

**Integrantes:**

- Andres Felipe Sanchez Sanchez
- Sergio Alejandro Pineda Vejar
- Cristian David Gonzalez Carrillo
- Cristian Adolfo Baquero Pico

**Experimentación y análisis de resultados**

A continuación se describe cómo se realizó el proceso de experimentación y recolección de resultados de los eventos que se piden desarrollar en la 'Descripción del problema' (archivo adjunto).

**Experimentación****Punto a y b**

Enunciado: Realizar una red ad hoc con 20 nodos se puede usar el código de mixed -wireless- ad hoc que se encuentra en la carpeta wireless de los ejemplos. En este escenario se deben usar diversos tipos de tráfico y cambiando su distribución.

Para este punto se procede a realizar 45 diferentes escenarios de prueba para ver el comportamiento de esta red con diferentes parámetros. Estos escenarios se explican a continuación:

- Se tomó en cuenta 3 tipos de tráfico para hacer nuestros experimentos:
  - Tráfico de video bajo demanda (variable aleatoria Log Normal)
  - Tráfico de llamadas (variable aleatoria exponencial)
  - Tráfico Uniforme (variable aleatoria uniforme)
- Como la disposición de los nodos finales era en forma de anillo, tal como se describe en 'Diseño del simulador' (archivo adjunto) se tomó en cuenta tres radios distintos
  - 10 unidades de medida
  - 100 unidades de medida

- o 1000 unidades de medida
- Se tomó en cuenta 5 tamaños de paquete:
  - o 10 bytes
  - o 30 bytes
  - o 50 bytes
  - o 100 bytes
  - o 1000 bytes

Por tanto cada escenario fue una combinación única de los parámetros mencionados anteriormente.

Una vez se realiza cada uno de los experimentos se realiza un reporte con los siguientes resultados:

- Tx Packets
- Tx Bytes
- Offered Load
- Rx Packets
- Rx Bytes
- Throughput
- Mean delay
- Mean jitter
- Number of OnOffPackets received
- % of OnOffPackets received

### **Punto c**

Enunciado: Evalúe con la herramienta OpenAI Gym cómo optimizar el desempeño del sistema basado en LoRaWAN (Las medidas de desempeño a considerar las determina el grupo desarrollador con base en criterios técnicos comúnmente usados en redes)

Para este punto se procede a realizar 36 diferentes escenarios de prueba para ver el comportamiento de esta red con diferentes parámetros. Estos escenarios se explican a continuación:

- Se tomó en cuenta 3 tipos de tráfico para hacer nuestros experimentos:

- Tráfico de video bajo demanda (variable aleatoria Log Normal)
  - Tráfico de llamadas (variable aleatoria exponencial)
  - Tráfico Uniforme (variable aleatoria uniforme)
- Como la disposición de los nodos finales era en forma de anillo, tal como se describe en 'Diseño del simulador' (archivo adjunto) se tomó en cuenta tres radios distintos
  - 10 unidades de medida
  - 100 unidades de medida
  - 1000 unidades de medida
- Se tomó en cuenta 5 tamaños de paquete:
  - 10 bytes
  - 30 bytes
  - 50 bytes
  - 100 bytes

Por tanto cada escenario fue una combinación única de los parámetros mencionados anteriormente.

Una vez se realiza cada uno de los experimentos se realiza un reporte con los siguientes resultados:

- Número de End Devices
- Paquetes Enviados
- Paquetes Perdidos
- Paquetes Recibidos
- Probabilidad de Recepción satisfactoria
- Throughput
- Probabilidad de Interferencia
- Probabilidad de No Recepción
- Probabilidad de Baja Sensibilidad
- Probabilidad de No Recepción
- Probabilidad de Recepción dada una alta Sensibilidad
- Probabilidad de Interferencia dada una alta Sensibilidad
- Probabilidad de No Recepción dada una alta Sensibilidad

#### **Punto d**

Enunciado: Una vez hecho está simulación realizar un escenario con 20 nodos con el módulo LoRaWAN instalado con los mismos tipos de tráfico usados en la simulación anterior. Para ello debe modificar algunos de estos tres programas (simple-network-example, complete-network-example o network-server-example)

Para este punto se procede a realizar 36 diferentes escenarios de prueba para ver el comportamiento de esta red con diferentes parámetros. Estos escenarios se explican a continuación:

- Se tomó en cuenta 3 tipos de tráfico para hacer nuestros experimentos:
  - Tráfico de video bajo demanda (variable aleatoria Log Normal)
  - Tráfico de llamadas (variable aleatoria exponencial)
  - Tráfico Uniforme (variable aleatoria uniforme)
- Como la disposición de los nodos finales era en forma de anillo, tal como se describe en 'Diseño del simulador' (archivo adjunto) se tomó en cuenta tres radios distintos
  - 10 unidades de medida
  - 100 unidades de medida
  - 1000 unidades de medida
- Se tomó en cuenta 5 tamaños de paquete:
  - 10 bytes
  - 30 bytes
  - 50 bytes
  - 100 bytes

Por tanto cada escenario fue una combinación única de los parámetros mencionados anteriormente.

Una vez se realiza cada uno de los experimentos (con el uso del agente de OpenAI gym) se realiza un reporte con los siguientes resultados:

- Número de End Devices
- Paquetes Enviados
- Paquetes Perdidos
- Paquetes Recibidos
- Probabilidad de Recepción satisfactoria
- Throughput
- Probabilidad de Interferencia
- Probabilidad de No Recepción
- Probabilidad de Baja Sensibilidad
- Probabilidad de No Recepción
- Probabilidad de Recepción dada una alta Sensibilidad
- Probabilidad de Interferencia dada una alta Sensibilidad
- Probabilidad de No Recepción dada una alta Sensibilidad

## Resultados

### Punto a y b

A continuación se muestra los reportes de los 45 diferentes escenarios de forma resumida, con los parámetros que nos van a servir de comparación:

**Radio = 10 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.02452048287
30	0.07147849066
50	0.1157636589
100	0.215930186
1000	0.7133757962

Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (Mbps)
10	0.337316
30	0.498612
50	0.650067
100	0.990243
1000	3.28728

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.02427478665
30	0.070741402
50	0.1145806792
100	0.2137280239
1000	0.7096451319

Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (Mbps)
10	0.337219
30	0.498383
50	0.64966
100	0.988723
1000	3.31002

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.01284812137

30	0.03731295072
50	0.06026366616
100	0.1120487765
1000	0.4892986943

Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (Mbps)
10	0.336831
30	0.497673
50	0.648618
100	0.989537
1000	3.47081

**Radio = 100 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.001595205466
30	0.004695527783
50	0.007043278856
100	0.01289447821
1000	0.0262966333
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (Mbps)
10	0.048809
30	0.0732079
50	0.0828724
100	0.133047

1000	0.590838
------	----------

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0
30	0
50	0
100	0
1000	0

Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (Mbps)
10	0
30	0
50	0
100	0
1000	0

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0
30	0
50	0
100	0
1000	0
Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento



	(Mbps)
10	0
30	0
50	0
100	0
1000	0

**Radio = 1000 unidades de medida**

Estos datos los omitimos debido a que todas las medidas nos daban un valor nulo o de cero

### **Punto c**

A continuación se muestra los reportes de los 36 diferentes escenarios de forma resumida, con los parámetros que nos van a servir de comparación:

**Radio = 10 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.0666667
30	0.04
50	0
100	0
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	1.06667
30	1.6
50	0
100	0

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.166667
30	0.12
50	0.0625
100	0
Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	2.66667
30	4.8
50	3.33333
100	0

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.0666667
30	0.13
50	0.1
100	0
Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	1.06667
30	5.2
50	5.33333
100	0

Radio = 100 unidades de medida

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.133333
30	0.03
50	0.0625
100	0
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	2.13333
30	1.2
50	3.33333
100	0

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.141667
30	0.08
50	0.05
100	0
Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	3.4
30	3.2
50	2.66667

100	0
-----	---

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.241667
30	0.18
50	0.1375
100	0
Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	3.86667
30	7.2
50	7.33333
100	0

**Radio = 1000 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.0916667
30	0.05
50	0.05
100	0
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	1.46667
30	2

50	2.66667
100	0

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.191667
30	0.15
50	0.0875
100	0

Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	3.06667
30	6
50	4.66667
100	0

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.341667
30	0.24
50	0.1625
100	0

Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	5.46667
30	9.6
50	8.66667

100	0
-----	---

#### Punto d

A continuación se muestra los reportes de los 36 diferentes escenarios de forma resumida, con los parámetros que nos van a servir de comparación:

**Radio = 10 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.672249
30	0.505618
50	0.544693
100	0.426374
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	37.4667
30	54
50	130
100	258.667

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.773613
30	0.295597
50	0.547771
100	0.627273

Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	68.8
30	18.8
50	114.667
100	368

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.653696
30	0.609959
50	0.517413
100	0.748603
Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	22.4
30	58.8
50	69.3333
100	357.333

**Radio = 100 unidades de medida**

Traffic Video	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.57485
30	0.703504
50	0.25

100	0.374631
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	38.4
30	104.4
50	20
100	169.333

Traffic Calls	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.544643
30	0.748219
50	0.655629
100	0.698276
Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	32.5333
30	126
50	132
100	324

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.7
30	0.710938
50	0.645631
100	0.817935



Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	25.2
30	72.8
50	88.6667
100	401.333

**Radio = 1000 unidades de medida**

	Traffic Video
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.58589
30	0.387097
50	0.1
100	0.62844
Traffic Video	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	25.4667
30	38.4
50	6.66667
100	548

	Traffic Calls
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.742729
30	0.631579
50	0.642857

100	0.736709
Traffic Calls	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	44.2667
30	62.4
50	114
100	388

Traffic Uniform	
packetSize	Probabilidad de Recepción satisfactoria
10	0.817935
30	0.696486
50	0.782772
100	0.833333
Traffic Uniform	
packetSize	Throughput / Rendimiento (bps)
10	401.333
30	87.2
50	139.333
100	460

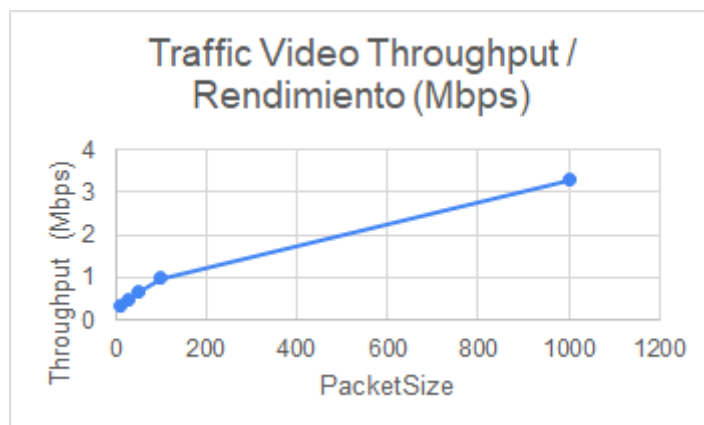
### **Análisis de resultados**

Revisando los datos obtenidos de estos experimentos podemos notar comportamientos particulares e información relevante como la siguiente:

- El uso de Wifi-adhoc no permite transmitir información a distancias muy largas. La transmisión de los datos se hace con un buen porcentaje de recepción para radio

igual a 10, pero si miramos con un radio de 100 la recepción disminuye drásticamente, y para un radio igual a 1000 la información enviada con éxito fue nula.

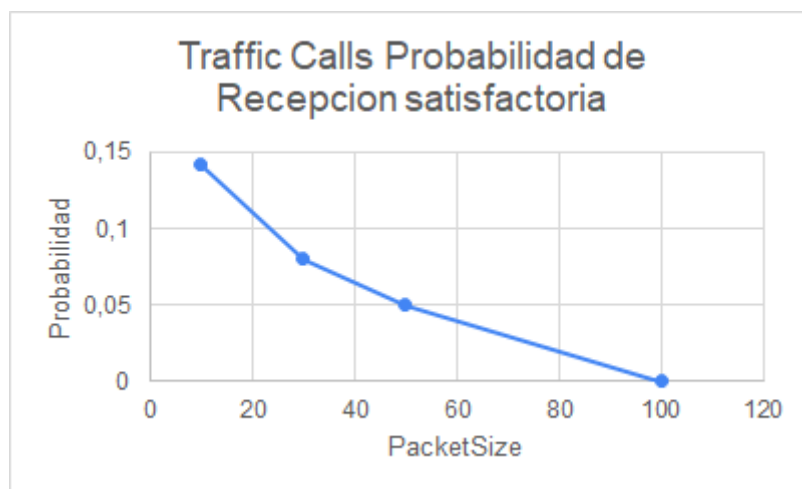
- Usando Wifi-adhoc la probabilidad de recepción y el Throughput (Rendimiento) mejoran con tamaños de paquetes más grandes, tal como se puede ver en las siguientes gráficas que son un ejemplo de dicho comportamiento (tomadas de un radio=10, tipo de tráfico=video), esto se puede explicar porque es más probable que los paquetes de mayor tamaño del flujo de TCP tengan un comportamiento de pérdida de paquetes, pero es más probable que los paquetes grandes obtengan un mayor rendimiento, por lo que una elección racional del tamaño de paquete juega un papel fundamental en el rendimiento de los flujos de TCP.[1]

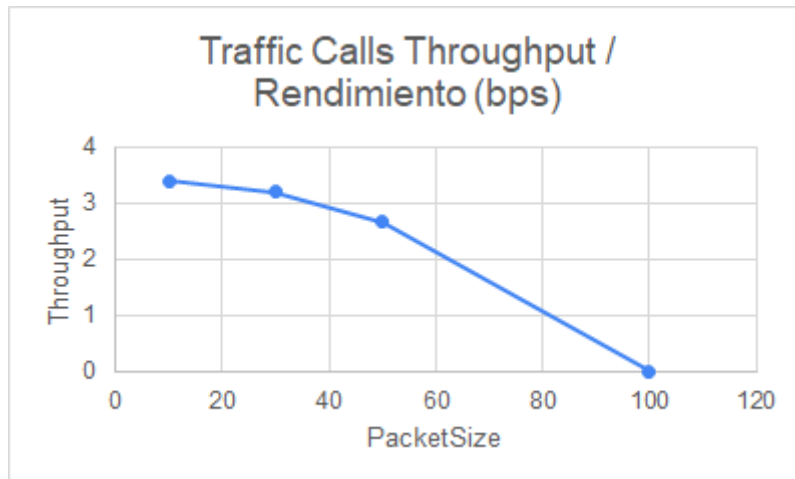


- Al contrario de wifi-adhoc el uso de Lorawan permite transmitir información a distancias muy largas. Vemos que así fuera con un porcentaje de recepción mínimo,

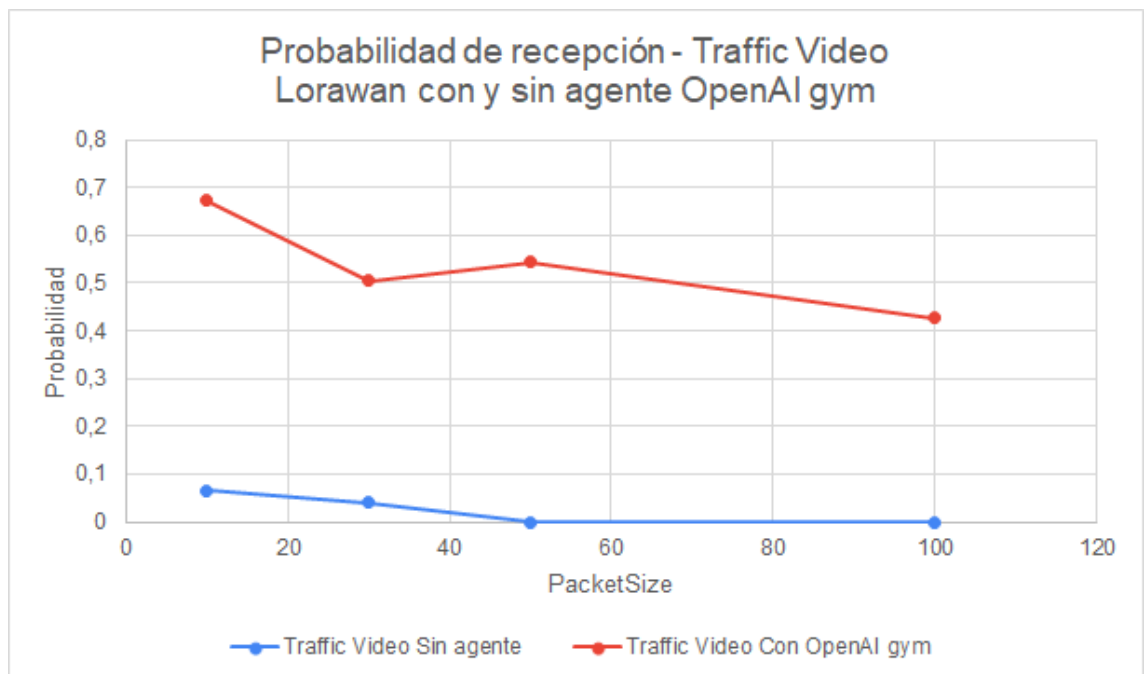
lograba enviar paquetes a un radio de 1000, que fue el valor más grande que se utilizó en los experimentos.

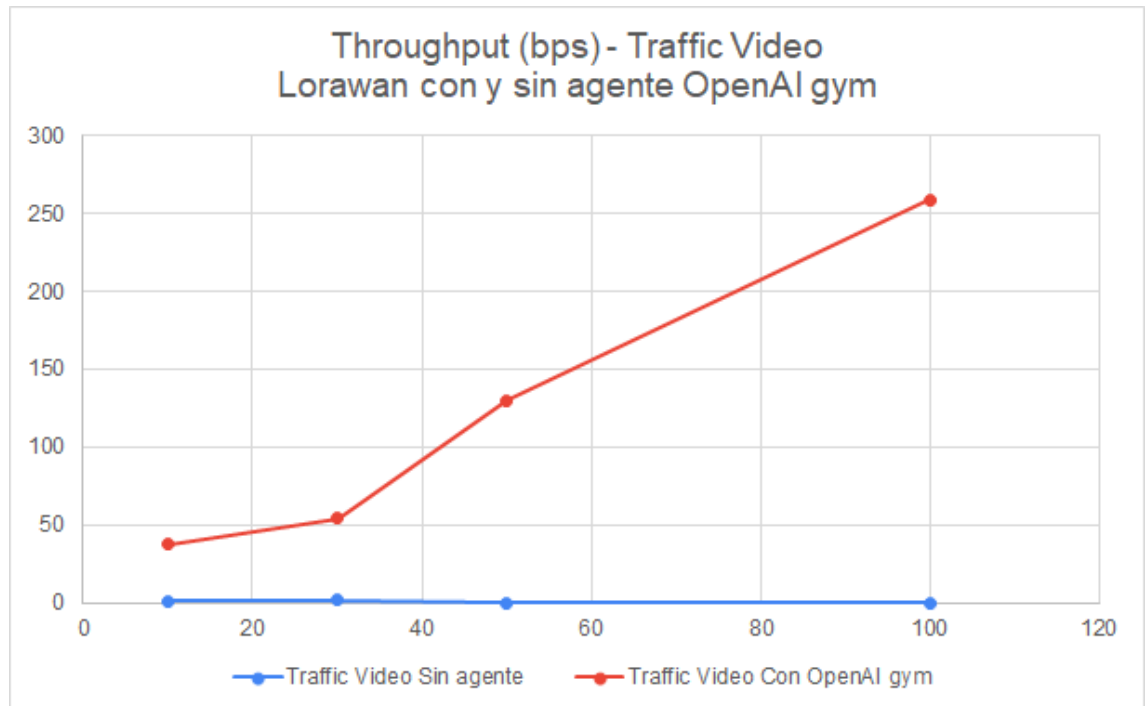
- Usando Lorawan la probabilidad de recepción y el Throughput (Rendimiento) mejoran con tamaños de paquetes más pequeños, tal como se puede ver en las siguientes gráficas que son un ejemplo de dicho comportamiento (tomadas de un radio=100, tipo de tráfico=llamadas), esto se puede explicar porque la tasa de transferencia de datos varía de 300 bps a 37,5 kbps, dependiendo del factor de dispersión (spreading) y el ancho de banda del canal de comunicación. Para este caso se utilizó un spreading = 12 (el valor más alto) y si se aumenta el parámetro spreading, aumenta el rango de comunicación; mientras tanto, la velocidad de datos se reduce. Entonces, la tecnología LoRa ofrece un compromiso entre la velocidad de datos y el rango de comunicación. Para velocidades de transmisión bajas, el rendimiento (throughput) de la red LoRa está limitado por el número de colisiones. Cuando la tasa de transferencia aumenta, el rendimiento de la red LoRa está limitado por el parámetro del ciclo de trabajo que limita el número de paquetes transmitidos, estabilizando así el rendimiento. Si la red tiene una gran cantidad de nodos, el rendimiento está limitado por la cantidad de colisiones; Mientras tanto, para un número reducido de nodos, el rendimiento de la red está restringido por el parámetro del ciclo de trabajo.[2]





- Con el uso del agente de OpenAI gym las medidas de eficiencia de los casos de prueba de Lorawan mejoraron notoriamente tal como se puede evidenciar en las siguientes gráficas (tomadas de radio=10 y tráfico=video). Vemos que el razonamiento en base a los rewards que obtiene de las acciones llevadas a cabo con anterioridad, y la selección según el nivel de la observación (que es proporcional a la distancia promedio de los nodos al gateway) realizando la acción que le haya generado un mayor reward.





Ahora, al reducir el spreading factor el agente permite que se modulen más datos por segundo y por ende obtenemos un mejor throughput pues se transmiten satisfactoriamente mayor número de paquetes.

En resumen esto va relacionado con la velocidad a la que se modula la señal, entonces a mayor spreading factor tenemos mayor cobertura pero la consecuencia es que la transmisión se hace más lenta, por tanto los paquetes duran más tiempo viajando por el canal, pero teniendo más resistencia a la interferencia.

### Referencias

[1]Bo Zhang, Yu Li And Yanlei Liang. (2017). Impact of Packet Size on Performance of TCP traffic with Small Router buffers. [matec-conferences.org](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/42/matecconf_eitce2017_02023.pdf).

[https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/42/matecconf\\_eitce2017\\_02023.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/42/matecconf_eitce2017_02023.pdf)

[2]Lavric, A. (2018, 28 junio). Performance Evaluation of LoRaWAN Communication Scalability in Large-Scale Wireless Sensor Networks. Hindawi.

<https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/6730719/>