# Measurement model

Dado un conjunto Tx/Rx, se busca conocer la potencia de señal recibida

$$P_{rx} = P_{tx} * G_{tx} * G_{rx} * \exp(\xi) / L$$

VA - Slow fading  
(distribución Rayleigh)

Path Loss

$$L \text{ [dB]} = L_{\text{Prop}} \text{ [dB]} + L_{\text{Fading}} \text{ [dB]}$$

# Performance model

Utiliza:

- Pot. recibidas (measurement model) e información sobre el lugar y tiempo de origen de Tx

Genera:

- Abstracciones sobre la capa física real, para poder calcular la interferencia



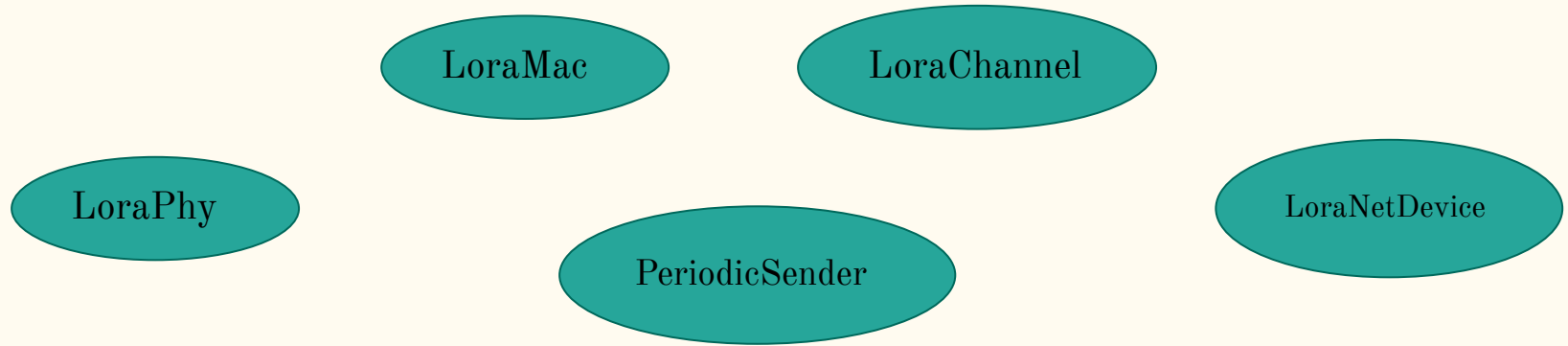
SNIR



SNIR threshold matrix  
(SNIR - SF)

# Módulo LoRa

- “Network level performances of a LoRa system” - Davide Magrin



(Cada bloque con su correspondiente “helper”)

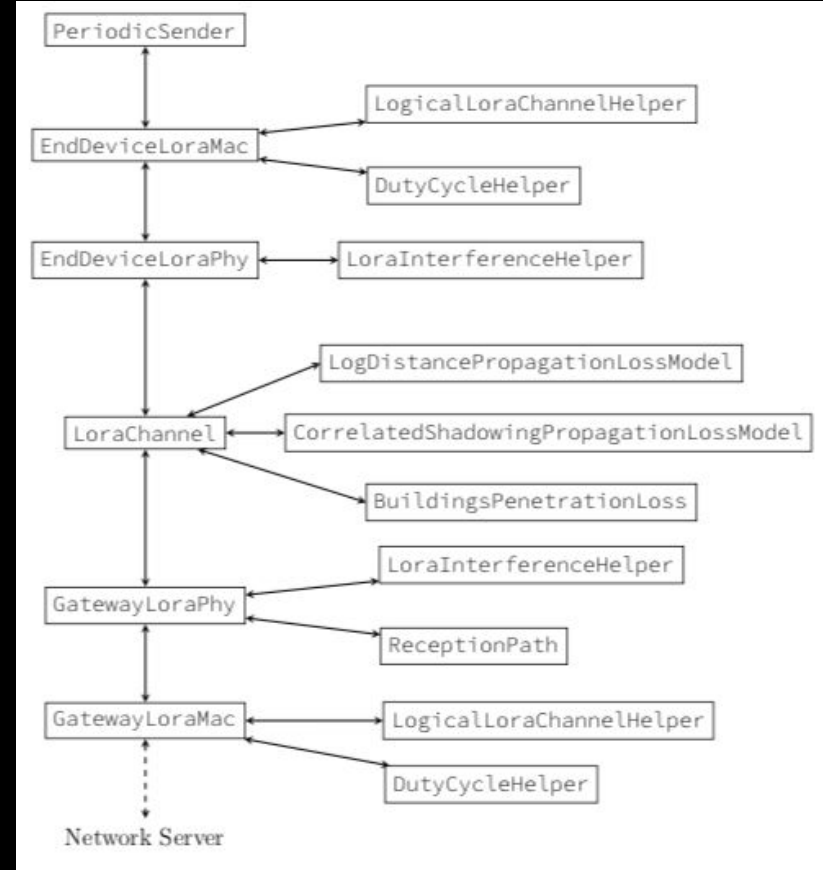
# Módulo LoRa

Consideraciones para las simulaciones:

- Los esquemas empleados son de tipo “LoRa Class A Network” (transmisiones siempre iniciadas por EndNodes).
- Tráfico únicamente en el sentido “UpLink” (¿Limitación?).
- Arquitectura basada en EndNodes y Gateways (nivel al que se implementa la modulación LoRa).
- Freq.(Banda EU): 868.1MHz, 868.3MHz y 868.5MHz.
- SF: 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

# Bloques fundamentales

PeriodicSender corre sobre todos  
los nodos  
(tráfico según el estándar MAR,  
“Technical Report 45.820” )



Simulación: esquema,  
métricas y código

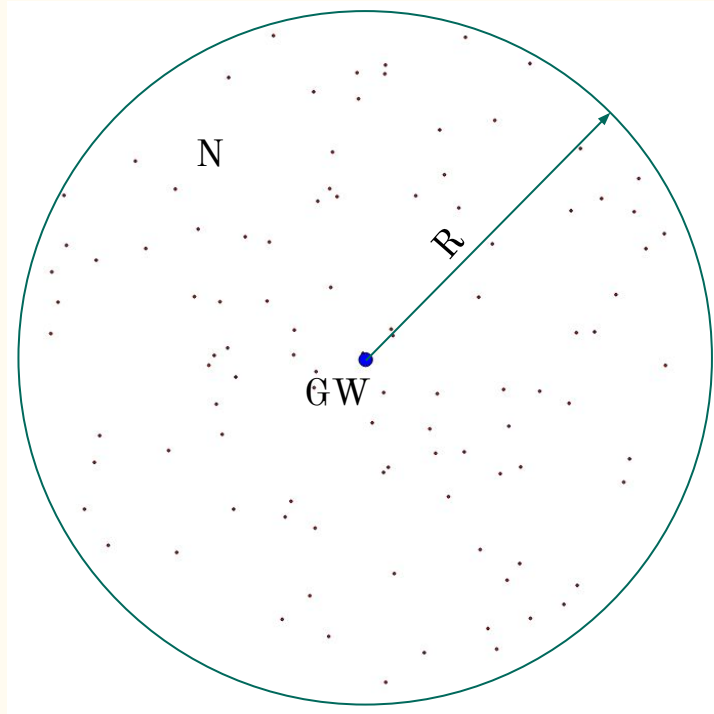
—

# Objetivo de trabajo

Analizar escenario simplificado de una ‘smart city’:

- Observar efectos de variar parámetros los de transmisión
- Validar resultados contrastando con publicación de referencia\*
- Analizar concordancia con lo previsto por la teoría

# Esquemas de simulación



Esquemas simples de *smart city*: un Gateway central y **N** nodos distribuidos en un radio **R**.

- **Esquema 1:**
  - $R = 7500$  m
  - $N = 200$
  - $BW = [125; 250; 500]$  kHz
- **Esquema 2:**
  - $R = [2,5; 5; 7,5; 10]$  km
  - $N = [200; 2000]$
  - $BW = 500$  kHz
  - $SF = 10$



# Métricas y parámetros de simulación

- **Parámetros de simulación:**

- Radio (R)
- Número de nodos (N)
- Ancho de banda (BW)
- Spread factor (SF)
- Tamaño de payload (= 33 bytes)
- Tiempo de simulación (= 200')
- Período de transmisión (= 600'')

- **Métricas representativas:**

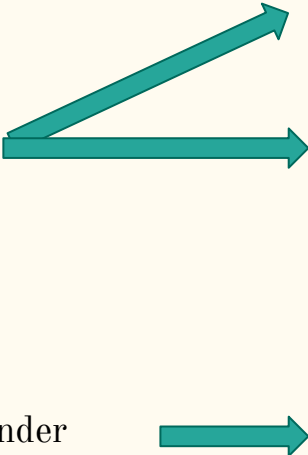
- vs Spread factor y BW
  - Packet Success Rate
  - Time on Air
  - Throughput
- vs Número de nodos y R
  - Packet Success Rate

# Principales bloques de simulación (I)

- Creación de helpers y dispositivos, y configuración de movilidad similar a lo usual.

- Seteo de SF y BW

- Instalación de PeriodicSender



```
//Forzamos el SF a todos los nodos, l = 12 - SF
Config::SetDefault ("ns3::EndDeviceLorawanMac::DataRate", UIntegerValue (1));

// Seteo de BW en cada nodo
std::vector<double> dataRate_v(7,bw);
for (NodeContainer::Iterator ji = endDevices.Begin (); ji != endDevices.End (); ++ji){
    Ptr<Node> node = *ji;
    Ptr<LoraNetDevice> loraNetDevice = node->GetDevice (0)->GetObject<LoraNetDevice> ();
    Ptr<LorawanMac> lmac = loraNetDevice->GetMac();
    lmac->SetBandwidthForDataRate (dataRate_v);
}

/*****
 * Install applications on the end devices */
*****/
Time appStopTime = Seconds (simulationTime);
PeriodicSenderHelper appHelper = PeriodicSenderHelper ();
appHelper.SetPeriod (Seconds (appPeriodSeconds));
appHelper.SetPacketSize (packSize);
ApplicationContainer appContainer = appHelper.Install (endDevices);

appContainer.Start (Seconds (0));
appContainer.Stop (appStopTime);
```

# Principales bloques de simulación (II)

- Cálculo de ToA\*:

- Calcula:  $T_s = 2^{SF} / BW$
- Calcula tiempo de preámbulo y de payload según SF, tamaño de paquete, Ts y otros parámetros predeterminados.
- Devuelve:

$$ToA = T_{preamb} + T_{payload}$$

```
// CALCULO DE ToA
Time GetTimeOnAir (uint8_t sf, double bw, uint32_t pack_size,
                  uint32_t nPreamble = 8, double crc = 1){
    // Compute the symbol duration
    // Bandwidth is in Hz
    double tSym = pow (2, int(sf)) / (bw);

    // Compute the preamble duration
    double tPreamble = (double(nPreamble) + 4.25) * tSym;

    // num and den refer to numerator and denominator of the time on air formula
    double num = 8 * pack_size - 4 * sf + 28 + 16 * crc;
    double den = 4 * (sf);
    double payloadSymbNb = 8 + std::max (std::ceil (num / den) * (1 + 4), double(0));

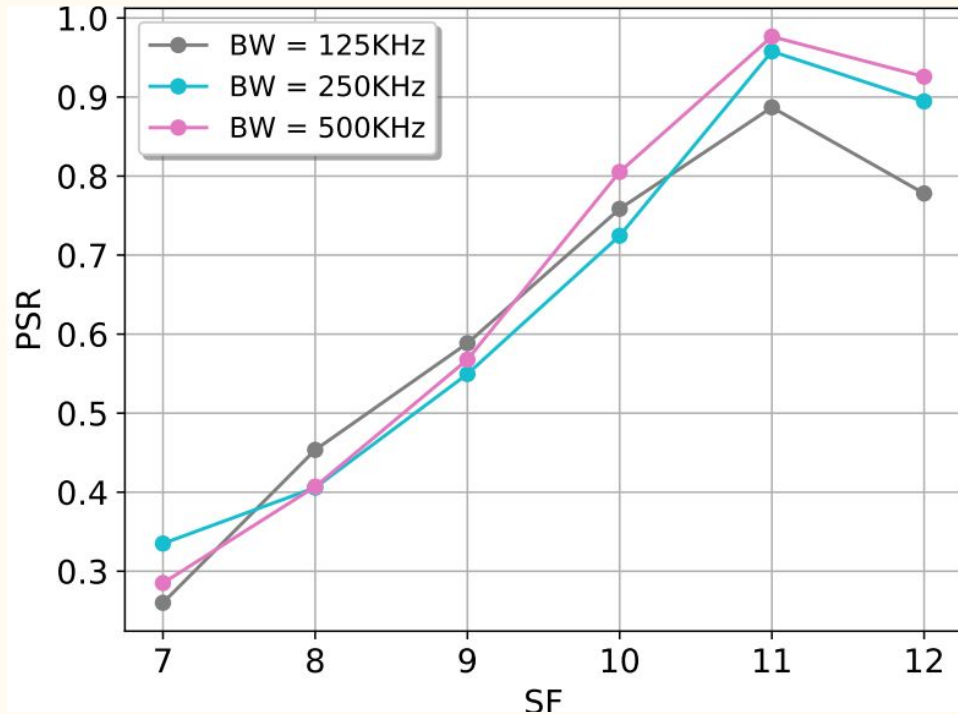
    // Time to transmit the payload
    double tPayload = payloadSymbNb * tSym;

    // Compute and return the total packet on-air time
    return Seconds (tPreamble + tPayload);
}
```

# Resultados

—

# Tasa de éxito de paquetes (PSR) - Esquema 1



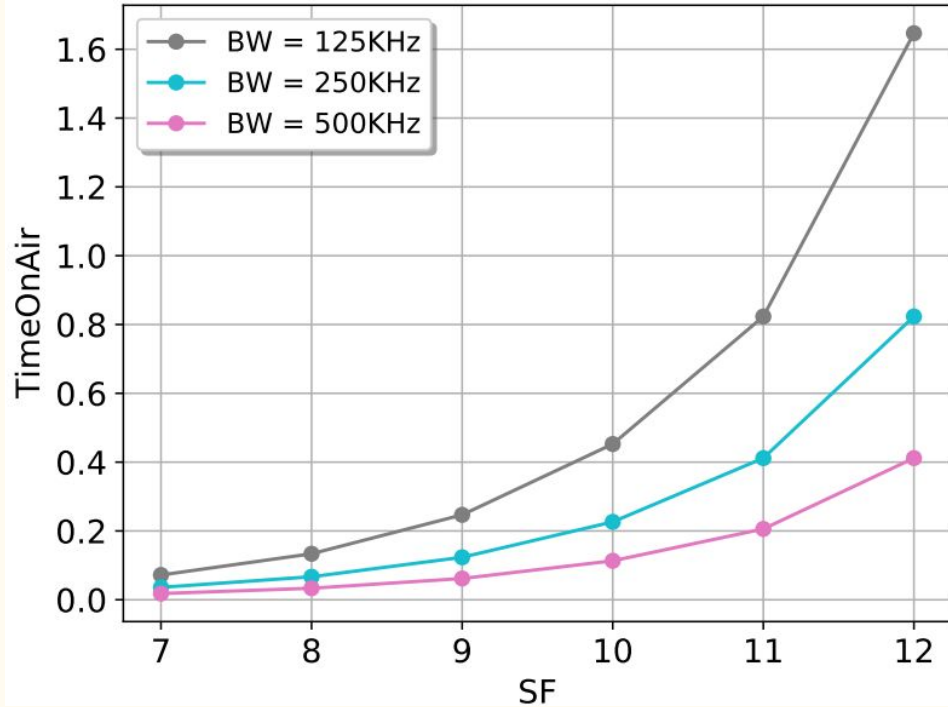
- Mejora significativa con el aumento del SF



Esperable: sensibilidad vs SF

- Caída en  $SF = 12$  (?)

# Tiempo de aire (ToA) - Esquema 1



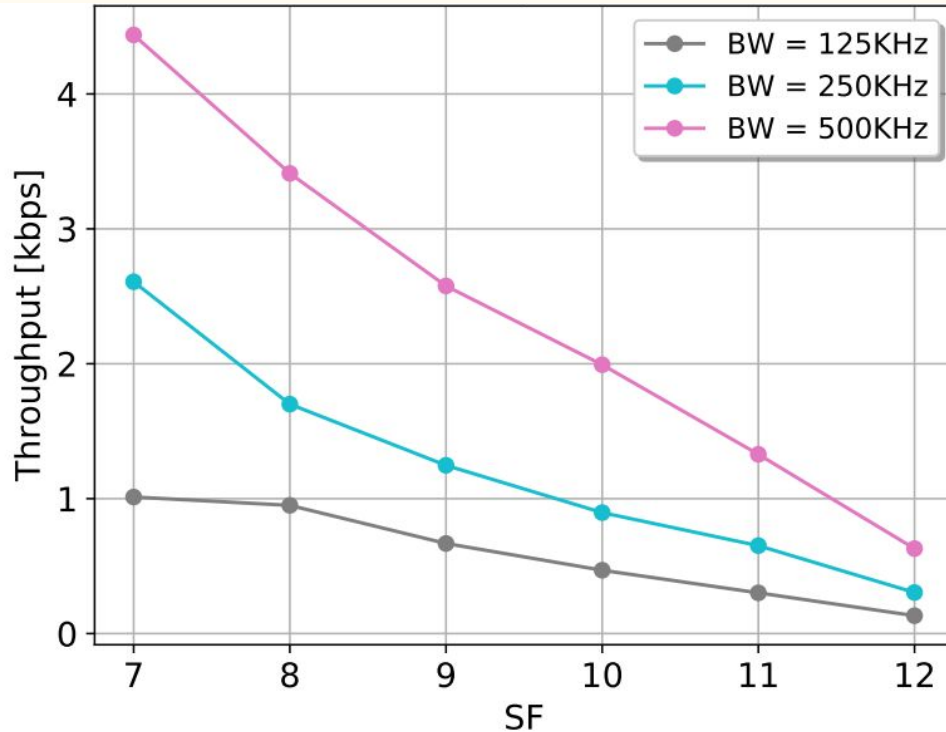
- Aumento significativo de ToA con el SF
- Decremento de ToA con el BW



Esperable:

- Relación directa de fórmula
- Data rate vs SF

# Throughput - Esquema 1



- Decremento de ToA con el SF
- Aumento de ToA con el BW



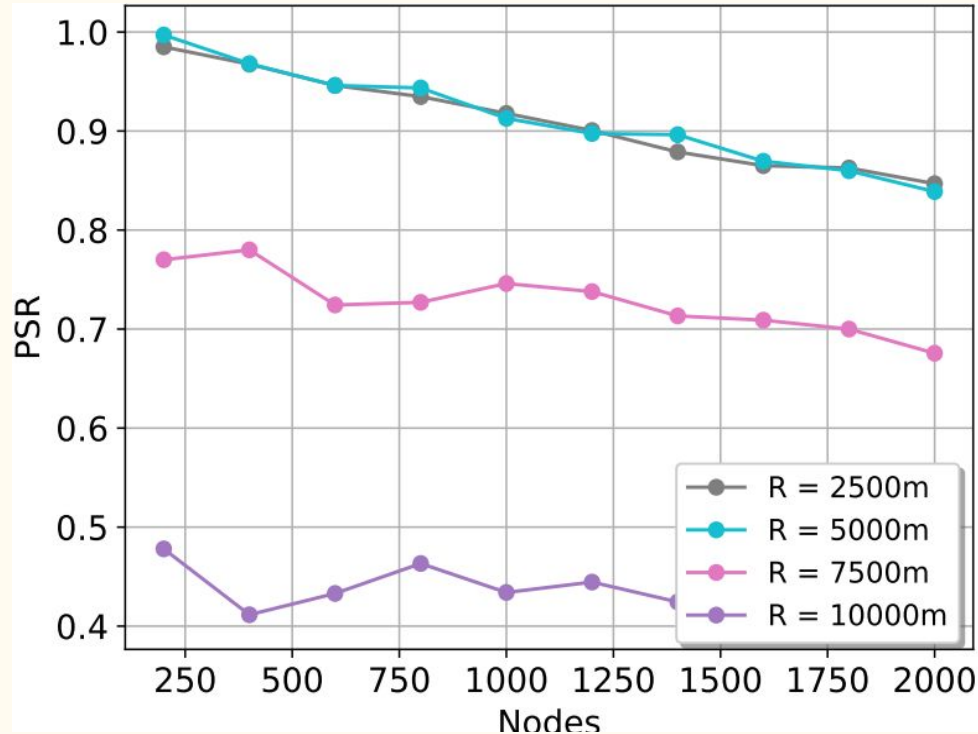
Esperable:

- Relación directa de fórmula

No tan esperable:

- Mayor data rate  $>$  Mayor PSR

# Radio de cobertura y cantidad de nodos (I) - Esq. 2



- Desmejoría significativa con distancia



Límite de alcance (sensibilidad)

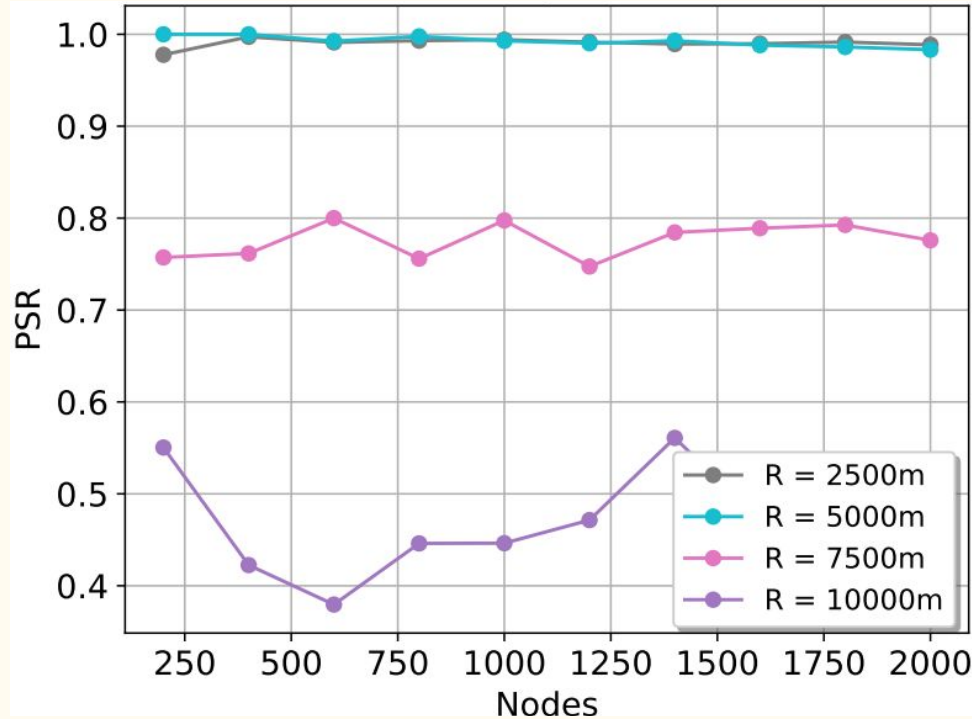
- Desmejoría con cantidad de nodos



Interferencia (exceso de tráfico)



# Radio de cobertura y cantidad de nodos (II) - Esq. 2\*



- Misma desmejoría vs distancia
- Constante vs cantidad de nodos



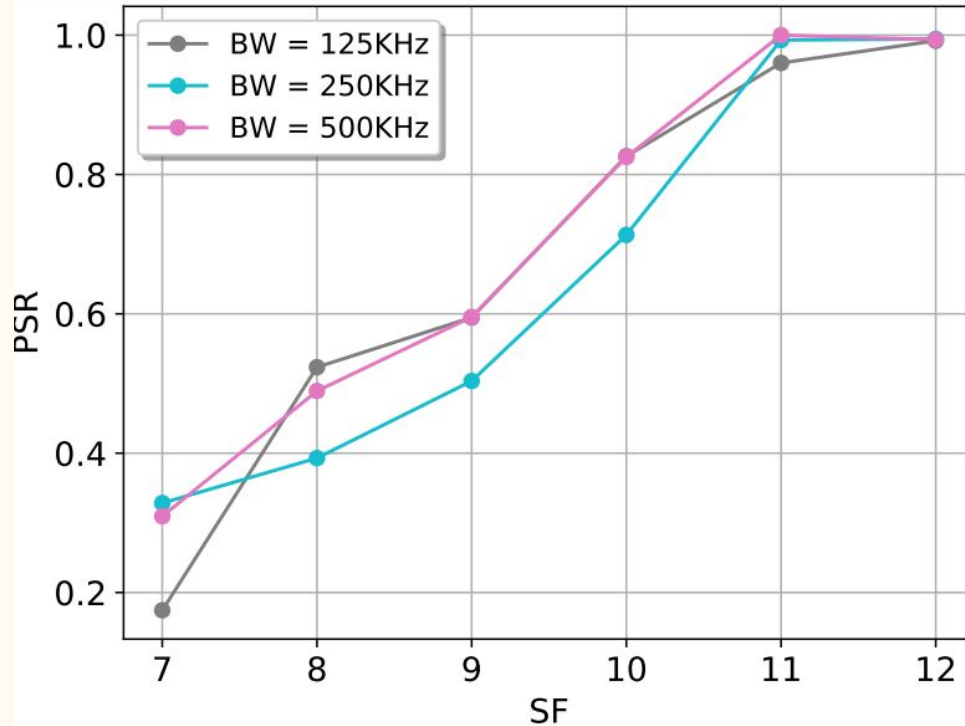
Poco tráfico = poca interferencia

\*Tiempo de simulación = 24 hs

Períodos de transmisión:

Período tx	% nodos
24 hs	40%
2 hs	40%
60'	15%
30'	5%

# Tasa de éxito de paquetes (PSR) - Esquema 1\*



- Mejora significativa con el aumento del SF



Esperable: sensibilidad vs SF

- ~~Caída en SF = 12~~



Poco tráfico = poca interferencia

# Conclusiones

—

# Conclusiones

- Se lograron aplicar conceptos referidos a la modulación LoRa sobre el simulador ns3, utilizando el módulo correspondiente.
- Se obtuvieron resultados que fueron consistentes con los modelos empleados en el módulo de LoRaWAN.
- Se lograron reproducir, con algunas diferencias, los resultados de la publicación de referencia\*

\*“Lora Characteristics Analysis for IoT Application using NS3 Simulator” - Humanitarian Tec. Conference, Indonesia (2019)

¡Muchas gracias!

