



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA  
PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de  
sensores inalámbricos.**

AUTOR:

Fajardo Quezada, Bryan Andrei

Componente práctico del examen complejo previo a la  
obtención del título de **INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

8 de Marzo de 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Fajardo Quezada, Bryan Andrei** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Fajardo Quezada, Bryan Andrei**

**DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen complejo, Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

---

FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Fajardo Quezada, Bryan Andrei**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

---

FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI

# REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** [a Formato Complexivo FINAL 2017 \(bryan\) \(1\) \(1\).docx](#) (D36677464)
- Presentado:** 2018-03-18 18:11 (-05:00)
- Presentado por:** briandrei07@gmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Bryan fajardo [Mostrar el mensaje completo](#)

0% de estas 19 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

| Lista de fuentes | Bloques   |
|------------------|---|
| Categoría        | Enlace/nombre de archivo  |
|                  | <a href="#">TESIS ARMANDO ESPARZA V4.docx</a>   |
|                  | <a href="#">Amaya_Final_MET2016.docx</a>  |
|                  | <a href="#">Amaguaya Luis_Final_MET2016.d...</a>  |
|                  | <a href="https://www.researchgate.net/pu...">https://www.researchgate.net/pu...</a>       |
|                  | <a href="http://research.ijsaonline.org/ngt...">http://research.ijsaonline.org/ngt...</a> |

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE  
GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA  
PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN  
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis y mejora de la calidad de sensado  
de métricas para una red de sensores  
inalámbricos.

AUTOR: Fajardo Quezada, Bryan Andrei

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del título de INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

## **DEDICATORIA**

El presente componente práctico lo dedico con mucho cariño y amor a mi familia y seres queridos, en especial a mis ilustres padres que siempre me apoyaron con su cariño y consejos en cualquier circunstancia que la vida académica me demostró a lo largo de mi trayectoria universitaria, tanto en adversidades o éxitos.

**EL AUTOR**

**FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, me gustaría agradecer a Dios por sus innumerables bendiciones y por darme la fuerza para lograr tener una convicción de sabiduría con el fin de completar este nuevo propósito en mi vida. Al darme una guía espiritual para culminar mi tesis y lograr ser un gran profesional a futuro.

A nuestra querida Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a el coordinador del Club de Robótica de la Facultad Técnica para el Desarrollo y a sus docentes, que permitieron mi formación académica de una manera excepcional dándome un conocimiento óptimo para desenvolverme en el ámbito profesional.

Por último, pero ciertamente no menos importante, me gustaría reconocer el compromiso, el sacrificio y el apoyo de mi familia, especialmente a mis padres y mis hermanos, que siempre me han motivado y creyeron en mí. En realidad, esta tesis es en parte de ellos también y eventualmente, espero tener la misma oportunidad de apoyarlos incondicionalmente.

**EL AUTOR**

**FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | XI   |
| Resumen .....   | XIII |
| CAPÍTULO 1: Descripción del componente práctico. ....   | 14   |
| 1.1. Introducción.....  | 14   |
| 1.2. Objetivo General. ....   | 14   |
| 1.3. Objetivos Específicos. ....  | 15   |
| CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. ....  | 16   |
| 2.1. Que es una Red de Sensores Inalámbricos ( <i>Wireless Sensor Networks, WSN</i> ). ....   | 16   |
| 2.2. Arquitectura de una red de sensores inalámbricos. ....   | 17   |
| 2.2.1. Capa física del Modelo OSI.....  | 17   |
| 2.2.2. Capa de enlace del Modelo OSI.....   | 17   |
| 2.2.3. Capa de red del Modelo OSI.....  | 18   |
| 2.2.4. Capa de transporte del Modelo OSI.....   | 18   |
| 2.2.5. Capa de aplicación del Modelo OSI.....   | 19   |
| 2.3. Aplicaciones WSN.....  | 19   |
| 2.3.1. Aplicaciones Militares.....  | 20   |
| 2.3.2. Monitoreo Ambiental.....   | 20   |
| 2.3.3. Monitoreo Industrial. ....   | 21   |
| 2.4. Topología de WSN.....  | 21   |
| 2.4.1. Topología tipo Estrella. ....  | 22   |
| 2.4.2. Topología Malla.....   | 23   |
| 2.4.3. Topología Árbol.....   | 24   |
| 2.5. Protocolos de enrutamiento en red de sensores inalámbricos.....  | 25   |
| 2.6. Protocolo de enrutamiento plano.....   | 26   |
| 2.6.1. Protocolo de Inundación. ....  | 26   |
| 2.6.2. Protocolo Protocolos de sensores para información a través de negociación ( <i>Sensor Procol for Information via Negotiation, SPIN</i> ) | 27   |
| 2.6.3. Difusión Dirigida.....   | 29   |
| 2.7. Protocolos Jerárquicos. ....   | 30   |
| 2.7.1. Protocolo Jerarquía de clustering adaptable de bajo consumo ( <i>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH</i> ).....              | 31   |
| 2.7.2. Protocolo eficiente en energía con umbral sensible ( <i>Threshold-Sensitive Energy Efficient Protocols, TEEN</i> ).....                  | 32   |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 2.7.3.   | Recolección eficiente de energía en sistemas de información de sensores ( <i>Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems, PEGASIS</i> )..... | 33 |
| Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico. .... |  | 35 |
| 3.1.   | Simulador Ns-3.26.....   | 35 |
| 3.2.   | Algoritmos en WSN .....  | 35 |
| 3.2.1.   | Algoritmo de Energía en reposo/ programación atenta ( <i>Energy efficient Sleep/Listen Scheduling, ESLS</i> ).....                                       | 35 |
| 3.2.2.   | Algoritmo de Programación de analogía basada en la neuro difusión ( <i>Neuro-fuzzy based Affinity Propagation, NFAP</i> ). ....                          | 36 |
| 3.2.3.   | Algoritmo de Proceso de jerarquía analítica híbrida ( <i>Hybrid Analytic Hierarchy Process, HAHP</i> ).....  | 38 |
| 3.2.4.   | Algoritmo de enrutamiento multidireccional de Tolerancia al retardo ( <i>Delay Tolerance Multipath Routing, DTMR</i> ).....                              | 39 |
| 3.3.   | Simulación del Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos, en una topología tipo malla.....            | 40 |
| 3.4.   | Simulación del Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos, en una topología tipo estrella.....         | 45 |
| Conclusiones. ....                                   |  | 50 |
| Recomendaciones .....                                |  | 51 |
| Referencias bibliográficas.....                      |  | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

|   |    |
|---|----|
| Figura 2. 3: Monitoreo de una base militar basada en una WSN..... | 20 |
| Figura 2. 4: Topología en malla de una WSN. ....                  | 22 |
| Figura 2. 5: Topología tipo malla.....                            | 23 |
| Figura 2. 6: Topología tipo Árbol.....                            | 25 |
| Figura 2. 7: Protocolo de Inundación. ....                        | 27 |
| Figura 2. 8: Esquema de mensaje de ADV.....                       | 28 |
| Figura 2. 9: Esquema de mensaje de REQ. ....                      | 28 |
| Figura 2. 10: Esquema de mensaje tipo DATA.....                   | 29 |
| Figura 2. 11: Difusión Dirigida.....                              | 29 |

### Capítulo 3:

|   |    |
|---|----|
| Figura 3. 1: Logotipo del simulador Ns-3.26. ....   | 35 |
| Figura 3. 2: Simulación de una red de sensores inalámbricos de topología malla. ....                                      | 40 |
| Figura 3. 3: Algoritmo de agrupación NFAP (Neuro-fuzzy based Affinity), usado en una topología malla.....                 | 40 |
| Figura 3. 4: Algoritmo ESLS (Energy Sleep/ Listen Scheduling), en una topología tipo malla.....                           | 41 |
| Figura 3. 5: Detención de objetivos utilizando HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), en una topología malla..... | 42 |
| Figura 3. 6: Análisis del retardo en topología malla. ....  | 42 |
| Figura 3. 7: Análisis del consumo de energía en topología malla.....  | 43 |
| Figura 3. 8: Análisis de la tasa de cobertura para topología malla.....   | 43 |
| Figura 3. 9: Análisis de la conectividad en topología malla.....  | 44 |
| Figura 3. 10: Análisis del Rendimiento para una topología malla. ....   | 44 |
| Figura 3. 11: Simulación de una red de sensores inalámbricos de topología estrella. ....                                  | 45 |
| Figura 3. 12: Algoritmo de agrupación NFAP (Neuro-fuzzy based Affinity), usado en una topología estrella.....             | 45 |
| Figura 3. 13: Algoritmo ESLS (Energy Sleep/ Listen Scheduling), en una topología tipo estrella.....                       | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3. 14: Detención de objetivos utilizando HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), en una topología estrella..... | 47 |
| Figura 3. 15: Análisis del retardo en topología estrella. ....  | 47 |
| Figura 3. 16: Análisis del consumo de energía en topología estrella. ....   | 48 |
| Figura 3. 17: Análisis de la tasa de cobertura para topología estrella.....   | 48 |
| Figura 3. 18: Análisis de la conectividad en topología estrella.....  | 49 |
| Figura 3. 19: Análisis del Rendimiento para una topología estrella. ....  | 49 |

## Resumen

El aumento inesperado de las Redes de Sensores Inalámbricos en el campo de las telecomunicaciones ha trascendido una nueva exigencia relacionado con la eficiencia de sensado, que es llamada Calidad de Sensado (QoSensing). Muchas investigaciones mantuvieron la mejora de QoSensing en términos de cobertura y mejora de la conectividad. Pero muchas indagaciones sobre estos estudios no cuentan con un equilibrio entre varias métricas de QoSensing. Para afrontar este problema, en este trabajo complejo se proporciona un breve análisis de las métricas de QoSensing, como la cobertura, la conectividad, el retraso, la eficiencia energética y el rendimiento. Examinando este tipo de análisis, se presentará un método que cuenta con un proceso de cuatro etapas eficientes: 1) Etapa de Agrupación, 2) Etapa de programación de reposo o suspensión, 3) Etapa de mejora de cobertura y 4) Etapa de encaminamiento. En la etapa de agrupamiento, algoritmo de propagación de afinidad basado en Neuro-fuzzy (NFAP) está involucrado para agrupar nodos de sensores en la red. Energy Sleep / Listen Scheduling (ESLS), el algoritmo se emplea en la etapa de programación del reposo, lo que se traduce en una mayor eficiencia energética. Se analizaron las cuatro etapas tanto en topología de estrella como de malla para evaluar la métrica de QoSensing en ambas topologías. El resultado de la simulación muestra resultados prometedores en tasa de cobertura, relación de conectividad, eficiencia energética, retardo y rendimiento.

**Palabras claves:** WSN, QoSensing, ESTRELLA, MALLA, FFD, RFD, CN, ESA, NFAP, ESLS, HAHP, DTMR.

## **CAPÍTULO 1: Descripción del componente práctico.**

### **1.1. Introducción.**

Reconocida la importancia de realizar análisis y mejoramiento de la calidad de sensado con el propósito de incluir nuevas métricas para obtener una red de sensores inalámbricos más eficaz, planteando un método que cuenta con un proceso de cuatro etapas eficientes las cuales son: 1) Etapa de Agrupación, 2) Etapa de programación de reposo o suspensión, 3) Etapa de mejora de cobertura y 4) Etapa de encaminamiento. En la cual en considerando la aportación de esta investigación donde se implementan cuatro algoritmos diferentes, para cada etapa correspondientemente y así cumplir con el objetivo presente que posibilita una mejor detección.

Entendida entonces la calidad de sensado (*Quality of Sensing, QoS*) y el uso de métricas, para resolver diferentes aspectos y ver mejoras en: cobertura, conectividad, retardo, eficiencia energética, rendimiento. Las cuales permitirán realizar un análisis en las cuales dará como resultado en WSN una mejor tasa de cobertura, minimizar el retardo, un ahorro de energía y mayor rendimiento al momento de establecer un enrutamiento.

Tener una buena QoSensing, reviste de gran importancia porque posibilita la detección con mayor facilidad de variables físicas y ambientales que permite llevar un mejor control al momento de monitorear, las cuales se ven involucradas en aplicaciones con diferentes contextos ya sea: industriales, telefonía, domótica, protección y previsión del medio ambiente, etc. Aplicando la propuesta presentada a continuación se logrará por su facilidad de expansión y desarrollo, sea operativo, eficiente, y muy rentable para quienes incursionen en este campo.

### **1.2. Objetivo General.**

Realizar el análisis del mejoramiento de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos.

### **1.3. Objetivos Específicos.**

- Describir los fundamentos teóricos de redes sensores inalámbricos
- Caracterizar los protocolos de enrutamiento en redes sensores inalámbricos.
- Diseñar los escenarios de simulación de una red de sensores inalámbricos, a través de métricas para el mejoramiento de la calidad de sensado utilizando el simulador NS-3.26.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

### 2.1. Que es una Red de Sensores Inalámbricos (*Wireless Sensor Networks, WSN*).

Las redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks, WSN*) es una red formada por una gran cantidad de nodos de sensores donde cada nodo está equipado con un sensor para detectar fenómenos físicos como luz, calor, presión, etc. Los WSN se consideran un método revolucionario de recopilación de información para construir el sistema de información y comunicación que mejorará en gran medida la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas de infraestructura. (M, Santoshkumar, & S.Karthick, 2018)

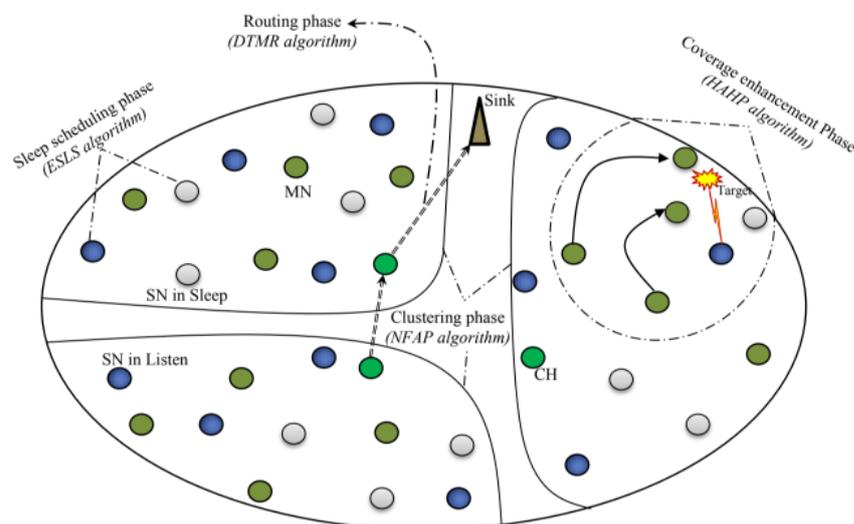


Figura 2. 1: WSN basada en el método de cuatro etapas.  
Elaborado por: Autor.

En la Figura 2. 1, se muestra una red de sensores inalámbricos basada en cuatro etapas, esto es un método propuesto de cuatro niveles, donde WSN está diseñado con dos nodos (Sn) que son los nodos estáticos, (Mn) que son los nodos móviles y (S) que es el nodo receptor. Para mejorar el QoSensing en el método de cuarto etapas WSN describe las etapas: 1) etapa de clúster, 2) etapa de programación de reposo, 3) etapa de mejora de la cobertura, 4) etapa de enrutamiento. Donde inicialmente, todos los nodos del sensor se agrupan con ayuda del algoritmo NFAP, el algoritmo ESLS está involucrado para gestionar la programación de reposo de los nodos del sensor. La calidad de cobertura se mejora a través de HAHP, mientras que la

conectividad se mejora con el algoritmo de enrutamiento DTMR. Por lo tanto, la participación de cuatro algoritmos efectivos en el método de cuatro niveles.

## 2.2. Arquitectura de una red de sensores inalámbricos.

La arquitectura con mayor uso para una red de sensores inalámbricos es la del Modelo OSI. Esta red cuenta con cinco capas principales las cuales son: capa de aplicación, capa de transporte, capa de red, capa de enlace de datos y capa física. También cuenta con tres planos cruzados que son: plano de gestión de energía, plano de gestión de movilidad y plano de gestión de tareas. Estos planos se usan para administrar la red y hacer que los sensores trabajen juntos para aumentar la eficiencia general de la red. Estas capas mencionadas se puede apreciar en la Figura 2. 2 (Ramírez, 2012)

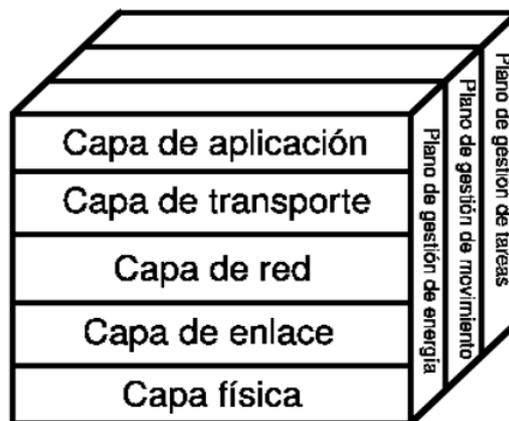


Figura 2. 2: Arquitectura de una red de sensores inalámbricos.

Fuente: (Ramírez, 2012)

### 2.2.1. Capa física del Modelo OSI.

Esta capa se encarga de transmitir un flujo de bits en un medio físico como: fibra, cable ethernet, etc. Responsable de la selección de frecuencia, generación de frecuencia portadora, detección de señal, modulación y encriptación de datos. (Ramirez, 2012)

### 2.2.2. Capa de enlace del Modelo OSI.

La capa de enlace de datos es responsable de la multiplexación de la detección de marcos de datos, flujos de datos, MAC y control de errores, confirma la confiabilidad de punto-punto (o) punto-multipunto. (Farjamnia & Gasimov, 2016)

### **2.2.3. Capa de red del Modelo OSI.**

La función principal de la capa de red es el enrutamiento, tiene muchas tareas basadas en la aplicación, pero en realidad, las tareas principales están en la conservación de energía, la memoria parcial, los búferes y el sensor no tienen una ID universal y tienen que ser auto-organizado.

La idea simple del protocolo de enrutamiento es explicar un carril confiable y carriles redundantes, de acuerdo con una escala convenida llamada métrica, que varía de un protocolo a otro. Hay muchos protocolos existentes para esta capa de red, se pueden separar en; el enrutamiento plano y el enrutamiento jerárquico o pueden separarse en impulsadas por el tiempo, impulsadas por consultas y por eventos. (Alhameed & Baicher, 2012)

### **2.2.4. Capa de transporte del Modelo OSI.**

La capa de transporte es especialmente necesaria cuando se planea acceder a la red a través de Internet u otras redes externas. TCP, con sus mecanismos de ventana de transmisión actuales, no aborda los desafíos únicos planteados por el entorno WSN. A diferencia de protocolos como TCP, los esquemas de comunicación de extremo a extremo en las redes de sensores no se basan en el direccionamiento global.

Estos esquemas deben considerar que el direccionamiento basado en datos o ubicación se usa para indicar los destinos de los paquetes de datos. Factores como el consumo de energía y la escalabilidad, y características como el enrutamiento centrado en los datos, las redes de sensores medios necesitan un manejo diferente en la capa de transporte. Por lo tanto, estos requisitos hacen hincapié en la necesidad de nuevos tipos de protocolos de capa de transporte.

El desarrollo de los protocolos de la capa de transporte es una tarea desafiante porque los nodos de los sensores están influenciados por restricciones de hardware, como la energía y la memoria limitadas. Como resultado, cada nodo del sensor no puede almacenar grandes cantidades de

datos, como un servidor en Internet, y los reconocimientos son demasiado costosos para las redes de sensores.

Por lo tanto, es posible que se necesiten nuevos esquemas que dividan la comunicación de extremo a extremo probablemente en los sumideros cuando se utilicen protocolos de tipo UDP en la red del sensor. Para la comunicación dentro de una WSN, se requieren protocolos de capa de transporte para dos funcionalidades principales: confiabilidad y control de congestión.

Los recursos limitados y los altos costos de energía impiden que se empleen mecanismos de fiabilidad de extremo a extremo en WSN. En cambio, son necesarios mecanismos de confiabilidad localizados. Además, la congestión que puede ocurrir debido al alto tráfico durante los eventos debe ser mitigada por los protocolos de la capa de transporte.

Como los nodos de los sensores están limitados en términos de procesamiento, almacenamiento y consumo de energía, los protocolos de la capa de transporte apuntan a explotar las capacidades de colaboración de estos nodos de sensores y cambiar la inteligencia al receptor en lugar de a los nodos del sensor (Farjamnia & Gasimov, 2016)

#### **2.2.5. Capa de aplicación del Modelo OSI.**

La capa de aplicación incluye la aplicación principal, así como varias funcionalidades de administración. Además del código de la aplicación que es específico para cada aplicación, el procesamiento de la consulta y las funcionalidades de administración de red también residen en esta capa. (Farjamnia & Gasimov, 2016)

### **2.3. Aplicaciones WSN.**

Las redes de sensores inalámbricos tienen la capacidad de resolver grandes problemas de manera muy eficaz en diferentes áreas de aplicaciones con el poder de facilitar la vida laboral y cotidiana de los seres humanos en una categoría muy amplia, por eso es una red que está siendo explotada en

su mayor parte por la domótica. WSN se ve implicado generalmente su uso en monitoreo del medio ambiente, monitoreo de la agricultura, monitoreo industrial, monitoreo de salud, aplicaciones domésticas y operaciones militares.

### 2.3.1. Aplicaciones Militares.

Las redes de sensores en el campo militar comenzaron solo para el funcionamiento de operaciones y vigilancia. WSN fue implementada por la fuerza militar como una herramienta para aplicativos que abarcan detención de intrusos, monitoreo de perímetros, recopilación de información, reconocimiento inteligente de áreas desconocidas, monitoreo del campo de batalla y la detención de ataques.

Todo esto es posible porque WSN cuenta con una gran capacidad de transmisión en tiempo real, dando un rol importante a los afines militares. Estas redes ofrecen ventajas sobre dispositivos de sensores tradicionales, como tolerancia a fallas, tamaño y despliegue de bajo presupuesto (Ishfaq, Shah, & Ullah, 2016).

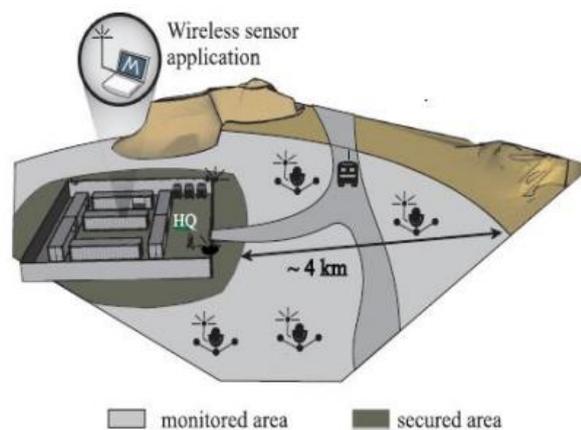


Figura 2. 1: Monitoreo de una base militar basada en una WSN.

Fuente: (A & Arun, 2014)

### 2.3.2. Monitoreo Ambiental.

El Sistema de monitoreo ambiental basado en WSN se ha desarrollado para cubrir muchas aplicaciones que sirven para la investigación de la ciencia de la tierra, los cuales son capaces de captar y transmitir información acerca de los parámetros ambientales los que incluyen detención de volcanes,

océanos, glaciares y bosques. Otras aplicaciones según (Mohd Fauzi & Khairunnisa, 2012) :

- Monitoreo agrícola.
- Monitoreo de hábitat.
- Monitoreo de interiores.
- Monitoreo de invernaderos.
- Monitoreo del clima.
- Monitoreo forestal.

### **2.3.3. Monitoreo Industrial.**

La industria ha mostrado interés en WSN porque permite la detección de problemas y así poder reducir costos y mejorar el rendimiento y la mantenibilidad de cualquier dispositivo. Hoy en día es posible monitorizar el estado de la máquina a través de la determinación de los niveles de vibración o lubricación.

Uno de los beneficios de los sensores es que pueden ser accesibles a áreas que para un ser humano es imposible acceder, en un ambiente industrial los sensores espectrales se utilizan a menudo. Los sensores ópticos pueden reemplazar los instrumentos existentes y realizar mediciones de la propiedad y la composición del material.

El objetivo de esta y otras aplicaciones industriales de WSN es permitir la detección matricial de cientos o miles de sensores que se alimentan en bases de datos que pueden consultarse de diversas maneras para mostrar información en tiempo real a gran o pequeña escala. (Di Marco, 2017)

### **2.4. Topología de WSN**

Con mucha frecuencia, los nodos se dispersan aleatoriamente, ya que la ubicación y las conexiones entre ellos determinan la topología de la red. Por ello se han establecido topologías llamadas (Kolev, 2013) :

- Estrella.
- Malla.

- Enraizados Árbol.

Los nodos en estas topologías principales se pueden dividir en dos clases principales: FFD son dispositivos de función completa (nodo de enrutador) y RFD dispositivos de función reducida (nodo de extremo).

FFD admite un conjunto completo de funciones y podría desempeñar el papel de un CN coordinador de la red (Gateway) o de un dispositivo común. Al mismo tiempo, RFD se puede utilizar como común.

#### 2.4.1. Topología tipo Estrella.

En la topología de estrella, los dispositivos podrían ser FFD o RFD. Funcionan como dispositivos terminales y se comunican directamente con CN. Esta es la topología más simple. Su nombre está conectado con la ubicación espacial de los nodos finales alrededor del nodo coordinador. CN es un dispositivo especializado para el intercambio rápido de fechas, pero también puede ser una computadora personal. Su propósito es gestionar el trabajo de los dispositivos finales, intercambiar datos con ellos y para retransmitir la fecha recogida a otras redes.

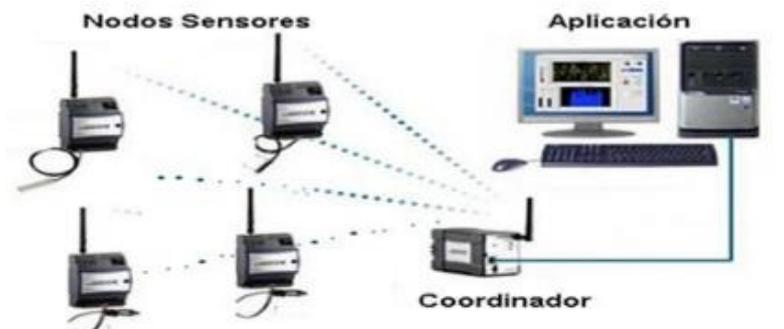


Figura 2. 2: Topología en estrella de una WSN.

Fuente: (Ávila, 2015)

Las topologías en estrella son sistemas de salto único, lo que significa que los datos del transmisor se transfieren al receptor con un salto. Su estructura es de tipo punto a multipunto. La principal ventaja de estas redes es que tienen el menor consumo de energía. El perímetro cubierto por la red es igual al rango de los nodos finales, lo cual es una desventaja.

Se recomienda que estas redes tengan hasta 30 nodos y cubran un área con un radio de 100 metros

#### 2.4.2. Topología Malla.

En la topología de malla, todos los dispositivos deben ser FFD, ya que solo se hace una excepción para los más distantes. En este caso, la comunicación con CN también podría implementarse con la transición de los paquetes a través de múltiples nodos lo que indica que estos tipos de redes son sistemas de saltos múltiples.

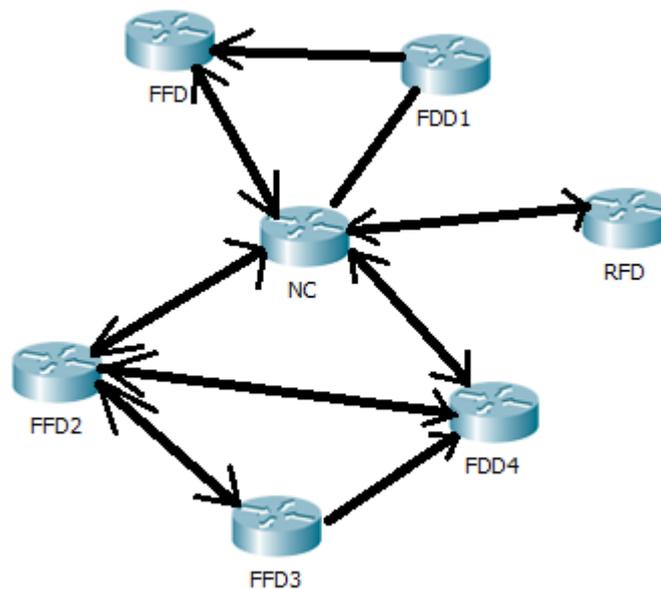


Figura 2. 3: Topología tipo malla.  
Elaborado por: Autor.

Además, son posibles varias rutas entre dos nodos ya que el software de red elige el más corto de ellos. Esto significa la reducción de la energía que se consume debido al hecho bien conocido de que la potencia radiada necesaria es proporcional al cuadrado de la distancia. Además, para la restricción de consumo el algoritmo de trabajo de WSN garantiza una sincronización precisa del intercambio de datos. El nodo transmisor envía un paquete de control para la conexión del receptor en el nodo destino. Reacciona rápidamente, acepta los datos y se apaga al instante.

Con la aparición de un nodo dañado (nodo de enrutador) o grandes distorsiones a través de la ruta, se encuentra automáticamente otro y, por esta razón, se trata de redes de auto-curación. Con la conexión y desconexión de los dispositivos a la red y la presencia de nodos en movimiento (como ocurre con las redes GSM) también cambia las rutas, lo que también lo convierte en una red auto-configurada. La autoconfiguración permite a la red reconocer automáticamente e involucrar en acción a cada nuevo nodo.

A diferencia de la topología de estrella WSN, donde toda la administración es concentrada en el nodo CN, aquí se distribuye entre todos los nodos y por lo tanto este tipo de red es con Control distribuido. Además de las comunicaciones son mucho mejores en la topología de malla, existe la posibilidad de cubrir un área significativamente mayor en comparación con la topología en estrella, otra ventaja es la comprobación facilitada de la funcionalidad de los nodos y de la red en su conjunto mediante un dispositivo de diagnóstico especializado o una computadora. También se debe tener en cuenta la rápida y fácil instalación y el inicio de dicho WSN

### **2.4.3. Topología Árbol.**

En la topología de agrupación tipo árbol se diferencian en grupos de nodos que se comunican solo con una FFD, llamada cabecera de clúster. La cabeza tiene más energía, memoria y recursos computacionales. También existe la posibilidad de recopilar más información con el almacenamiento en búfer de los paquetes en la memoria y el cálculo de los datos recopilados.

Después de eso transmite en múltiples pasos (a través de las otras cabezas) solo la información que es aproximada y actualizada sin excedentes a la estación base. En estos tipos de redes cada clúster podría funcionar a diferentes frecuencias en comparación con el clúster vecino y, de esta forma, se podrían evitar las colisiones y mejorar la calidad de la comunicación de la red. Cada clúster puede usar diferentes claves para el cifrado de datos y de esta manera la red se vuelve más protegida.

En el enfoque de clúster, se podría mejorar la escalabilidad y la productividad de la red. Aquí también se auto-organiza, es decir, los nodos encuentran a sus vecinos por sí mismos y se individualizan en grupos con un nodo central. Esto sucede sin participación de la administración centralizada de BS (*Base Station*).

Para clúster sirven para prolongan la vida y en consecuencia da un mejor rendimiento en la red, se usan protocolos en los que se establece el cambio de las cabeceras de forma aleatoria en el grupo. Los horarios se dividen en dos posibilidades que son: despiertos y dormidos, las cuales son usadas para recibir y transmitir la información. Es decir, para encender y apagar el transmisor y el receptor. La transmisión se lleva a cabo solo cuando hay un cambio de parámetros de lo informado por la información del sensor.

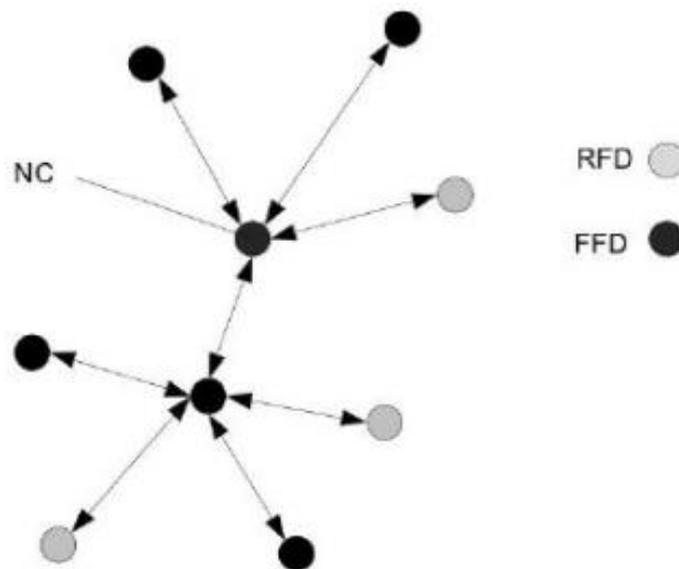


Figura 2. 4: Topología tipo Árbol.

Fuente: (Kolev, 2013)

## 2.5. Protocolos de enrutamiento en red de sensores inalámbricos.

En las redes de sensores inalámbricos, la función a destacar de un nodo sensor es detectar datos y reenviarlos a una estación base en un entorno de múltiples saltos para cual es necesario establecer protocolos de enrutamientos inalámbricos.

Para calcular la ruta de mayor eficiencia que es establecida de un nodo fuente a la estación base, es necesario conocer el diseño de los protocolos de enrutamiento en los cuales va a trabajar una red de sensores inalámbricos (WSN) donde se debe considerar diferentes limitaciones según (M.A & M.M, 2012) :

- Limitaciones de potencia de los nodos de la red.
- Limitación de recursos de los nodos de la red.
- La calidad variable en el tiempo del canal inalámbrico.
- La posibilidad de pérdida y demora de paquetes.

## **2.6. Protocolo de enrutamiento plano.**

Esta clase de protocolos de enrutamiento se basa en adopta una arquitectura de red plana en la que todos los nodos se consideran pares. La arquitectura de red plana tiene varias ventajas las cuales incluyen una sobrecarga mínima para mantener la infraestructura y el potencial para el descubrimiento de múltiples rutas entre nodos de comunicación para lograr tener una mejor tolerancia a fallas y así poder establecer un encaminamiento fiable para el intercambio de datos.

Entre los protocolos de enrutamiento plano están (Cárdenas Parra, 2009):

- Inundación.
- Protocolos de sensores para información a través de negociación (*Sensor Protocol for Information via Negotiation, SPIN*).
- Fidelidad Adaptativa Geográfica.
- Difusión dirigida.

### **2.6.1. Protocolo de Inundación.**

El protocolo de inundación se basa en una habilidad común utilizada con frecuencia para el descubrimiento de rutas y la disseminación de información en redes sin infraestructuras ya sea por cable o inalámbricos. La estrategia de este protocolo es simple y no depende del costoso mantenimiento de topología de red y algoritmos complejos de descubrimiento de ruta.

Las inundaciones usan un enfoque reactivo por el cual cada nodo que recibe un paquete de datos o control envía el paquete a todos sus vecinos. Después de la transmisión, sigue un paquete todos los caminos posibles. A menos que la red se desconecte, el paquete eventualmente llegará a su destino. Además, a medida que cambia la topología de la red, el paquete transmitido sigue las nuevas rutas (Cárdenas Parra, 2009).

En la ilustración de la figura 2.4.1, se plasma la técnica de inundación en una red de datos de internet. Esto demuestra que la inundación en su forma más simple puede hacer que los paquetes se repliquen indefinidamente por los nodos de la red.

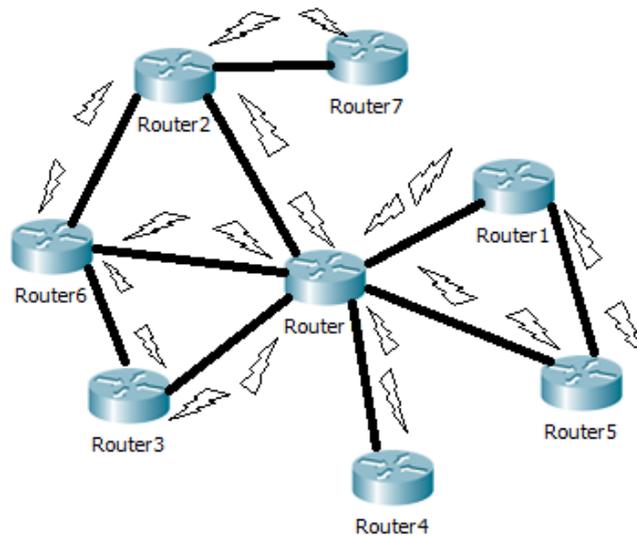


Figura 2. 5: Protocolo de Inundación.  
Elaborado por: Autor

### 2.6.2. Protocolo Protocolos de sensores para información a través de negociación (*Sensor Protocol for Information via Negotiation, SPIN*)

Los protocolos de sensores para la información a través de la negociación (SPIN), el propósito es establecer una negociación de protocolos de divulgación de información basados en datos para WSN. El objetivo principal de estos protocolos es diseminar de manera eficiente las observaciones recopiladas por nodos de sensores individuales a todos los nodos de sensores en la red. Este protocolo elimina el envío simple de datos

que es la función del protocolo de inundación. Para poder incorporar un proceso que cuenta con mensajes de ADV, REQ Y DATA.

El mensaje de ADV surge cuando un nodo capta un nuevo dato, y este es enviado a los demás nodos vecinos.

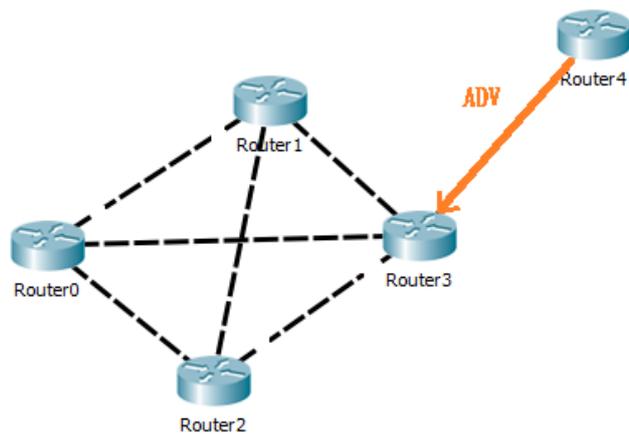


Figura 2. 6: Esquema de mensaje de ADV.  
Elaborado por: Autor.

REQ se genera cuando el nodo que tiene interés en la información enviada la solicita.

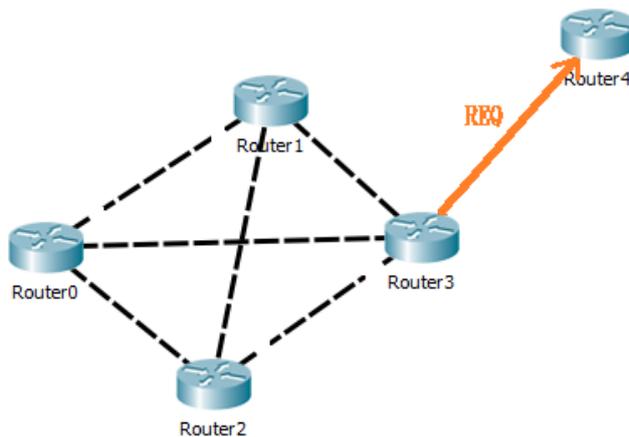


Figura 2. 7: Esquema de mensaje de REQ.  
Elaborado por: Autor.

Un mensaje tipo DATA se genera cuando se recibe una solicitud y es procesada y transmitida a todos los nodos interesados.

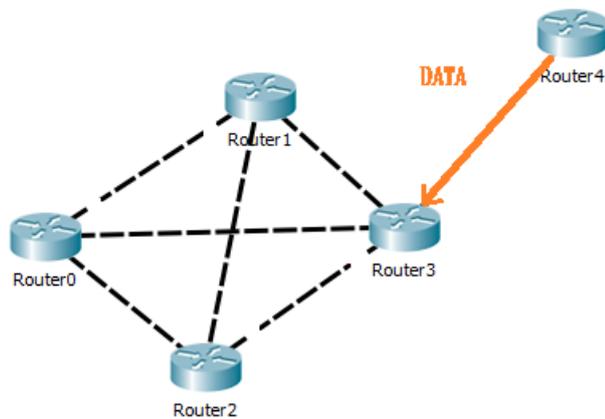


Figura 2. 8: Esquema de mensaje tipo DATA  
Elaborado por: Autor.

### 2.6.3. Difusión Dirigida.

La difusión dirigida es un protocolo de enrutamiento centrado en datos para la recopilación y difusión de información en WSN. El objetivo principal del protocolo es lograr un ahorro sustancial de energía para extender la vida útil de la red. Para lograr este objetivo, la difusión dirigida mantiene las interacciones entre los nodos, en términos de intercambios de mensajes, localizados dentro de una red limitada.

Al utilizar la interacción localizada, la difusión directa puede realizar una entrega robusta de múltiples rutas y adaptarse a un subconjunto mínimo de rutas de red. Esta característica única del protocolo, combinada con la capacidad de los nodos para agregar la respuesta a las consultas, da como resultado un importante ahorro de energía.

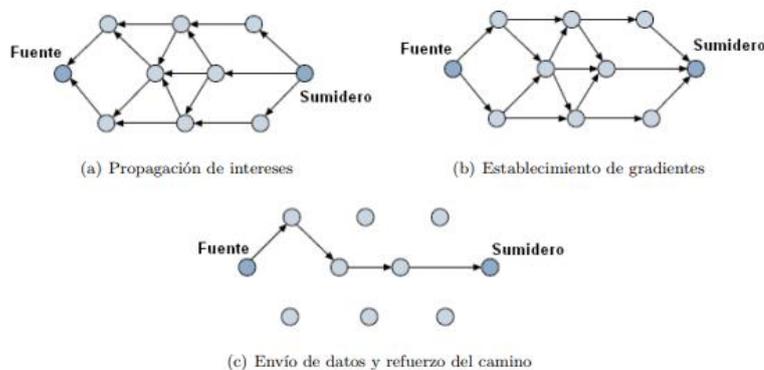


Figura 2. 9: Difusión Dirigida.  
Fuente:(Palma, 2009)

## 2.7. Protocolos Jerárquicos.

Esta segunda clase de protocolos de enrutamiento impone una estructura en la red para lograr eficiencia energética, estabilidad y escalabilidad. En esta clase de protocolos, los nodos de red se organizan en grupos en los que un nodo con mayor energía residual, por ejemplo, asume el papel de una cabeza de agrupación.

El jefe del grupo es responsable de coordinar las actividades dentro del grupo y reenviar información entre grupos. La agrupación tiene potencial para reducir el consumo de energía y extender la vida útil de la red, también utiliza un enfoque centrado en los datos para diseminar el interés dentro de la red. El enfoque usa nombres basados en atributos, por lo que un nodo fuente consulta un atributo para el fenómeno en lugar de un nodo sensor individual. La difusión del interés se logra asignando tareas a los nodos de los sensores y expresando las consultas en relación con los atributos específicos.

Se pueden usar diferentes estrategias para comunicar intereses a los nodos del sensor, incluida la transmisión, la multidifusión basada en atributos. Además protocolos de enrutamiento usa la ubicación para dirigirse a un nodo sensor. El enrutamiento basado en la ubicación es útil en aplicaciones donde la posición del nodo dentro de la cobertura geográfica de la red es relevante para la consulta emitida por el nodo fuente. Tal consulta puede especificar un área específica donde puede ocurrir un fenómeno de interés o la proximidad a un punto específico en el entorno de red. (M.A & M.M, 2012)

Entre los protocolos de enrutamiento Jerárquico están (Cárdenas Parra, 2009):

- Jerarquía de clustering adaptable de bajo consumo (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH*).
- Protocolos eficientes en energía con umbral sensible (*Threshold-Sensitive Energy Efficient Protocols, TEEN*).
- Enrutamiento de asignación secuencial (*Sequential Assignment Routing, SAR*).

- Recolección eficiente de energía en sistemas de información de sensores (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems, PEGASIS*).

### 2.7.1. Protocolo Jerarquía de clustering adaptable de bajo consumo (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH*).

LEACH (Adaptive de baja energía Clustering Hierarchy) es el primer protocolo jerárquico de redes de sensores inalámbricos basado en la fusión de datos, desempeña un papel importante en el protocolo de enrutamiento de redes de sensores inalámbricos, otros protocolos de enrutamiento basados en grupos como TEEN, APTEEN, PEGASIS son ampliamente desarrollados por LEACH.

Con el fin de equilibrar la carga de energía de la red, la idea es el nodo de cabecera del clúster generado aleatoriamente de forma circular, y reduce el consumo de energía y prolonga la vida útil de la red. Una operación de ciclo LEACH es una "Ronda", cada ronda contiene la fase de configuración y la fase constante.

Durante la fase de configuración, cabezal de clúster generado aleatoriamente, el número aleatorio se selecciona en un rango entre 0 y 1 en cada nodo sensor, si el número seleccionado es más pequeño que algún umbral  $T(n)$ , entonces el nodo se selecciona como la cabeza del racimo. Fórmulas de  $T(n)$  de la siguiente manera (Ghaziabad, 2016):

$$T(n) = \int_0^1 \frac{p}{1 - p \left[ r \bmod \left( \frac{1}{p} \right) \right]} \quad Si, n \in G$$

Donde,  $p$  es el porcentaje del número de cabeceras del clúster y el número total de nodos en la red,  $r$  es el número de la ronda actual,  $G$  es el conjunto de nodos del clúster excepto el cabezal del clúster de las últimas rondas  $1 / p$ . Luego, el nodo de cabecera del clúster transmite el mensaje de que se está convirtiendo en cabeza de clúster en toda la red, cada nodo decide unirse a ese clúster en función de la intensidad de la información recibida y

responde al cabezal de clúster correspondiente. Luego, en la siguiente fase, cada nodo usa el método TDMA para transmitir datos al nodo de cabecera del clúster, el cabezal del clúster envía los datos de fusión al nodo receptor. Entre los clusters, cada clúster compite con el canal de comunicación con el protocolo CDMA. Después de un período de fase estable, la red entra en la siguiente ronda del ciclo de nuevo, ciclo continuo.

El método de cabecera de grupo seleccionado al azar evita el consumo excesivo de energía, mejora la vida útil de la red, la fusión de datos reduce el tráfico de manera efectiva, pero el protocolo sigue utilizando la comunicación de salto, aunque el retardo de transmisión es pequeño, los nodos requieren comunicaciones de alta potencia, la expansión es deficiente, no es adecuado para redes de gran escala; incluso en redes más pequeñas, los nodos más alejados del nodo receptor que se comunican entre sí en alta potencia pueden conducir a un tiempo de supervivencia más corto; la selección frecuente de la cabeza del racimo conducirá al costo de tráfico de la energía.

### **2.7.2. Protocolo eficiente en energía con umbral sensible (*Threshold-Sensitive Energy Efficient Protocols, TEEN*).**

Es un protocolo de enrutamiento jerárquico basado en clústeres que emplea varios niveles donde los nodos más cercanos forman un clúster. Este protocolo generalmente se emplea para redes homogéneas a gran escala, todos los nodos desplegados en la red tienen la misma energía. Toda la red está dividida en grupos.

El CH (*Cluster-Heads*) del clúster se comunica a la estación base como en LEACH. Los clústeres se dividen en subgrupos basados en el umbral de las energías de los nodos, cualquiera que tenga los nodos más cercanos. Los sensores dentro de un grupo consultaron su información detectada a su CH. El CH envía información recopilada al siguiente nivel CH hasta que la información llegue a la estación base. La selección de la cabecera del grupo se denomina redonda; cada ronda se compone de una fase de inicialización, fase de búsqueda y fase de transmisión.

La cabecera del clúster se forma en base a los umbrales, concretamente Umbral fuerte (HT): el valor absoluto del atributo más allá del cual, el nodo que detecta este valor debe encender su transmisor e informarlo. Umbral suave (ST): Un cambio en el valor del atributo detectado que activa el nodo para encender su transmisor e informar los datos detectados.

Los atributos también se pueden cambiar durante cada tiempo de cambio de clúster. La estación base transmite su interés a todos los nodos con códigos CDMA conocidos. Cada nodo en el clúster está asignando un intervalo de transmisión usando el cronograma TDMA para transmitir datos a su CH. TEEN es constructivo para aplicaciones en las que los usuarios pueden organizar una compensación entre precisión de datos, eficiencia de energía y tiempo de respuesta dinámicamente.

TEEN usa un método centrado en datos con enfoque jerárquico; Emplea la estrategia de LEACH para formar clusters. Este protocolo proporciona eficiencia energética pero aumenta el retraso de extremo a extremo debido a múltiples niveles. No hay un mecanismo para distinguir un nodo que no detecta un gran cambio de un nodo muerto o fallido.

### **2.7.3. Recolección eficiente de energía en sistemas de información de sensores (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems, PEGASIS*).**

Recolección eficiente de energía en los sistemas de información del sensor (*PEGASIS*) es una mejora sobre el protocolo LEACH. En este protocolo, cada nodo se comunica solo con su nodo más cercano. A diferencia del protocolo LEACH, los nodos se organizan en forma de cadena y los datos se transmiten desde un nodo a su nodo vecino. (Gómez Atero, 2011)

Cada nodo reenvía los datos a su nodo vecino, después de recibir los datos, este nodo agregará su propia información en los datos existentes y la transmitirá al siguiente nodo. Todos los nodos repiten el mismo proceso hasta que los datos lleguen a la estación base a través del nodo líder. De esta forma, el consumo de energía se reduce en cada ronda. En el protocolo PEGASIS, la

cadena se forma en dos pasos. En el primer paso, los nodos y las estaciones base se auto-organizan usando el algoritmo codicioso. Después de la formación de la cadena, la estación base transmite su información a los nodos del sensor. Este protocolo reduce el requisito de ancho de banda y reduce la sobrecarga.

Este protocolo se puede explicar a través del ejemplo del famoso juego "chino susurro". En el que las personas se comunican una a una. La primera persona susurra algo a la segunda persona, la segunda persona susurra la misma información a la tercera persona y así sucesivamente. Al final, la última persona revela el mensaje. Este protocolo sigue el mismo escenario y de esta forma el consumo de energía es minimizado. (Saeed, Murad, Nawaz, & Irum, 2017)

## Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.

### 3.1. Simulador Ns-3.26.

El simulador ns-3.26 fue elaborado con el fin de proveer un entorno que permita establecer redes abiertas y extensibles de manera virtual, que sirve para el avance educativo e investigativo en redes. El simulador ns-3.26 cuenta con prototipos de cómo funcionan las redes de datos por paquetes, y cuenta con un ambiente para que los usuarios sean capaces de ejecutar sus propios trabajos de simulación.

Algunas de las razones para usar ns-3.26 incluyen realizar estudios que son más difíciles o imposibles de realizar con sistemas reales, estudiar el comportamiento del sistema en un entorno altamente controlable y reproducible, y aprender cómo funcionan las redes. Los usuarios notarán que el modelo disponible establecido en ns-3.26 se enfoca en modelar cómo funcionan los protocolos y redes de Internet, pero ns-3.26 no se limita a los sistemas de Internet; varios usuarios están usando ns-3.26 para modelar sistemas no basados en Internet. (ns3 project, 2013)



Figura 3. 1: Logotipo del simulador Ns-3.26.  
Fuente: (ns3 project, 2013).

### 3.2. Algoritmos en WSN

Los algoritmos en WSN son un conjunto de procedimientos que sirven para ejecutar una acción o resolver un problema en la red ya sea en: consumo de energía o enrutamiento, etc.

#### 3.2.1. Algoritmo de Energía en reposo/ programación atenta (*Energy efficient Sleep/Listen Scheduling, ESLS*).

Para una programación eficiente del sueño, se emplea el algoritmo Energy Sleep / Listen Scheduling (ESLS) que utiliza el nivel de energía y la cobertura para programar el sueño. En este algoritmo, los nodos móviles

siempre están en modo de suspensión y los nodos estáticos se programan periódicamente. Para mejorar la cobertura que mejora QoS, nuestro trabajo propuesto reposiciona los nodos móviles. En un clúster, el objetivo es detectado por un nodo estático que está en modo de escucha y envía la información de detección de objetivo a CH.

Después de la detección del objetivo, CH calcula la intensidad de cobertura en la región objetivo. Si la intensidad de cobertura es inferior al nivel de umbral, CH programa el nodo móvil en modo de escucha.

| <b>Algoritmo ESLS</b> |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| <b>Paso 1:</b>        | Initialize $N_s$        |
| <b>paso2:</b>         | For all $MN \in N_s$    |
| <b>Paso 3:</b>        | Assign (Sleep)          |
| <b>Paso4:</b>         | For all $SN \in N_s$    |
| <b>Paso5:</b>         | Find $El&Cov$           |
| <b>Paso6:</b>         | If ( $El&Cov == High$ ) |
| <b>Paso7:</b>         | Assign High priority    |
| <b>Paso8:</b>         | Schedule sleep time     |
| <b>Paso9:</b>         | Else                    |
| <b>Paso10:</b>        | Assign low priority     |
| <b>Paso11:</b>        | Schedule sleep time     |
| <b>Paso12:</b>        | End if                  |
| <b>Paso13:</b>        | End for                 |
| <b>Paso14:</b>        | End                     |

### 3.2.2. Algoritmo de Programación de analogía basada en la neuro difusión (**Neuro-fuzzy based Affinity Propagation, NFAP**).

Este algoritmo de agrupamiento de afinidad basado en Neuro-fuzzy (NFAP), se utiliza para agrupar los nodos de la WSN. El ejemplo se selecciona en función de la energía residual, la distancia entre ese nodo y el nodo receptor, la centralidad de ese nodo y el grado de ese nodo. Un nodo que cumple todos los criterios anteriores se selecciona como nodo ejemplar.

Después de la selección ejemplar, el método de propagación de afinidad agrupa todos los nodos de sensor en la red y el nodo ejemplar se selecciona como Cabezal de clúster (CH).

Algoritmo basado en clustering, NFAP.

```
Input:  $N_s = \{SNs, MNs\}$ 
Output:  $k$  clusters as  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ 
Begin
Initialize  $N_s$ 
Fed  $N_s$  into NFIS
For each  $SN, MN \in N_s$ 
    Find fizzy output upon rule base
    If (output=High)
        Select as exemplar  $E$ 
    Else
        Goto next node
    End if
End for
Find  $k$  exemplar as  $E_k$ 
For each  $SN, MN \in N_s$ 
    For each  $E \in E_k$ 
        Find  $Sim(E, N_s)$ 
        Update  $R, A$ 
        If  $R \& A == High$ 
            Assign  $N_s$  to  $C_k$ 
        Else
            Goto another cluster
        End if
    End for
End for
Until
    Required clusters formed
End for
End
```

### 3.2.3. Algoritmo de Proceso de jerarquía analítica híbrida (*Hybrid Analytic Hierarchy Process, HAHP*).

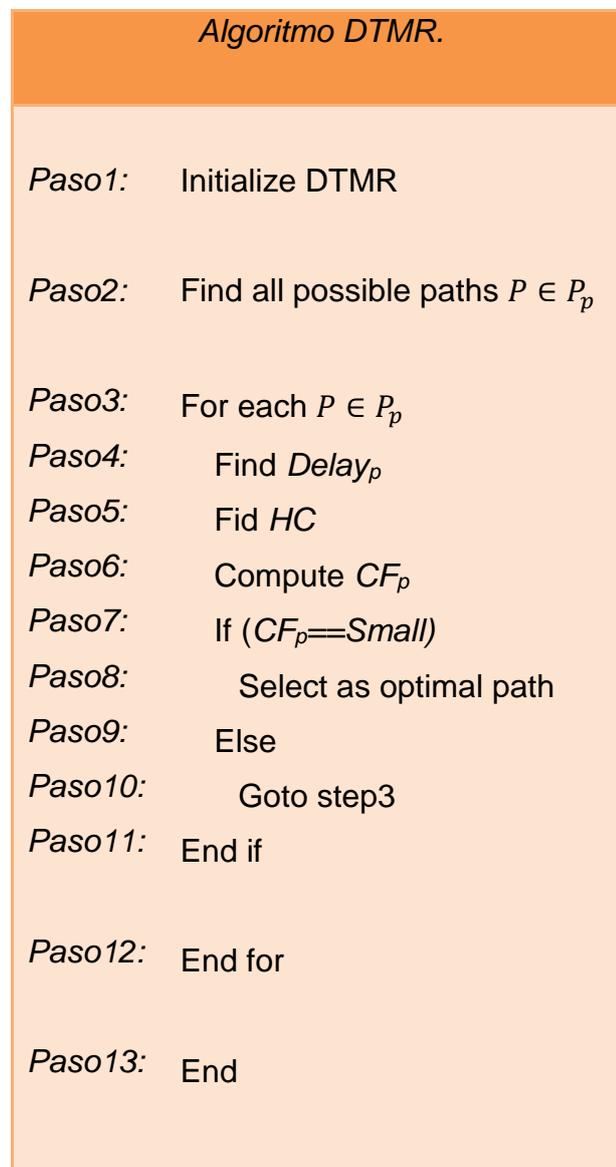
El Proceso de jerarquía analítica híbrida (HAHP) que toma decisiones basadas en múltiples criterios. En base a la decisión de HAHP, CH reposiciona los sensores móviles óptimos a la región objetivo para mejorar la cobertura. Una vez que se completa el proceso de detección, CH agrega la información de detección y la envía al nodo receptor.

| Algoritmo HAHP |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
|                | Input: $T$ , $MNs$ , $SNs$ , $CH_k$ |
|                | Output: Coverage enhancement        |
| 1:             | Begin                               |
| 2:             | For $SN \in C_k$                    |
| 3:             | Sense the target                    |
| 4:             | If ( $T$ detected)                  |
| 5:             | Report $\rightarrow CH_k$           |
| 6:             | Else                                |
| 7:             | Follows sleep scheduling            |
| 8:             | End If                              |
| 9:             | End for                             |
| 10:            | In $CH_k$                           |
| 11:            | Compute CI                          |
| 12:            | If (CI==high)                       |
| 13:            | Don't move MN                       |
| 14:            | Else                                |
| 15:            | Select MN from HAHP                 |
| 16:            | Initialize $MNs \in C_k$            |
| 17:            | For all $MNs$                       |
| 18:            | Find $CI_x$                         |
| 19:            | Find rating                         |
| 20:            | Select $MN_{op}$                    |
| 21:            | Move $MN_{op} \rightarrow T$        |
| 22:            | End for                             |
| 23:            | End If                              |
| 24:            | End                                 |

### 3.2.4. Algoritmo de enrutamiento multidireccional de Tolerancia al retardo (*Delay Tolerance Multipath Routing, DTMR*)

Para mejorar la conectividad en el área de cobertura establecida por el algoritmo HAPH y reducir la demora en dicho tramo seleccionado, se emplea un enrutamiento multidireccional de Tolerancia al retardo eficiente (DTMR).

Inicialmente, el algoritmo de enrutamiento multidireccional de tolerancia al retardo todos los caminos disponibles consisten en el poder detectar nodos activos desde cabecera del grupo (CH) hasta sumidero. Luego, el costo de ruta para cada ruta se calcula en base a parámetros significativos.



### 3.3. Simulación del Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos, en una topología tipo malla.

En la Figura 3. 2, Se encuentra la creación de una red de topología en malla, que consta de 50 nodos de color azul que son nodos estáticos, 10 nodos móviles que se representan de color rojo, 1 sumidero que se encuentra de color cian y 1 nodo de orientación.

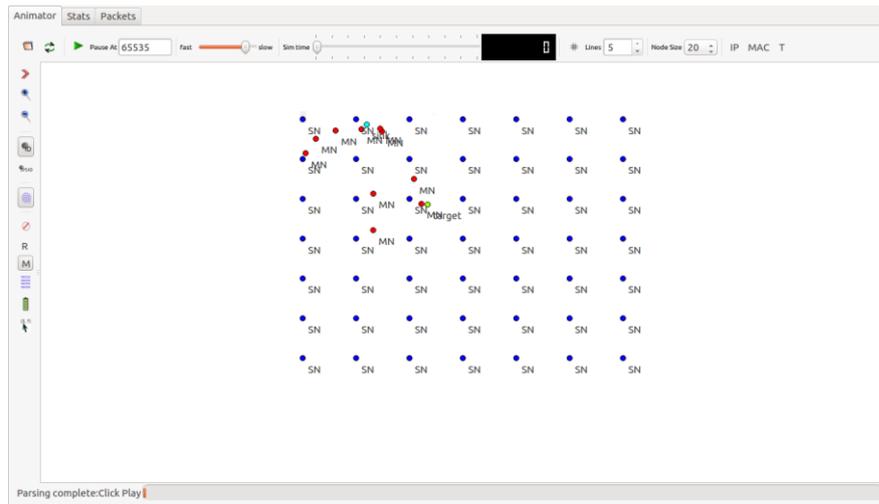


Figura 3. 2: Simulación de una red de sensores inalámbricos de topología malla.  
Elaborado por: Autor.

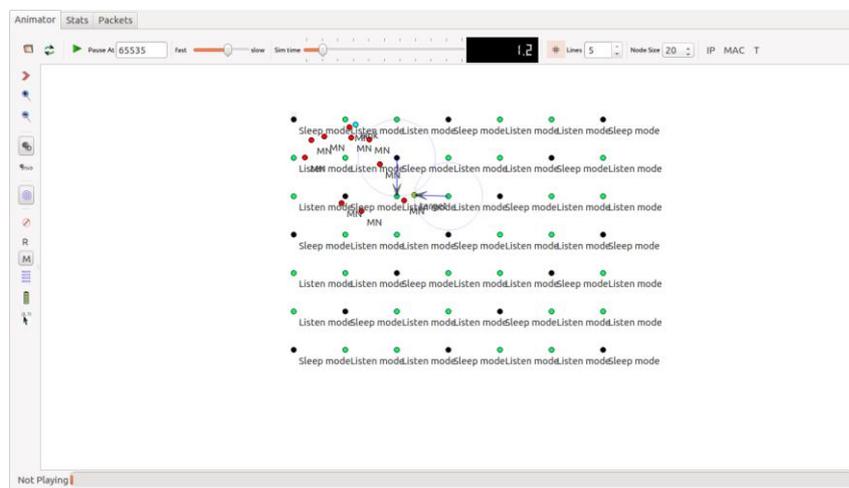


Figura 3. 3: Algoritmo de agrupación NFAP (Neuro-fuzzy based Affinity), usado en una topología malla.  
Elaborado por: Autor.

Inicialmente, los nodos del sensor se agrupan utilizando el algoritmo NFAP (*Neuro-fuzzy based Affinity*) como se muestra en la Figura 3.3, este es también llamado algoritmo de clustering.

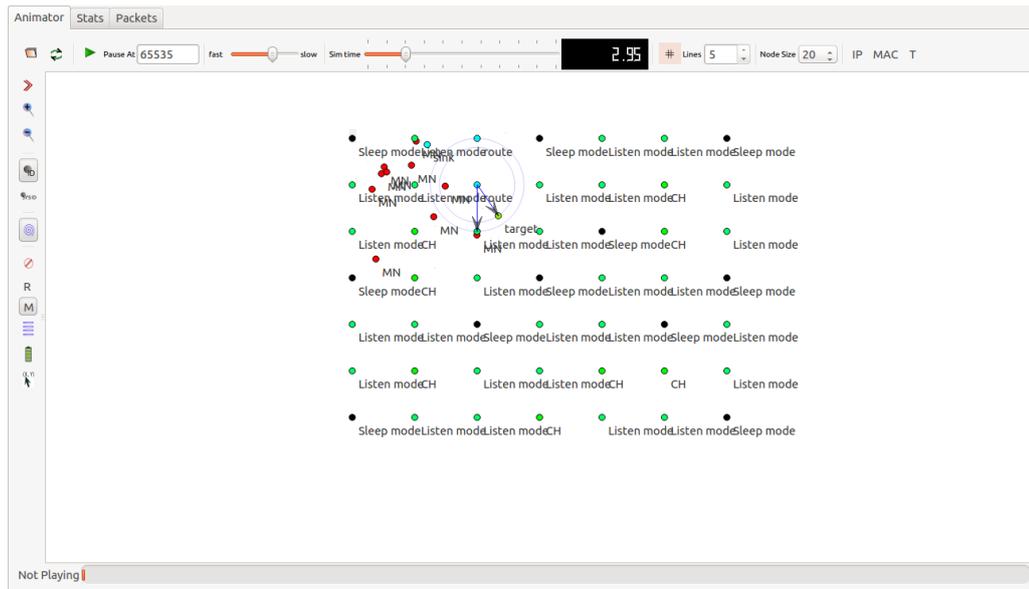


Figura 3. 4: Algoritmo ESLS (Energy Sleep/ Listen Scheduling), en una topología tipo malla.  
Elaborado por: Autor.

En esta fase se emplea una programación de suspensión como se muestra en la Figura 3.4, con el fin de tener una mejor eficiencia energética donde la cabecera del clúster programa el tiempo de espera para todos los miembros de ese grupo. Para tener una programación eficiente del sueño, se emplea el algoritmo Energía en reposo y programación atenta (*Energy Sleep / Listen Scheduling*, ESLS) que utiliza el nivel de energía y la cobertura para programar la suspensión de los nodos. En este algoritmo, los nodos móviles están siempre en modo de suspensión y los nodos estáticos se programan periódicamente.

En la Figura 3. 5 describe de forma gráfica la Detección de objetivos, donde CH (*Head Cluster*) calcula la intensidad de cobertura que se obtiene en la región objetivo. Si la intensidad de cobertura debe de ser inferior al nivel umbral, la cabecera del grupo programa el nodo móvil en el modo de atento, con el fin de estar disponible para cualquier suceso disponible. A continuación, se selecciona el nodo móvil óptimo para el reposicionamiento utilizando el HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), que toma decisiones basadas en múltiples criterios para encontrar la ruta de costo mínimo que proporciona el mínimo retraso y máximo la conectividad el cual se selecciona para el enrutamiento.



Figura 3. 5: Detención de objetivos utilizando HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), en una topología malla.  
Elaborado por: Autor.

Análisis experimental en las siguientes métricas:

- Cobertura.
- Conectividad.
- Retardo.
- Eficiencia energética
- Rendimiento.

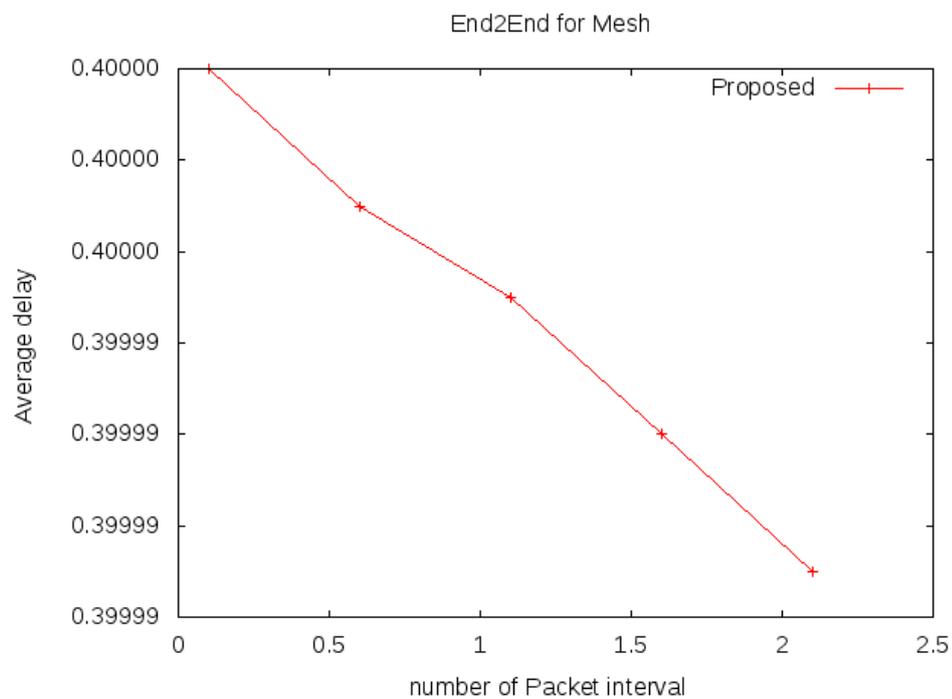


Figura 3. 6: Análisis del retardo en topología malla.  
Elaborado por: Autor.

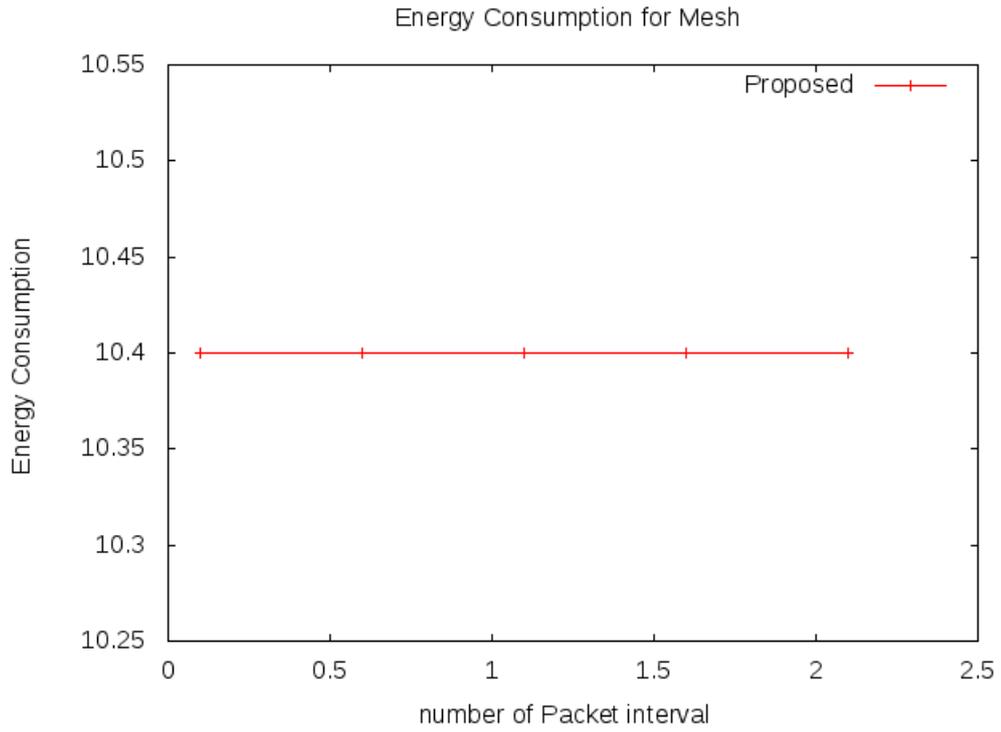


Figura 3. 7: Análisis del consumo de energía en topología malla.  
Elaborado por: Autor.

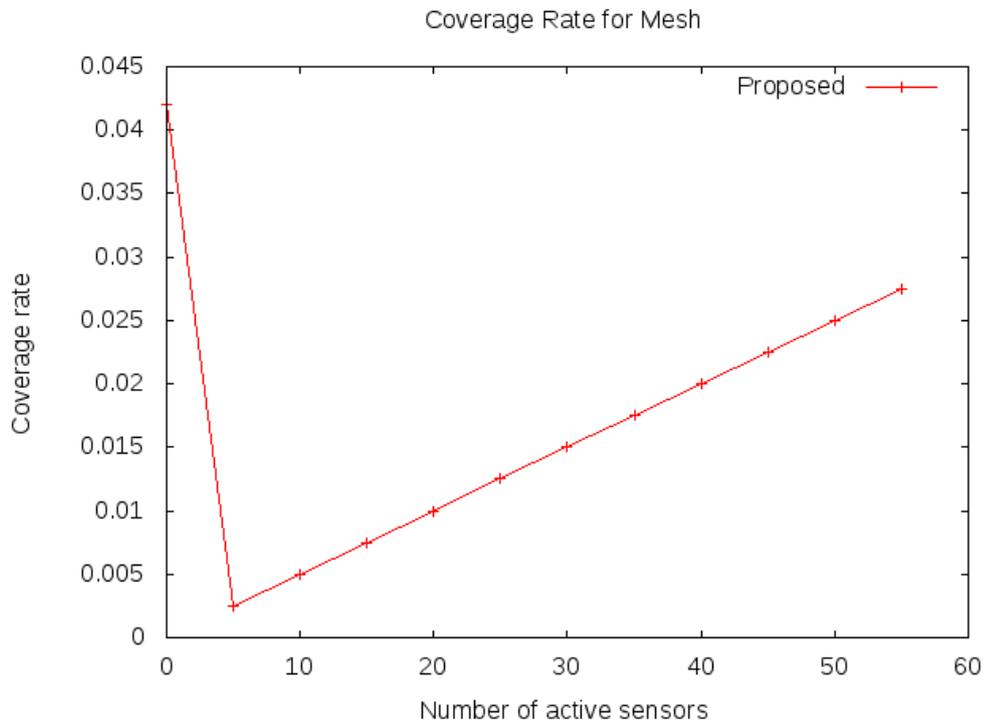


Figura 3. 8: Análisis de la tasa de cobertura para topología malla.  
Elaborado por: Autor.

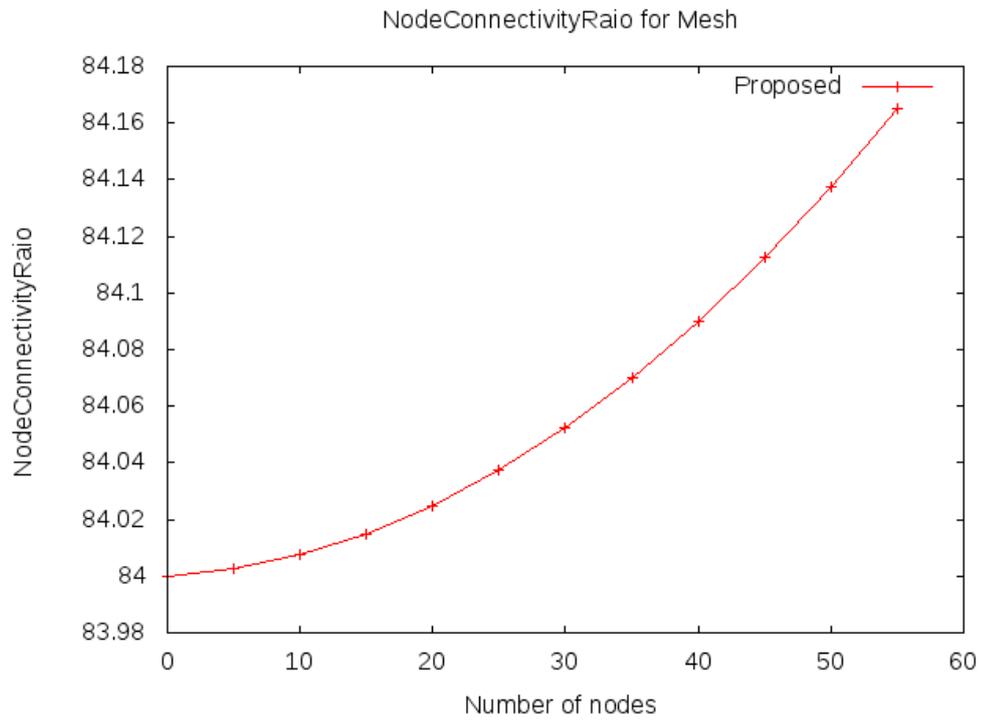


Figura 3. 9: Análisis de la conectividad en topología malla.  
Elaborado por: Autor.

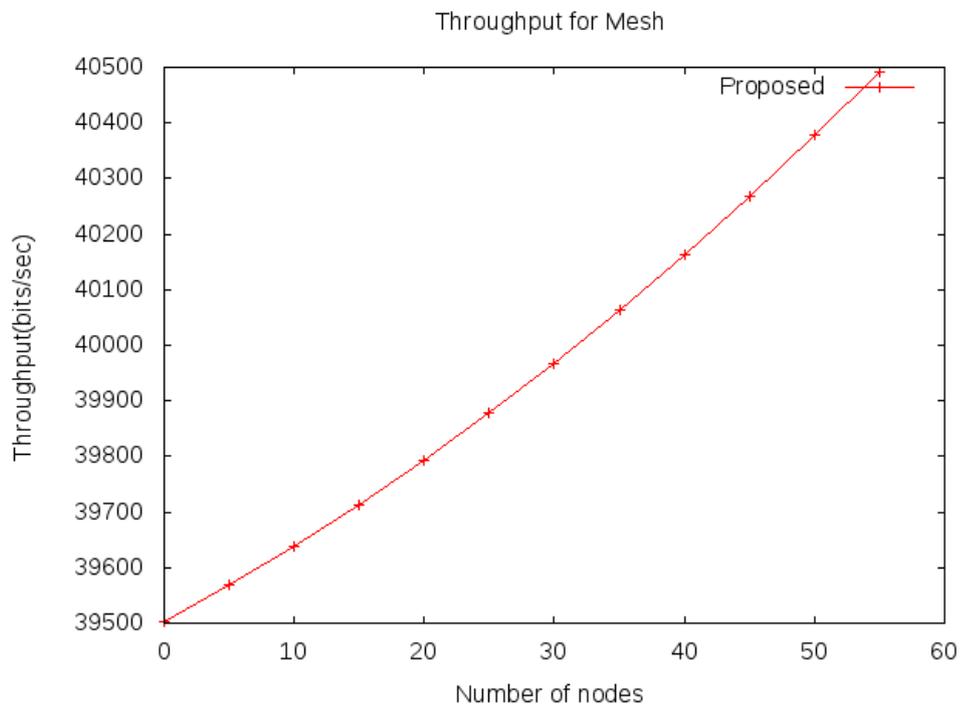


Figura 3. 10: Análisis del Rendimiento para una topología malla.  
Elaborado por: Autor.

### 3.4. Simulación del Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos, en una topología tipo estrella.

En la Figura 3.6, se puede observar la creación de la topología en estrella de la red, tiene 50 colores azules son nodo estático, 10 nodos móviles de color rojo, 1 sumidero de color cian y 1 nodo objetivo verde.

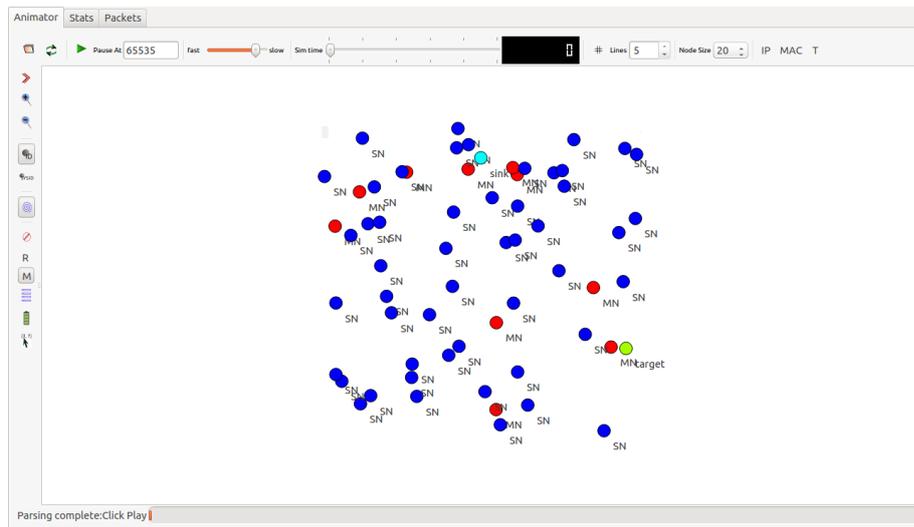


Figura 3. 11: Simulación de una red de sensores inalámbricos de topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

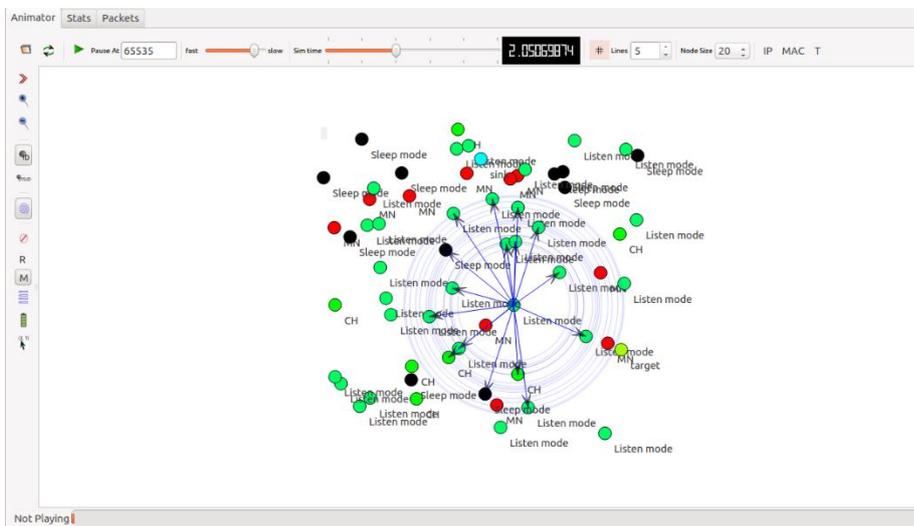


Figura 3. 12: Algoritmo de agrupación NFAP (Neuro-fuzzy based Affinity), usado en una topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

Inicialmente, los nodos del sensor se agrupan utilizando el algoritmo NFAP (Neuro-fuzzy based Affinity) como se muestra en la Figura 3.7, este es también llamado algoritmo de clustering.

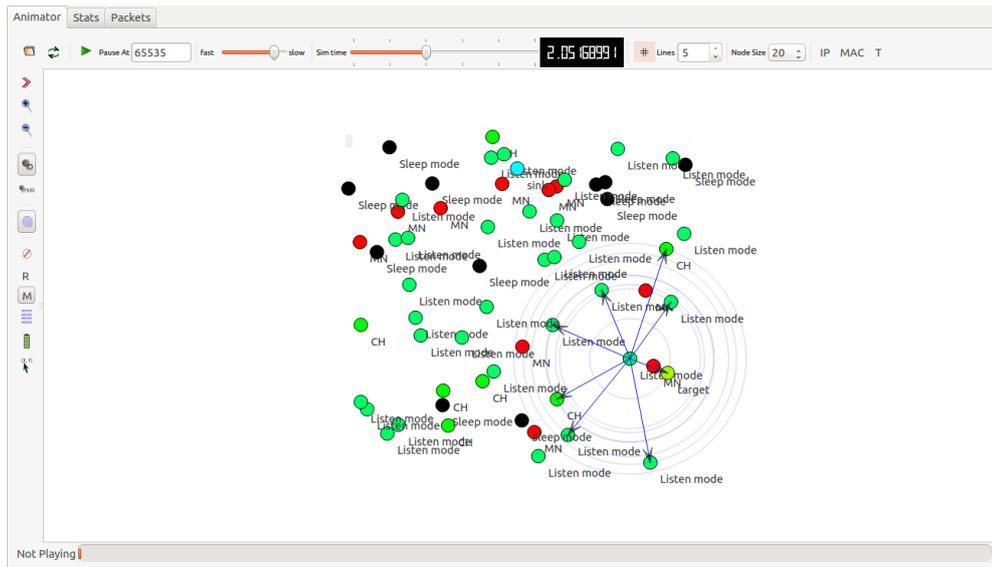


Figura 3. 13: Algoritmo ESLS (Energy Sleep/ Listen Scheduling), en una topología tipo estrella.

Elaborado por: Autor.

En esta fase se emplea una programación de suspensión como se muestra en la Figura 3.8, donde la cabecera del clúster programa el tiempo de espera para todos los miembros de ese grupo.

Con la cual se obtiene una programación eficiente del sueño, emplea el algoritmo ESLS (*Energy Sleep / Listen Scheduling*) que utiliza el nivel de energía y la cobertura para programar la suspensión. En este algoritmo, los nodos móviles están siempre en modo de suspensión y los nodos estáticos se programan periódicamente.

En la Figura 3. 9, se describe de forma gráfica la Detección de objetivos, donde CH (*Head Cluster*) calcula la intensidad de cobertura en la región objetivo. Si la intensidad de cobertura es inferior al nivel umbral, CH programa el nodo móvil en el modo de escucha. A continuación, se selecciona el nodo móvil óptimo para el reposicionamiento utilizando el HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), que toma decisiones basadas en múltiples criterios para encontrar la ruta de costo mínimo que proporciona el mínimo retraso y máximo la conectividad el cual se selecciona para el enrutamiento.



Figura 3. 14: Detención de objetivos utilizando HAHP (Process of Hybrid Analytical Hierarchy), en una topología estrella  
Elaborado por: Autor.

Diseño del análisis experimental en las siguientes métricas:

- Cobertura.
- Conectividad.
- Retardó.
- Eficiencia energética.
- Rendimiento.

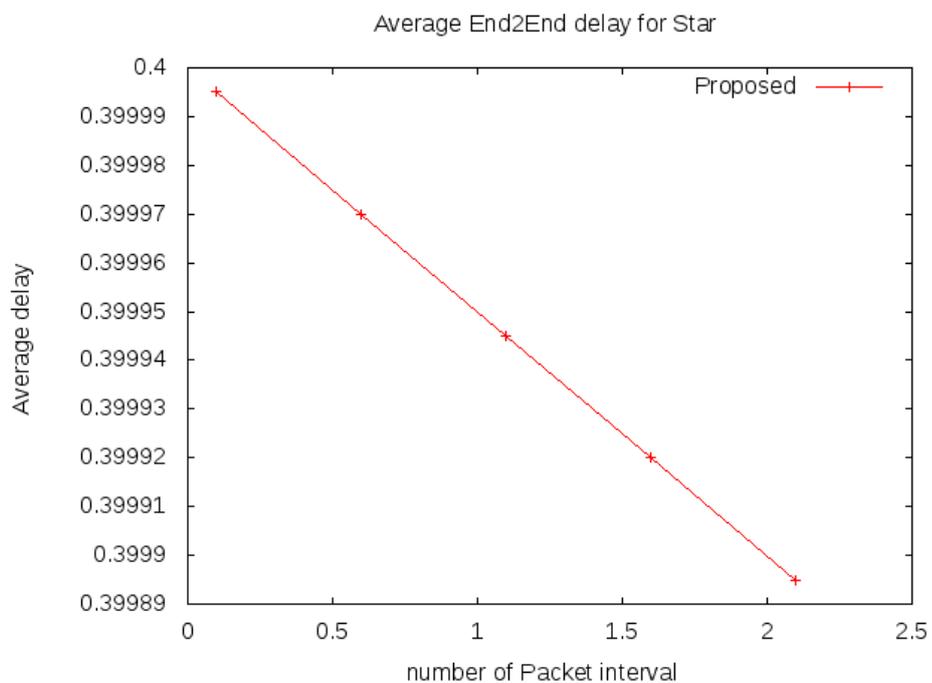


Figura 3. 15: Análisis del retardo en topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

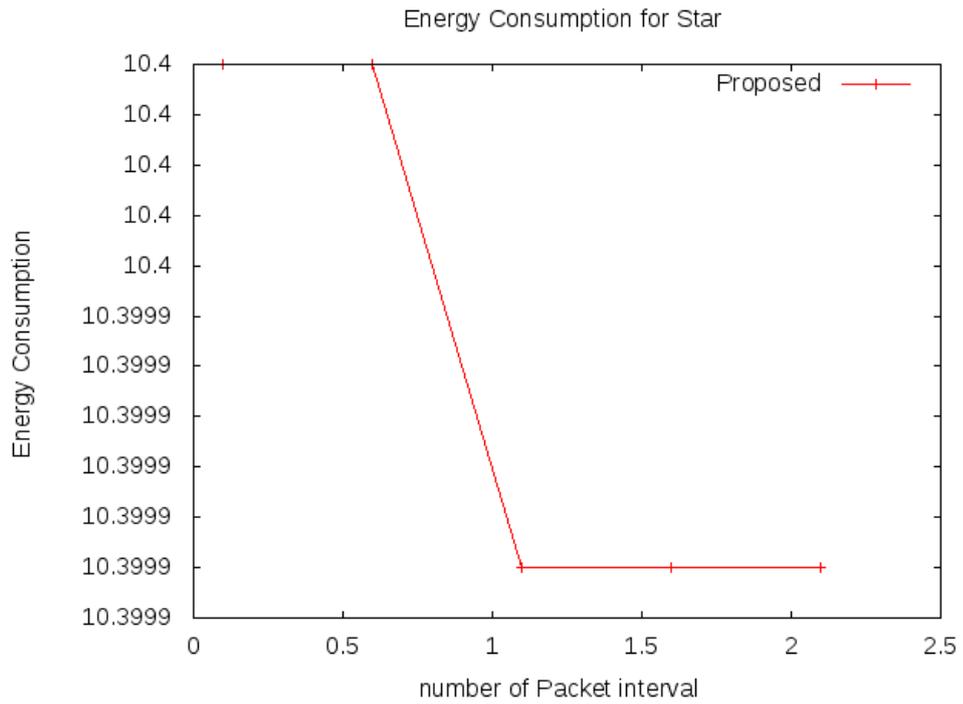


Figura 3. 16: Análisis del consumo de energía en topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

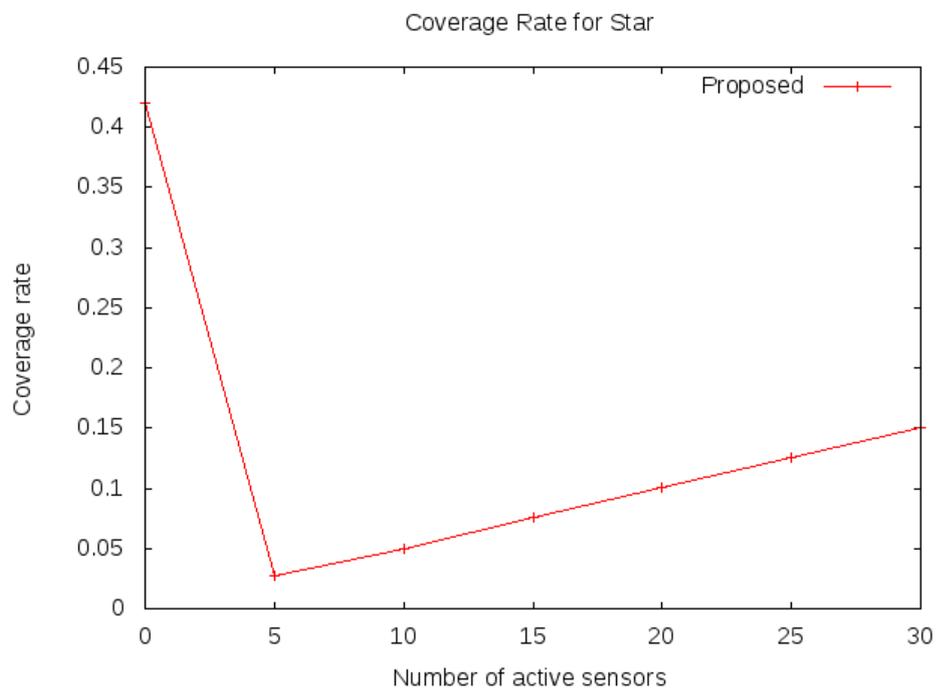


Figura 3. 17: Análisis de la tasa de cobertura para topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

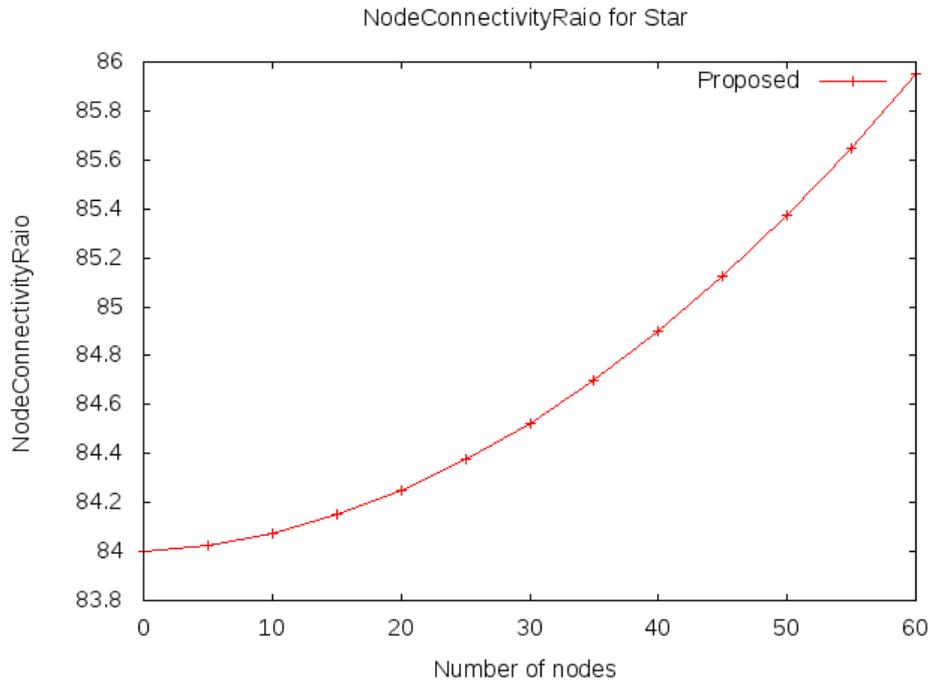


Figura 3. 18: Análisis de la conectividad en topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

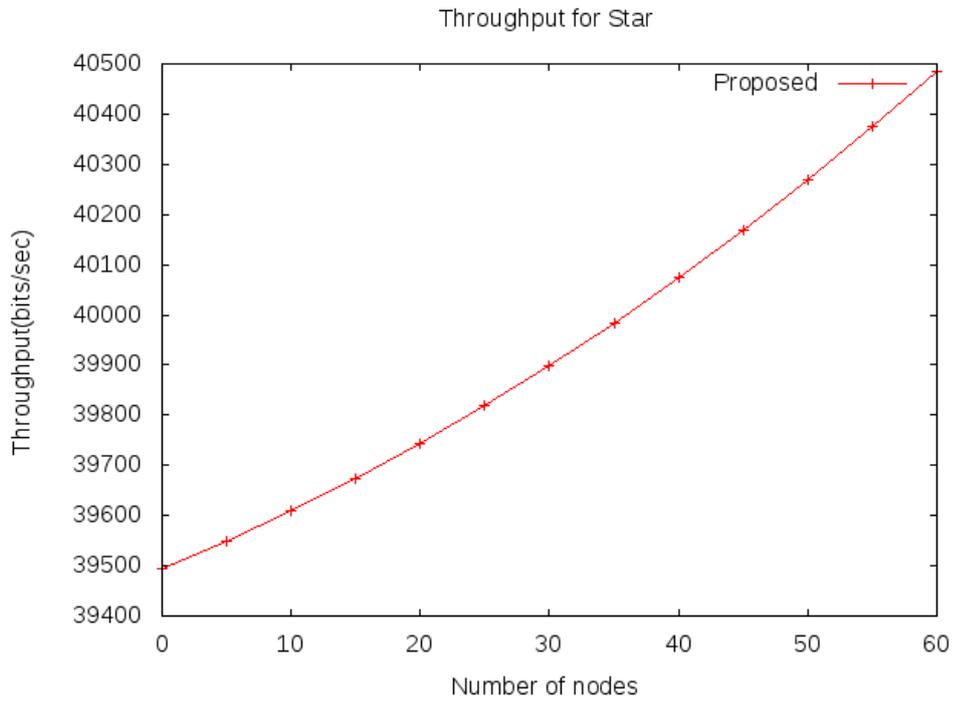


Figura 3. 19: Análisis del Rendimiento para una topología estrella.  
Elaborado por: Autor.

## Conclusiones.

Luego de haber analizado y mejorado la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos se ha llegado a concluir que:

- Utilizar métricas para lograr mejor calidad de sensado significa mejorar el contexto de satisfacción en una red en la detección de un nodo objeto, porque mejoran de muchas maneras y personalizan la solución a sus requerimientos de las actividades solicitadas como lo es en la cobertura, energía y retardo entre otras características.
- Se han realizado dos simulaciones de redes de sensores inalámbricos en topológica: malla y estrella, resultando ser muy efectivas y operativas al momento de aplicarlas.
- Los algoritmo: ESLS (*For efficient sleep scheduling, Energy efficient Sleep/Listen Scheduling*), Algoritmo de agrupamiento NFAP (*Neuro-fuzzy based Affinity Propagation*), Algoritmo HAHP (*Hybrid Analytic Hierarchy Process*), Algoritmo DTMR (*Delay Tolerance Multipath Routing*), fueron descritos, analizados y puestos en la práctica para realizar la propuesta que permitió realizar con éxito las simulaciones que comprenden el aporte personal del autor para mejorar la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos.

EN CONCLUSION: SE COMPROBARON LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS PROPUESTOS.

## Recomendaciones

- Con la finalidad de proporcionar a los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones en esta prestigiosa Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se recomienda introducir una materia sobre simuladores de redes con fines académicos como lo es el Ns-3.26.
- Buscar consolidar un grupo de formación especializada docente, en esta área, para vinculación con la comunidad, logrando tener un equipo de recursos humanos altamente preparados que respondan a este tipo de demanda en el área de telecomunicaciones con el propósito de lograr mejores trabajos en esta área.
- Se deberían fomentar estudios, propuestas, tesis, tesinas, etc. Sobre la creación de estos tipos de métricas en otras topologías existentes a parte de las topologías planteadas en el trabajo de investigación, como lo puede ser la topología árbol la cual se describió de manera teórica, pero no se hizo la simulación para ver el resultado de la calidad de sensado en una red de sensores inalámbricos

## Referencias bibliográficas.

- A, S., & Arun, M. (2014). *Wireless Sensor Network Security in Military Application using Unmanned Vehicle*. Recuperado a partir de <https://pdfs.semanticscholar.org/e0aa/0e813ccb502c37f03a7b91b477e35336c63d.pdf>
- Alhameed, A., & Baicher, G. S. (2012). *Wireless Sensor Network Architecture* (Vol. 35). Singapore. Recuperado a partir de <http://www.ipcsit.com/vol35/003-CNCS2012-N010.pdf>
- Avila, D. (2015). *Evaluación de las topologías físicas de redes WSN para la medición de variables ambientales*. Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH). Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/297208975\\_Evaluacion\\_de\\_las\\_topologias\\_fisicas\\_de\\_redes\\_WSN\\_para\\_la\\_medicion\\_de\\_variables\\_ambientales](https://www.researchgate.net/publication/297208975_Evaluacion_de_las_topologias_fisicas_de_redes_WSN_para_la_medicion_de_variables_ambientales)
- Cárdenas Parra, N. J. (2009). *Protocolo de encaminamiento para redes inalámbricos de sensores en aplicaciones de monitoreo y control* (info:eu-repo/semantics/masterThesis). Recuperado a partir de <http://eprints.ucm.es/9883/>
- Di Marco, P. (2017). *Protocol Design and Implementation for Wireless Sensor Networks*. Recuperado a partir de [https://people.kth.se/~kallej/grad\\_students/dimarco\\_thesis08.pdf](https://people.kth.se/~kallej/grad_students/dimarco_thesis08.pdf)
- Farjamnia, G., & Gasimov, Y. (2016). *Wireless Sensor Networks Architecture*. Recuperado a partir de <http://www.irjcs.com/volumes/Vol3/iss1/06.JAJCS10087.pdf>
- Ghaziabad, M. N. (2016). *Hierarchical based Routing Protocol in WSN*. Deptt of CS Banasthali University Rajasthan. Recuperado a partir de <http://research.ijcaonline.org/ngtbes2016/number1/ngtbes3506.pdf>

- Gómez Atero, J. F. (2011). *Protocolo de encaminamiento adaptativo para la optimización de comunicaciones de captura de datos y disseminación dirigida en redes de sensores inalámbricos*. Recuperado a partir de <https://ciencia.urjc.es/handle/10115/5685>
- Ishfaq, A., Shah, K., & Ullah, S. (2016). *Military Applications using Wireless Sensor Networks: A survey*. Recuperado a partir de <http://ijesc.org/upload/bb8c23649ce0d33a4dfa6a9141d28f50.Military%20Applications%20using%20Wireless%20Sensor%20Networks%20A%20survey.pdf>
- Kolev, Z. (2013). *Topologies of WSN*. Recuperado a partir de [https://www.academia.edu/7088433/Topologies\\_of\\_WSN](https://www.academia.edu/7088433/Topologies_of_WSN)
- M, P. K., Santoshkumar, S. P., & S.Karthick. (2018). A Survey on Internet of Things Using Wireless Sensor Networks. *International Journal for Scientific Research and Development*, 5(11), 500–506.
- M.A, M., & M.M, I. (2012). *Overview of Wireless Sensor Network*. Recuperado a partir de [http://cdn.intechopen.com/pdfs/38793/InTechOverview\\_of\\_wireless\\_sensor\\_network.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/38793/InTechOverview_of_wireless_sensor_network.pdf)
- Mohd Fauzi, O., & Khairunnisa, S. (2012). *Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System*. Recuperado a partir de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027026>
- ns3 project. (2013). *Ns3 (Network Simulator)*. Recuperado a partir de <https://www.nsnam.org/docs/release/3.26/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>
- Rachid, B., & Abdelkader, K. (2016). ESA: An Efficient Self-deployment Algorithm for Coverage in Wireless Sensor Networks. *Procedia Computer Science*, 98, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.009>

Ramirez, C. (2012). *Diseño de una arquitectura para redes de sensores con soporte para aplicaciones de detección de eventos*. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15152/tesisUPV3764.pdf>

Saeed, N., Murad, M., Nawaz, M., & Irum, M. (2017). Survey on Single Path and Multipath Energy Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks, 11.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI** con C.C: # 0704789353 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos**, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 08 de Marzo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI

C.C: 0704789353

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

|  |  |  |    |
|--|--|--|----|
| <b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>   | <b>Análisis y mejora de la calidad de sensado de métricas para una red de sensores inalámbricos.</b> |  |    |
| <b>AUTOR(ES)</b>   | FAJARDO QUEZADA, BRYAN ANDREI  |  |    |
| <b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>   | M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ  |  |    |
| <b>INSTITUCIÓN:</b>  | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil  |  |    |
| <b>FACULTAD:</b>   | Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo   |  |    |
| <b>CARRERA:</b>  | Ingeniería en Telecomunicaciones   |  |    |
| <b>TÍTULO OBTENIDO:</b>  | Ingeniero en Telecomunicaciones  |  |    |
| <b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>   | 08 de Marzo del 2018   | <b>No. DE PÁGINAS:</b>   | 54 |
| <b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>  | Fundamentos de Comunicación, Comunicaciones Inalámbricas y Líneas de Trasmisión                      |  |    |
| <b>PALABRAS CLAVES/<br/>KEYWORDS:</b>  | WSN, QoSensing, ESTRELLA, MALLA, FFD, RFD, CN, ESA, NFAP, ESLS, HAHP, DTMR.                          |  |    |
| <b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b> El aumento inesperado de las Redes de Sensores Inalámbricos en el campo de las telecomunicaciones, ha trascendido una nueva exigencia relacionado con la eficiencia de sensado, que es llamada Calidad de Sensado (QoSensing). Muchas investigaciones mantuvieron la mejora de QoSensing en términos de cobertura y mejora de la conectividad. Pero muchas indagaciones sobre estos estudios no cuentan con un equilibrio entre varias métricas de QoSensing. Para afrontar este problema, en este trabajo complejo se proporciona un breve análisis de las métricas de QoSensing, como la cobertura, la conectividad, el retraso, la eficiencia energética y el rendimiento. Examinando este tipo de análisis, se presenta un método que cuenta con un proceso de cuatro etapas eficientes: 1) Etapa de Agrupación, 2) Etapa de programación de reposo o suspensión, 3) Etapa de mejora de cobertura y 4) Etapa de encaminamiento. En la etapa de agrupamiento, algoritmo de propagación de afinidad basado en Neuro-fuzzy (NFAP) está involucrado para agrupar nodos de sensores en la red. Energy Sleep / Listen Scheduling (ESLS), el algoritmo se emplea en la etapa de programación del reposo, lo que se traduce en una mayor eficiencia energética. Se analizan las cuatro etapas tanto en topología de estrella como de malla para evaluar la métrica de QoSensing en ambas topologías. El resultado de la simulación muestra resultados prometedores en tasa de cobertura, relación de conectividad, eficiencia energética, retardo y rendimiento. |  |  |    |
| <b>ADJUNTO PDF:</b>  | <input checked="" type="checkbox"/> SI   | <input type="checkbox"/> NO  |    |
| <b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  | <b>Teléfono:</b> +593-9-96086955   | E-mail: <a href="mailto:briandrei07@gmail.com">briandrei07@gmail.com</a> |    |
| <b>CONTACTO CON LA<br/>INSTITUCIÓN: COORDINADOR<br/>DEL PROCESO DE UTE</b>   | <b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando  |  |    |
|  | <b>Teléfono:</b> +593-9-68366762   |  |    |
|  | E-mail: <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>             |  |    |
| <b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>  |  |  |    |
| <b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>  |  |  |    |
| <b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>   |  |  |    |
| <b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>  |  |  |    |