

LABORATORIO 5: Simulación Protocolos de la Capa Física y de Enlace – Verificación de Consumo Energético

1. OBJETIVO (S)

El objetivo del presente laboratorio es comprender el funcionamiento de los protocolos de comunicación de las capas físicas y de enlace, en especial lo relacionado con el área de cobertura y el consumo energético de los dispositivos IoT.

Al finalizar la práctica el estudiante estará en la capacidad de:

- Simular una red en CupCarbon configurando diferentes protocolos de comunicación de la capa física y de enlace
- Realizar una simulación que permita validar las características de cobertura y de consumo energético.
- Realizar la selección de un protocolo de IoT de acuerdo con el contexto del problema (cobertura y consumo energético).

2. LECTURAS PREVIAS

- [CupCarbon User Guide](#). Pág. 1 - 47.
- [Características Técnicas del Estándar ZigBee](#) - IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks
- [Características Técnicas del Estándar WiFi](#) - IEEE 802.11 - Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- [Características Técnicas del Estándar LORA](#) - LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview

3. INFORMACIÓN BÁSICA

- Durante el laboratorio deberá crear una red de sensores inalámbricos de al menos 25 nodos utilizando los tres diversos protocolos de la capa física y de enlace de los que se dispone inicialmente en el simulador; a partir de esta, se generará un reporte que dé cuenta de los resultados obtenidos de las simulaciones propuestas.
- Durante el laboratorio se podrá evidenciar adicionalmente del consumo energético, otros factores que varían según el protocolo de comunicación a ser utilizado.
- Se recomienda leer la guía completamente antes de iniciar a resolver las actividades propuestas, con el objetivo de tener presente las actividades y los entregables a desarrollar.

3.1 Consumo de energía en CupCarbon

Para llevar registro del consumo de energía, el programa incluye una serie de herramientas basadas en las baterías que tienen los distintos sensores; estas baterías son altamente configurables y son asignadas independientemente a cada sensor. Entre las funciones a destacar se encuentra que las baterías pueden responder a condiciones meteorológicas (por ejemplo, en lugares muy fríos se suelen descargar más rápido las baterías).

El simulador ofrece dos alternativas para realizar la configuración de la energía con la que cuenta cada dispositivo. La primera a través de la pestaña *Device Parameters* -> *Energy Max*; y la segunda por medio del comando *battery* dentro del script de cada nodo. Finalmente, es importante aclarar que el programa maneja las unidades de la batería en Joules.

Adicionalmente, se puede configurar una vista para cada sensor donde se puede visualizar en tiempo real el estado de la batería y el buffer (ver Imagen 1). La activación de esta vista la puede encontrar en la pestaña *display* -> *Display/Hide Battery/Buffer Levels*.

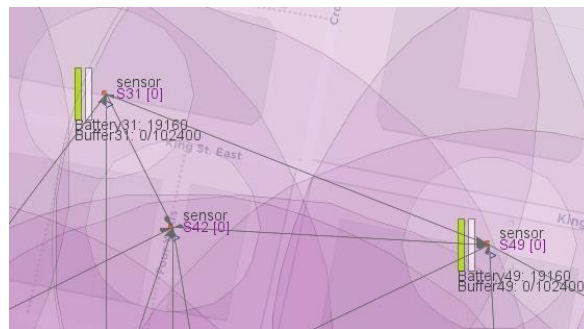



Imagen 1. Muestra del estado de la batería y el buffer

Así mismo, el simulador cuenta con una herramienta que permite generar una serie de gráficas relacionadas con el consumo energético, las cuales se pueden observar al final de la simulación junto con un resumen en la consola del programa. Para poder ver las gráficas de click en el botón .

Es importante resaltar que para ver observar las gráficas **se debe activar el checkbox *Results*** en la configuración de la simulación (ver Imagen 2). De igual forma es importante verificar la escala para observar el consumo real en cada protocolo.

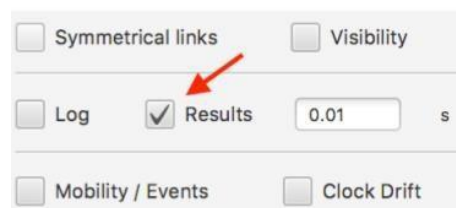


Imagen 2. Configuración de la simulación.

4. PROCEDIMIENTO

Para poder evidenciar el consumo energético y realizar una comparación entre los distintos protocolos, se propone el despliegue de una red de sensores compuesta de al menos 25 nodos de los cuales uno funcionará como nodo base y los restantes como nodos sensores, distribuida a su gusto mientras que todos

los nodos se encuentren conectados entre ellos (ver Imagen 3).

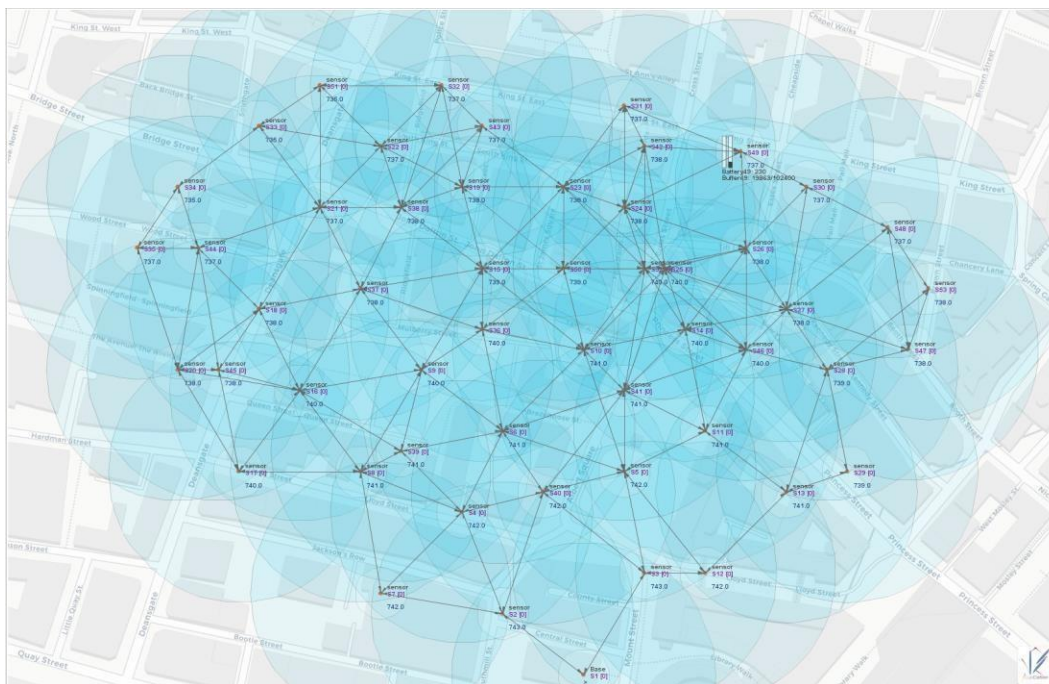


Imagen 3. Red de nodos de ejemplo.

Una vez desplegados los nodos y configurada la red se realizará una “inundación” de la red, la cual tiene como objetivo aumentar el consumo de energía definido para cada nodo.

Trabajo Propuesto

Para la configuración de la simulación, ustedes deberán:

1. Crear una instancia de un nodo base.
2. Desplegar al menos 24 nodos sensores encargados de crear la red de sensores.
3. Cree dos (2) scripts en SenScript. El código fuente de los scripts es suministrado a continuación.

Nodo Base

El nodo base se encargará de enviar dos mensajes que serán propagados por la red por medio de un broadcast donde lo enviará a todos los nodos que estén conectados a este. Para tal fin cree el script que se presenta en la Imagen 4. **Nota:** Pueden usar un solo carácter en lugar de “datos” en caso de que presenten algún inconveniente con la simulación.

```
atget id id
data m id "inicio"
send m

loop
data d id "datos"
send d
delay 1000
stop
```

Imagen 4. Sen Script nodo base

Nodo Sensor

Los nodos sensores serán los encargados de recibir y transmitir mensajes. Sobre estos nodos también se realizará la configuración de la batería, la cual se irá agotando cada vez que se reciba y se haga el broadcast del mensaje. Para poder tener un punto de comparación, se define que cada nodo transmitirá como máximo mil (1000) veces el mensaje que inunda la red, una vez llegado a este número o cuando se termine la batería de los nodos, se dará fin a la simulación.

El script para implementar se presenta en la Imagen 5; en esta imagen se puede observar cada uno de los procesos que debe llevar a cabo el nodo sensor. Se resalta con color amarillo los segmentos de código relacionados con el consumo de energía, de color azul lo relacionado con el tope de iteraciones y de color verde lo relacionado con el proceso de retransmisión por broadcast del mensaje. **Nota:** Pueden usar un solo carácter en lugar de "datos" en caso de que presenten algún inconveniente con la simulación.

```
atget id id
set ite 0
battery set 1000


loop
  inc ite
  print ite
  if ite >= 1000
    stop
  end
  print ite
  wait
  read m
  rdata m rid type
  if type == "datos"
    battery bat
    dec bat
    battery set bat
    data m id "datos"
    send m
  end
end
delay 10
```

Imagen 5. Sen Script nodo sensor

Adicionalmente, se incluye una serie de *print* que permitirán evidenciar durante la simulación la iteración en la que se encuentra actualmente cada uno de los nodos. Esta permanecerá al final de la simulación y se podrá observar exactamente en cual de las iteraciones se detuvo cada nodo, como se puede ver en la Imagen 6.



Imagen 6. Vista de iteraciones por nodo sensor

4. Asigne a los scripts correspondientes a los elementos de la red. Para seleccionar todos los sensores puede hacer uso de la función  de CupCarbon.
5. Configure el tipo de estándar utilizado por los nodos durante la simulación. Para esto diríjase a la pestaña "Radio Parameters" donde puede configurar los posibles estándares de comunicación que puede usar el sensor.

Nota: Para facilitar las simulaciones, configure cada uno de los estándares disponibles en un radio distinto (Ver Imagen 7).

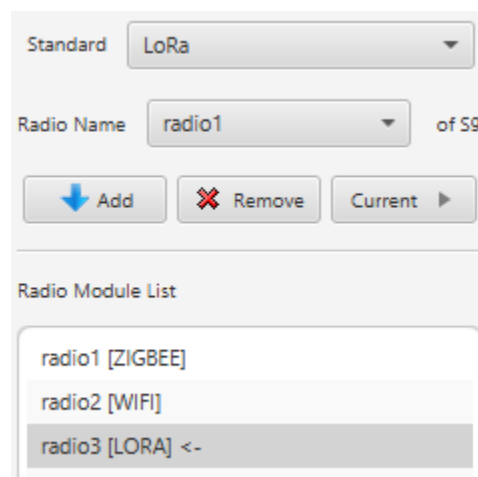


Imagen 7. Estándares de comunicación configurados

El protocolo asignado estará siempre demarcado por <-, asegúrese de que todos los nodos estén configurados con el mismo protocolo, de otra manera estos **no podrán comunicarse entre ellos**. Para diferenciar fácilmente entre los protocolos asignados, por defecto CupCarbon designa de cierto color cada uno de los protocolos. Así mismo, cada uno de los protocolos tienen un alcance máximo distinto, por lo cual con el fin de poder realizar una comparación estándar ajuste el radio de los tres protocolos al mismo valor de acuerdo con la distancia que tenga entre sus nodos.

6. Ejecute la simulación; recuerde que puede modificar los parámetros de la simulación en la pestaña "Simulation Parameters" donde puede ajustar la velocidad de la simulación.

5. PREGUNTAS

A continuación, encontrará una serie de preguntas que le permitirán aplicar, afianzar y profundizar los conocimientos adquiridos durante las sesiones de clase dentro del desarrollo de este laboratorio.

1. Realice un análisis de los resultados obtenidos en las gráficas generadas por CupCarbon. ¿Qué información puede ver? ¿Qué representan los ejes?
2. ¿Cuál de los protocolos agotó más rápido la batería? ¿A qué se debe esto?
3. Revise el estado final de la simulación ¿Alguno nodo no agoto la batería? ¿Cuántas iteraciones en promedio tardo en agotar la batería cada protocolo? ¿Todos cumplieron el número de iteraciones esperado?

Analice y responda teóricamente las siguientes preguntas:

4. ¿Qué pasaría si se disminuye el número de veces que se retransmite el mensaje? Explique con detalle su razonamiento.
5. ¿Qué pasaría si se pone un tiempo de espera entre la retransmisión de cada mensaje? Explique con detalle su razonamiento.
6. ¿Qué pasaría si se aumenta el rango de transmisión de todos los nodos? Explique con detalle su razonamiento.

Ahora modifique el Sen Script del nodo sensor para que solamente se realicen quinientas (500) retransmisiones del mensaje y pruebe nuevamente con cada uno de los protocolos. No olvide incluir al reporte la evidencia de cada uno de los resultados.

7. ¿Los resultados obtenidos coinciden con sus hipótesis?
8. Realice un análisis sobre los resultados del consumo de energía en este caso.

Ahora aumente el radio de todos los protocolos y pruebe nuevamente con cada uno de los protocolos. No olvide incluir al reporte la evidencia de cada uno de los resultados.

9. ¿Los resultados obtenidos coinciden con sus hipótesis?
10. Realice un análisis sobre los resultados del consumo de energía en este caso.

6. ENTREGABLES

El entregable para este laboratorio es:

1. Un archivo .zip con la simulación de CupCarbon donde se pueda corroborar la realización de la práctica. El nombre del archivo debe tener formato *<Grupo##>_Lab5_sim.zip*
2. Un archivo .pdf que contenga la siguiente información:
 - a. Un reporte donde incluyan evidencia del desarrollo de la actividad, los resultados obtenidos y las gráficas de consumo de energía que genera el programa
 - b. Las respuestas a las preguntas propuestas en la Sección 5.

El nombre del archivo debe tener formato *<Grupo##>_reporte_Lab5.pdf*

Estos archivos deben ser entregados utilizando el enlace habilitado en Bloque Neón para tal fin.

7. EVALUACIÓN

La evaluación de este laboratorio será distribuida de la siguiente manera:

Entregable	Valor
Simulación	10%
Reporte	90%
Total	100%

HISTORIAL DE REVISIONES

Registro de Cambios

Fecha	Autor(es)	Versión	Referencia de Cambios
16/09/2021	Ramón Arias / Andrés Hernández	0.1	Versión Inicial
10/10/2023	Sergio Cruz	0.2	Verificación enunciados

Revisores

Nombre	Autor(es)	Institución
Carlos Lozano	Profesor Asistente Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación	Universidad de los Andes