



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores**

AUTOR:

Ing. González Murillo Joshua Aaron

Examen Complexivo previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **González Murillo, Joshua Aaron** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **González Murillo, Joshua Aaron**

**DECLARÓ QUE:**

El examen complejo **“Análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores”**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster 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 científico del Examen Complexivo del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021

EL AUTOR

---

González Murillo, Joshua Aaron



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **González Murillo, Joshua Aaron**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del examen complejo titulado: **“Análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 24 de noviembre del 2021

EL AUTOR

---

González Murillo, Joshua Aaron

# REPORTE DE URKUND

**URKUND** Abrir sesión

<b>Documento</b>	<a href="#">Gonzalez_Joshua.docx</a> (D118480321)
<b>Presentado</b>	2021-11-13 22:48 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión TT Joshua González <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 20 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
+	<a href="http://201.159.223.180/bitstream/3317/158...">http://201.159.223.180/bitstream/3317/158...</a>
+	<a href="#">a Formato Complexivo FINAL 2017 (bryan)...</a>
+	<a href="#">Cabezas_Gloria_Final_1.docx</a>
+	<a href="#">TESIS MARVIN GARCIA FINAL.docx</a>
+	<a href="https://www.slideshare.net/franciscovalenz...">https://www.slideshare.net/franciscovalenz...</a>
+	<a href="https://www.revistaespacios.com/a20v41n3...">https://www.revistaespacios.com/a20v41n3...</a>

0 Advertencias. Reiniciar. Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN  
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis del ahorro de consumo de energía mediante  
la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones  
de una red de sensores

AUTOR: Ing. González Murillo, Joshua Aaron

Trabajo de Titulación

previo a la obtención del Grado Académico de Magister en  
Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc.

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

4 de noviembre del 2021

## **Dedicatoria**

Este proyecto va dedicado a mi Esposa que con su paciencia y amor me ha hecho un hombre muy afortunado en darme tres hijos (Scharick, Joshua, Meghan) los cuales amaré y cuidaré siempre, a mi hijo mayor Isaac el cual me siento muy orgulloso del hombre que se está formando, a mi Padre Juan González Bazán que siempre ha sido mi modelo a seguir y mejorar, a mi Madre María Murillo que me ha formado en lo que soy, a mi hermana Johanna que ha estado pendiente de mí, a mi hermana Radhy que siempre ha estado para darme la mano cuando más lo he necesitado, a mi hermano Ghian por toda la ayuda que me ha dado, en fin a este logro se los dedico a todos ustedes que son mi FAMILIA

González Murillo, Joshua Aaron

## **Agradecimientos**

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es para mí invaluable. Me has educado, me has proporcionado todo y cada cosa que he necesitado. Gracias a ti por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Te amo y te amare siempre María Murillo. Te doy las gracias por todo, Madre.

González Murillo, Joshua Aaron



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. 

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
TUTOR

f. 

**M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO**  
REVISOR

f. 

**M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL**  
REVISOR

f. 

**M. Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS**  
DIRECTOR DEL PROGRAMA



## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas.....	XII
Resumen .....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes.....	16
1.3. Definición del problema .....	17
1.4. Justificación del problema a investigar. ....	17
1.5. Objetivos.....	18
1.6. Hipótesis.....	18
1.7. Metodología de investigación. ....	18
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.....	20
2.1. Introducción de redes de sensores inalámbricos (WSN) .....	20
2.2. Estado del arte del consumo de energía en los nodos sensores inalámbricos. ....	21
2.3. Las redes de sensores inalámbricos como base de datos .....	23
2.4. Arquitectura de un procesador de consultas de redes de sensores inalámbricas .....	24
2.5. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos .....	26
2.6. Restricciones de la red de sensores inalámbricos.....	30
2.7. Despliegues de redes de sensores inalámbricos .....	30
2.7.1. Despliegue determinista en redes de sensores inalámbricos..	30
2.7.2. Despliegue estocástico en redes de sensores inalámbricos. ...	31
2.7.3. Despliegue dinámico en redes de sensores inalámbricos.....	32
2.8. Los retos del despliegue de las redes de sensores inalámbricas...33	
Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados. ....	35
3.1. Descripción del modelado de simulación.....	35

3.2.	Redundancia en las redes de sensores.....	35
3.3.	Problemas de redundancia en las mediciones .....	36
3.4.	Técnica de agrupación por proximidad de la zona urbana. ....	37
3.5.	Diseño del escenario de simulación de la técnica de agrupación por proximidad de la zona urbana. ....	38
3.6.	Evaluación de rendimiento. ....	40
3.6.1.	Parámetros y resultados de simulación del escenario 1.....	42
3.6.2.	Parámetros y resultados de simulación del escenario 2.....	43
3.7.	Análisis de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación de la WSN. ....	46
3.7.1.	Análisis de resultados para el consumo de energía promedio de CH. ....	46
3.7.2.	Análisis de resultados para el consumo de energía promedio de los nodos. ....	47
3.7.3.	Análisis de resultados para el retardo extremo a extremo.....	47
	Conclusiones .....	49
	Recomendaciones .....	50
	Bibliografía .....	51

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Componentes de una red de sensores inalámbricos (WSN). ...	20
Figura 2. 2: Representación esquemática de un sistema de sensores inalámbricos.....	20
Figura 2. 3: Arquitectura del procesamiento de consultas en una red de sensores inalámbricos. ....	24
Figura 2. 4: Diferentes aplicaciones en redes de sensores inalámbricos. ...	27
Figura 2. 5: Aplicación de WSN en la agricultura de precisión. ....	28
Figura 2. 6: Aplicación de WSN en la supervisión de contaminación ambiental. ....	29
Figura 2. 7: Representación del despliegue determinista en WSNs. ....	31
Figura 2. 8: Representación del despliegue estocástico en WSNs.....	32
Figura 2. 9: Representación del despliegue dinámico en WSNs. ....	33

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Estructura jerárquica de agrupación de nodos en una WSN. ...	38
Figura 3. 2: Topología básica de agrupación de nodos en una WSN.....	39
Figura 3. 3: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada CH con una iteración para el escenario de simulación 1 de la WSN. ....	43
Figura 3. 4: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada nodo con 20 iteraciones para el escenario de simulación 1 de la WSN.....	43
Figura 3. 5: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada CH con una iteración para el escenario de simulación 2 de la WSN. ....	45
Figura 3. 6: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada nodo con 20 iteraciones para el escenario de simulación 2 de la WSN.....	45
Figura 3. 7: Resultados obtenidos del retardo extremo a extremo para el escenario de simulación 2 de la WSN. ....	46

## Índice de Tablas

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Datos obtenidos durante la etapa de observación .....	39
Tabla 3. 1: Parámetros de simulación del escenario 1 de la red de sensores. .....	42
Tabla 3. 3: Parámetros de simulación del escenario 2 de la red de sensores. .....	44

## Resumen

El presente trabajo del examen complejo se desarrolla el análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores inalámbricos (WSN). Una de las características únicas de las WSN es que los nodos sensores tienen recursos relativamente limitados. Los nodos sensores tradicionales tienen menos potencia de procesamiento, menos ancho de banda de comunicación y menos memoria que otros dispositivos inalámbricos y se alimentan de baterías de baja capacidad. Por lo tanto, la eficiencia energética en las WSN es de suma importancia, ya que un fallo de alimentación de ciertos nodos sensores puede provocar un fallo completo de la red. En varios casos, las WSN en espacios hostiles tienen que funcionar durante un largo periodo de tiempo sin intervención humana. Por ello, se han hecho muchas peticiones para minimizar o reducir el consumo de energía y, por tanto, aumentar la vida útil de la red en cada una de sus capas.

**Palabras claves:** Redes, Sensores, Nodos, Dispositivos, Inalámbrico, Simulación.

## **Abstract**

The present work of the complexive review develops the analysis of energy consumption savings using the node clustering technique based on the measurements of a wireless sensor network (WSN). One of the unique features of WSNs is that sensor nodes have relatively limited resources. Traditional sensor nodes have less processing power, less communication bandwidth, and less memory than other wireless devices and are powered by low-capacity batteries. Therefore, energy efficiency in WSNs is of paramount importance, as a power failure of certain sensor nodes can lead to a complete network failure. In several cases, WSNs in hostile spaces have to operate for a long period of time without human intervention. Therefore, many requests have been made to minimize or reduce power consumption and thus increase the lifetime of the network at each of its layers.

**Keywords:** Networking, Sensors, Nodes, Devices, Wireless, Simulation

## **Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.**

### **1.1. Introducción.**

Con el desarrollo tecnológico de los sistemas mecánicos microelectrónicos (MEMS), la comunicación inalámbrica y los microprocesadores integrados, las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN) se han desplegado en el monitoreo ambiental, la detección de objetivos militares, áreas comerciales, entre otras. (Pérez et al., 2014)

Las WSNs generalmente constan de miles de nodos de sensores que son capaces de detectar, procesar y comunicarse. En las aplicaciones típicas de redes de sensores, cada nodo de sensor obtiene datos del entorno físico y transmite de forma inalámbrica de múltiples saltos los datos a la estación base donde los datos se entregarán a los usuarios a través de infraestructuras como Internet. (Adán R., 2021)

Aunque más del 90% de los sensores todavía están cableados, las redes de sensores cableadas han sido reemplazadas por redes de sensores inalámbricos debido al costo y el retraso de la implementación. El factor dominante en la construcción de redes de sensores cableadas es el costo del cableado. Además, las redes cableadas requieren un tiempo considerable para su implementación.

En el caso de la red de sensores inalámbricos, el despliegue es bastante simple, en muchos casos, simplemente dejando los nodos de sensores en el área objetivo en lugar de cablear desde el área objetivo a la estación de monitoreo.

Las WSNs se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones que permiten que los sistemas de información existentes obtengan y procesen datos del mundo físico. En el monitoreo ambiental, una de las primeras

aplicaciones de la red de sensores inalámbricos, los sensores inalámbricos se utilizan para monitorear animales y plantas en hábitats de vida silvestre.

Otras aplicaciones relacionadas incluyen el monitoreo de la contaminación del agua, incendios forestales y terremotos. En el campo de batalla militar, donde no hay infraestructura y es muy difícil acceder y desplegar las redes de sensores, las redes de sensores inalámbricos pueden desplegarse rápidamente para detectar el objetivo enemigo y rastrear sus movimientos en tiempo real. (Estepa R. & Correa R., 2017)

Las aplicaciones comerciales incluyen el monitoreo y seguimiento de activos, monitoreo de las condiciones de equipos industriales, lectura automatizada de medidores y administración de almacenes utilizando tecnologías RFID. Las WSNs también se pueden utilizar en el monitoreo de la salud estructural de grandes estructuras como aviones, edificios y puentes. Una de las áreas más importantes de las aplicaciones de redes de sensores inalámbricos es la monitorización de la salud de los pacientes en un hospital. (Ruiz-Barquero, 2019)

## **1.2. Antecedentes.**

En las redes de sensores inalámbricos (WSN), la energía es valiosa porque es escasa. Esto hace que su tiempo de vida esté determinado por su capacidad para utilizar la energía disponible de forma eficaz y frugal. En la mayoría de las aplicaciones de WSN, el requisito principal consistía principalmente en la recogida de datos, pero la transmisión de todos los datos brutos fuera de la red puede ser prohibitivamente cara (en términos de comunicación) o imposible a determinadas tasas de recogida de datos.

Para Dâmaso et al., (2017) el consumo de energía es uno de los principales intereses de las WSNs, y se ha propuesto un gran número de estrategias para evaluarlo. Sin embargo, estos enfoques no suelen tener en cuenta los problemas de fiabilidad ni el consumo de energía de las aplicaciones que se ejecutan en la red.



Para Son et al., (2020) las WSNs despliegan numerosos nodos sensores de baja potencia y bajo coste para vigilar el entorno en zonas de difícil acceso o extensas. Recientemente, las WSNs se han utilizado ampliamente en varios campos, como el militar, la detección de catástrofes, la vigilancia del hábitat y los hogares inteligentes. Sin embargo, el tiempo de funcionamiento restringido de los nodos de las WSN es un problema derivado de la capacidad limitada de sus baterías, por lo que se han realizado diversos estudios para reducir su consumo de energía operativa

### **1.3. Definición del problema**

Las limitaciones impuestas por los sensores en una WSN hacen que el diseño de una técnica eficiente para la extensión de la vida útil en las redes de sensores sea un verdadero desafío. Para hacer frente a este reto, se ha propuesto una técnica de agrupación basada en la redundancia de las mediciones para optimizar el consumo de energía en redes de sensores inalámbricos. Esta técnica consiste en agrupar nodos geográficamente cercanos en grupos redundantes. Por tanto, MR-LEACH combina la proximidad geográfica de los nodos y la redundancia de las mediciones para reducir el número de transmisiones intraclúster. número de transmisiones intraclúster.

### **1.4. Justificación del problema a investigar.**

Para facilitar la comprensión del enfoque en el resto de este capítulo, se describen algunas sugerencias razonables:

- ✓ Al igual que el protocolo LEACH, MR-LEACH se basa en una arquitectura de red de tres niveles (nodos, cabezas de clúster, sumideros de datos).
- ✓ Los nodos se despliegan de forma aleatoria y densa.
- ✓ Los nodos observan el mismo fenómeno físico y generan tráfico periódico.
- ✓ No se proporciona explícitamente ninguna información sobre la posible redundancia.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Analizar el ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores.

### **1.5.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Describir los fundamentos teóricos de las redes de sensores inalámbricos.
- ✓ Implementar escenarios de simulación de una red de sensores inalámbricos utilizando la técnica de agrupamiento de nodos mediante el software NS-2.
- ✓ Discutir los resultados obtenidos de los dos escenarios de simulación propuestos en la red de sensores inalámbricos.

## **1.6. Hipótesis**

Mediante la implementación de la técnica de agrupación de nodos se demostrará el ahorro energético basada en las mediciones de la cantidad de nodos y radio de detección de una red de sensores inalámbricos.

## **1.7. Metodología de investigación.**

El método científico se utiliza en todas las ciencias, incluidas la química, la física, la geología y la psicología. Los científicos en estos campos hacen diferentes preguntas y realizan diferentes pruebas. Sin embargo, usan el mismo enfoque básico para encontrar respuestas lógicas y respaldadas por evidencia. Los procedimientos científicos se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista. El tipo de procedimiento científico se diferencia en función del tipo de procedimiento científico predominante, es decir, si los métodos empíricos o teóricos prevalecen en el curso del procedimiento científico.

Otra posible clasificación se basa en la forma de explicación o interpretación del tema tratado respectivamente. Con base en este criterio, se diferencian los llamados tipos de métodos científicos. Entre ellos, existen métodos de explicación e interpretación. La explicación procede de lo general

a lo individual. La relación general significa familiar (por ejemplo, en forma de una "ley científica"); lo específico son los fenómenos que se explican y que se incluyen en una relación general. La interpretación es un procedimiento diferente.

Finalmente, el presente componente práctico del examen complejo tiene un enfoque cuantitativo ya que se basa en la recopilación de datos obtenidos en la ejecución de los escenarios de simulación propuestos en el capítulo 3.

## Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

### 2.1. Introducción de redes de sensores inalámbricos (WSN)

La red de sensores inalámbricos es una red de nodos de sensores. Estos nodos tienen capacidad de detección y transmisión y en la figura 2.1 se muestra un ejemplo de la red de sensores inalámbricos. Un nodo sensor consta de unidad sensora, unidad transceptora/comunicación, unidad de fuente de alimentación, unidad de memoria y microcontrolador tal como se muestra en la figura 2.2.

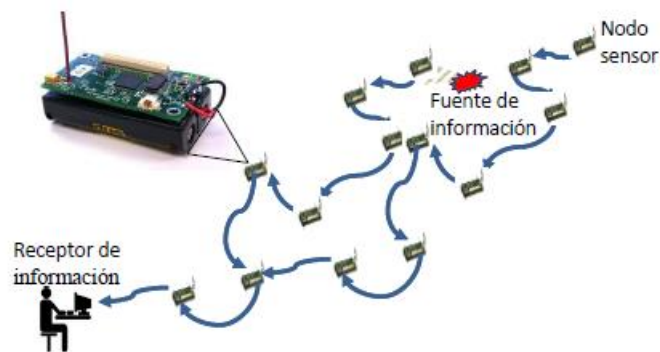


Figura 2. 1: Componentes de una red de sensores inalámbricos (WSN).  
Elaborado por: Autor.

Las unidades sensoras son los sensores o actuadores que son las partes del nodo que interactúan con los entornos para obtener medidas o parámetros físicos. Por ejemplo, el sensor de temperatura DTH11 mide la temperatura ambiental y la humedad relativa. La otra parte de un nodo sensor es el microcontrolador (uC) o simplemente la unidad controladora (véase la figura 2.2). Esta unidad es responsable de procesar la información y tomar decisiones inteligentes sobre la información, por ejemplo, la placa experimental Arduino UNO sería la unidad controladora.

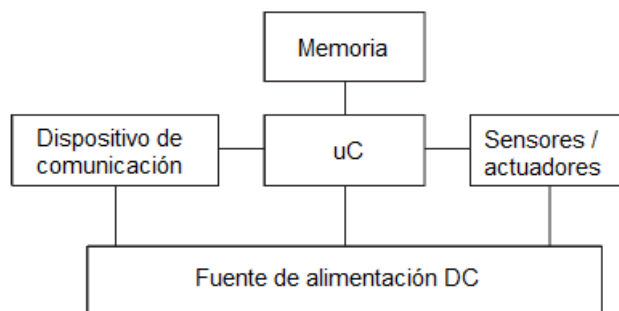


Figura 2. 2: Representación esquemática de un sistema de sensores inalámbricos.  
Elaborado por: Autor.

Es posible que algunos nodos de sensores no requieran una unidad controladora si solo deben medir datos escalares simples y reenviarlos al nodo más cercano sin hacer ningún juicio sobre los datos. En este caso el sensor necesita algún tipo de energía para funcionar. La unidad de suministro de energía que sirve como fuente de energía en forma de batería o cualquier forma de fuente renovable es otra parte vital del nodo. La fuente de alimentación de un nodo debe ser estable y durar mucho tiempo porque el nodo se encuentra apartado o en un área aislada donde la recarga de energía puede no ser posible.

La unidad de comunicación es el transceptor de radio que se encarga de las comunicaciones y la transmisión de información de un punto a otro. Finalmente, los nodos sensores a veces necesitan memoria para almacenar programas y datos intermedios; Por lo general, se utilizan diferentes tipos de memoria para programas y datos.

## **2.2. Estado del arte del consumo de energía en los nodos sensores inalámbricos.**

Razzaque et al., (2013) afirma que el consumo de energía de un nodo se expresa como el total de la energía de muestreo, la energía computacional, la energía de conmutación y la energía de comunicación. El coste de la comunicación del sensor es más caro que el de otros componentes de la vida útil del sensor, lo que afecta al consumo total de energía.

En los últimos años, el interés por las WSNs ha aumentado considerablemente tanto en las comunidades de redes como en las de bases de datos. Como describe Aggarwal, (2013) los sensores pueden realizar las siguientes tareas:

- recoger lecturas del entorno,
- recibir datos de otros sensores en su red,
- realizar algunos cálculos sobre los datos recibidos y recogidos,
- transmitir datos a la WSN, y
- estar activo siempre que se requiera, de lo contrario, permanecer en modo de reposo.

La consulta típica dirigida a un sensor de red contiene la siguiente información, que se recupera a petición del usuario:

- La frecuencia de muestreo (con qué frecuencia se recogen las muestras).
- Los atributos que se van a muestrear (por ejemplo, las lecturas de temperatura)
- Restricciones especificadas en los valores devueltos para las lecturas (condición aplicada)

Las bases de datos están consideradas como fuentes autorizadas y completas de recopilación de información. Se ha observado que las redes de sensores inalámbricos están muy influenciadas por las tecnologías de bases de datos. Un área específica asociada a esto es la consulta de redes de sensores, lo que demuestra la oportunidad presente para los investigadores de la base de datos en el proceso de aplicación de su experiencia en este campo. Sin embargo, para la programación de toda la red de nodos de sensores, en lugar de la programación de nodos individuales, se observa que la consulta declarativa es la más potente.

Cabe señalar que las WSNs están ampliamente influenciadas por las tecnologías de bases de datos. Un área específica asociada a esto es la consulta de la red de sensores, que es el proceso de detección de la existencia de un evento estático, también se considera como el proceso de recopilación de datos de inicio. Al consultar un nodo se obtiene toda la información del nodo, que incluye la marca de tiempo de la consulta y las lecturas de los sensores, como la temperatura, la luz y la humedad.

Existen dos formas convencionales de manejar consultas, el almacenamiento y los enfoques bajo demanda. El enfoque de almacenamiento es similar al enfoque de gestión de bases de datos en el que la estación base recoge y almacena los datos periódicamente, mientras que el enfoque bajo demanda recoge los datos en función de las peticiones de los usuarios. Para programar toda la red de nodos sensores en lugar de nodos individuales, sin embargo, la comunidad de bases de datos de bases de datos

considera que la consulta declarativa es el enfoque más potente. Según Brayner et al., (2008) , con la ayuda de un enfoque de motor de consulta de base de datos, las respuestas a las consultas dependen de la disponibilidad y accesibilidad de los datos.

### **2.3. Las redes de sensores inalámbricos como base de datos**

Los sistemas de bases de datos se juzgan por su capacidad de localizar espontáneamente las estrategias de evaluación para las consultas que se plantean de forma declarativa. Dependiendo de la complejidad de una consulta, la consulta disponible se procesa en una variedad de técnicas. Por lo tanto, el optimizador de consultas en uso identifica y construye el mejor plan de evaluación de consultas; es decir, sobre la base del coste.

Así, en función de la expresión que se ha proporcionado, el optimizador de consultas produce estrategias alternativas, que producen un resultado similar. El optimizador de consultas identifica entonces la que tiene el coste mínimo o la más rentable. Por lo tanto, existe la técnica de optimización de consultas basada en el coste. La técnica de optimización de consultas basada en el coste, a partir de la consulta disponible, el optimizador produce varios planes de evaluación de la consulta. Lo hace mediante el uso de varias directrices de equivalencia. Basándose en estas directrices, se selecciona la consulta más rentable.

En la gestión de bases de datos, el término agregación de datos se refiere a cualquier proceso por el cual la información se puede reunir y expresar en forma de resumen. La agregación presenta los datos en una forma que revela más información sobre grupos particulares basados en características o variables específicas.

En los sistemas de bases de datos tradicionales, las consultas se demuestran como el conjunto racional de datos que es de importancia para el usuario. Este tipo de base de datos, sin embargo, no ilustra los procedimientos específicos y los componentes de software u operativos que son utilizados por el sistema para reunir el conjunto de respuestas. Para cualquier tipo de

consulta lógica, el sistema tiene la capacidad de determinar a partir de diferentes ordenamientos y planes de operadores. En las consultas, el proceso de elegir el mejor plan potencial se conoce como optimización de la consulta, que se considera importante ya que ayuda en el proceso de implementación de la aplicación de la consulta.

#### **2.4. Arquitectura de un procesador de consultas de redes de sensores inalámbricas**

Las redes de sensores ofrecen un entorno informático y de programación complejo. Estos dispositivos son propensos a fallar debido a sus limitaciones y a su pequeño tamaño, por lo que su sistema operativo no es capaz de mitigar los fallos. Pocos de los LEDs de los dispositivos ayudan a realizar la depuración. Además, los programas están muy dispersos y es necesario que gestionen el ancho de banda de radio y energía a la hora de distribuir la información y el procesamiento.

La arquitectura de procesamiento de consultas se compone de seis bloques de procesos, cada uno de los cuales tiene su propia funcionalidad, tal como se indica a continuación y se presenta en la figura 2.3.

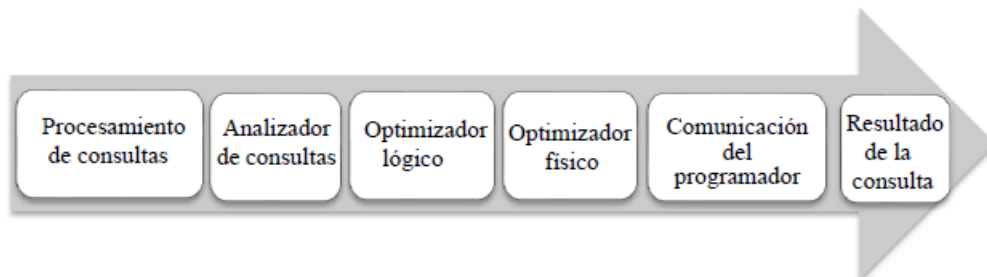


Figura 2. 3: Arquitectura del procesamiento de consultas en una red de sensores inalámbricos.

Fuente: (Jabeen & Nawaz, 2015)

Los componentes del procesamiento de la consulta se procesan en orden. Una vez que el usuario selecciona la consulta a la interfaz de detección de consultas, el analizador de consultas la analiza y se realiza una comprobación de tipo. Este da como resultado una ilustración interna, como un árbol de sintaxis abstracto que se pasa al optimizador de consultas. A continuación, el optimizador de consultas tiene como objetivo seleccionar el



plan de evaluación de consultas adecuado entre varios planes. El plan calcula diferentes costes de ejecución mientras debe asegurarse de la mejor y más precisa forma de ejecutar la consulta, que puede representarse en forma de árbol utilizando operadores algebraicos como selecciones, proyecciones y uniones.

En este punto, el optimizador debe asociar un coste al plan de ejecución de la consulta mediante un modelo matemático que es la función de coste. A continuación, el optimizador lógico realiza optimizaciones que incluyen el tamaño de la tabla, el fragmento y la existencia, mientras que la etapa física generará el plan de consulta físico a partir del plan lógico de consulta optimizado. El optimizador mapea cada plan lógico con el plan físico. Las opciones anteriores dependen de varios factores, como la memoria disponible, el tamaño de la relación, el almacenamiento o no. La última etapa consiste en que el optimizador asigne y programe los fragmentos del plan a cada nodo específico y luego envíe el resultado de la consulta al usuario final.

Este desafiante entorno informático y las limitaciones asociadas a los dispositivos hacen que los sistemas de recogida de datos inalámbricos tengan un conjunto inusual de requisitos de software. Algunos de ellos son los siguientes:

- Los recursos, como la energía, deben gestionarse con cuidado. El consumo de energía está dominado por el uso de la detección y la comunicación según las operaciones de datos y las dificultades de tamaño de los datos inherentes a las redes de sensores. Además, la ley de Moore establece que la carga de energía por ciclo de la CPU disminuirá a medida que se reduzcan los transistores y el voltaje. Mientras que, por otro lado, las restricciones físicas asociadas a la tecnología de las baterías hacen que la energía necesaria para comunicar información por radio siga superando la densidad energética de las mismas.
- La naturaleza transitoria de las redes de sensores debe ser gestionada eficazmente mediante consultas de consulta, ya que los nodos van y vienen, la intensidad de la señal presente entre los

dispositivos fluctúa, las baterías se agotan y los patrones de interferencia cambian. fluctúan, las baterías se agotan y los patrones de interferencia cambian. A pesar de todos estos desafíos, el proceso de recogida de datos debe interrumpirse lo menos posible.

- Los usuarios deben disponer de las herramientas necesarias para gestionar y comprender el estado de una red y poder añadir fácilmente nodos con nuevos tipos de sensores y capacidades.

## **2.5. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos**

Los nodos de sensores inalámbricos se implementan para diversas aplicaciones y propósitos, tal como se resume en la figura 2.4. Las redes de sensores inalámbricos se utilizan para implementar varias ciudades inteligentes, detección de incendios, sistemas de estacionamiento para administrar estacionamientos numerosos y complejos, entre otras diversas aplicaciones de WSN. Tagne Fute & Tonye, (2013) realizaron el modelado y autoorganización WSN móviles como aplicación a la detección de incendios. En este artículo se evaluaron los valores de ociosidad del ambiente y consumo de energía por sensores y Sumidero.

Por ejemplo, una aplicación sería que los nodos de sensores inalámbricos se implementen en los bosques para monitorear y rastrear el comportamiento de la vida silvestre, los brotes de incendios forestales, los deslizamientos de tierra, la erosión, las actividades volcánicas, las fronteras de los países, la contaminación forestal y otros desastres naturales. Aunque, también se implementan en entornos hostiles para detectar e identificar la presencia de recursos minerales y productos derivados del petróleo. Los nodos se despliegan por avión en una masa alrededor del borde del fuego para detectar, monitorear e informar sus direcciones de propagación al centro de control.

Otra aplicación sería en las operaciones del campo de batalla, los nodos de sensores se despliegan como sensores estacionarios o robóticos desde aviones de guerra hasta una gran jungla para detectar, identificar y rastrear amenazas armadas. Del mismo modo, los sensores se utilizan para rastrear y

desactivar explosivos y neutralizar armas biológicas. Estas ayudan a las operaciones de combate y protegen a los soldados en el campo de batalla proporcionando vigilancia, reconocimiento e información de inteligencia a los centros de mando y control.



Figura 2. 4: Diferentes aplicaciones en redes de sensores inalámbricos.  
Fuente: (Jino Ramson & Moni, 2017)

En estos y muchos otros ejemplos, los entornos a monitorear pueden ser demasiado grandes o duros para usar implementaciones deterministas, por lo tanto, pueden ser necesarios métodos de implementación estocásticos como lo sería las WSNs. Las WSNs se utilizan en transporte, atención médica, agricultura, inteligencia, reconocimiento, ciudades inteligentes y vigilancia en numerosas aplicaciones críticas para la seguridad. En agricultura, las WSN se utilizan para monitorear el crecimiento de los cultivos, rastreando los hábitos de pastoreo de las vacas en el pasto u otro ganado.

Las WSNs también se utilizan para monitorear actividades deportivas. Desempeñan un papel importante en la construcción de ciudades inteligentes,

transporte inteligente y sistemas de estacionamiento. Debido a la gran cantidad de automóviles en algunas regiones como los Estados Unidos de América, existe la necesidad de tener estacionamientos para automóviles. Estos estacionamientos están disponibles en lugares de trabajo, centros deportivos, centros de entretenimiento y turísticos, centros comerciales, aeropuertos, escuelas, departamentos residenciales, etc. Numerosos estudios proponen una WSN como herramientas para la gestión de estacionamientos.

### 2.5.1. Aplicaciones de WSN en la agricultura.

El propósito de la agricultura de precisión (Precision Agriculture, PA) es hacer que las operaciones culturales sean más ingeniosas, reduciendo al mismo tiempo el impacto medioambiental. La información recogida por los sensores se utiliza para valorar la densidad de siembra más favorable, estimar las necesidades de fertilizantes y otros insumos y predecir con mayor precisión el rendimiento de los cultivos. Las WSNs desempeñan un papel inevitable en el campo de la agricultura. La arquitectura consiste en el campo provisto de un número de nodos de sensores inalámbricos que se utilizan para la recogida y supervisión de datos como la temperatura, la humedad, los niveles de gas de dióxido de carbono, la humedad del suelo, etc. La figura 2.5 muestra un ejemplo de la arquitectura de WSN en la agricultura de precisión implementada por (Mohd Kassim et al., 2014).

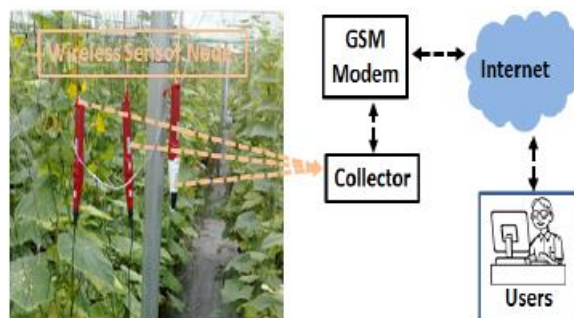


Figura 2. 5: Aplicación de WSN en la agricultura de precisión.  
Fuente: (Mohd Kassim et al., 2014)

Según Mohd Kassim et al., (2014) la PA es un sistema agrícola basado en la información y la tecnología, diseñado para mejorar los procesos agrícolas mediante el seguimiento preciso de cada paso para garantizar la

máxima producción agrícola con un impacto medioambiental mínimo. Implica el ajuste de los parámetros de siembra, la modulación de las dosis de fertilizantes, la aplicación de agua, plaguicidas y herbicidas según el lugar.

### 2.5.2. Supervisión del medio ambiente

El uso de WSNs en el medio ambiente extiende su aplicación en la minería del carbón, terremotos, tsunamis, detección de inundaciones, predicción de incendios forestales, fugas de gas, ciclones, precipitaciones lluvia, calidad del agua y erupciones volcánicas, etc. Como la red proporciona una detección y predicción tempranas de todas estas calamidades ambientales, ayuda a tomar una medida de seguridad a cierto nivel. Los datos se detectan mediante sensores y se transmiten a la estación principal a través de Internet. Esto ayuda a tomar precauciones y también ayuda a que la gente sea consciente del desastre que está a punto de producirse. Por ejemplo, la figura 2.6 muestra la aplicación de la red de sensores inalámbricos en la monitorización medioambiental. (Jino Ramson & Moni, 2017; Lanzolla & Spadavecchia, 2021)

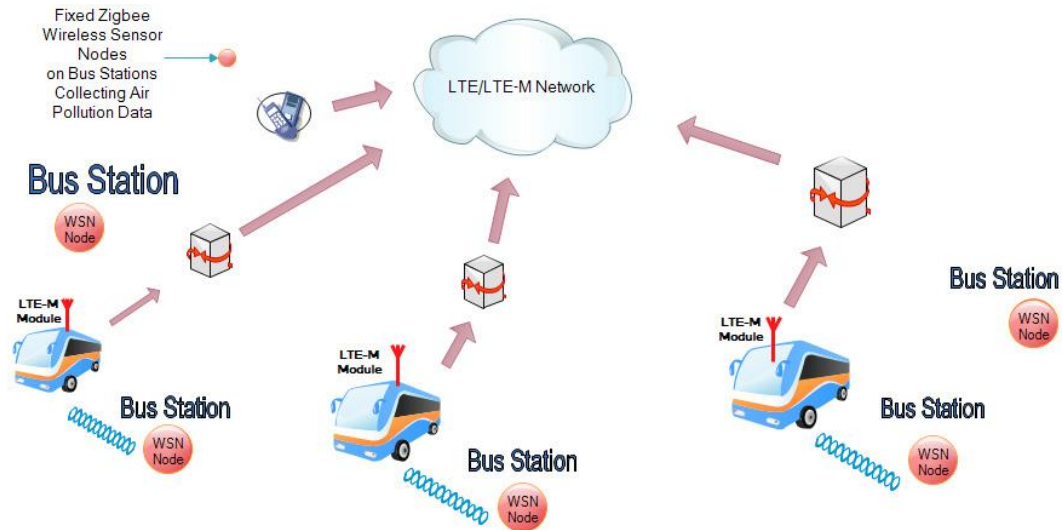


Figura 2. 6: Aplicación de WSN en la supervisión de contaminación ambiental.  
Fuente: (Mohd Kassim et al., 2014)

### 2.5.3. Aplicaciones de WSN en la transportación inteligente.

El transporte inteligente es otra aplicación de las WSN. Las cámaras en red y otros sensores que se utilizan para supervisar el flujo de tráfico para reducir la congestión, el seguimiento de los vehículos en la ciudad por

infracciones de tráfico y para detectar actividades ilegales en torno a las infraestructuras críticas como aeropuertos, estaciones de tren, etc. La aplicación de las WSNs en el transporte inteligente proporciona los posibles beneficios del uso de las WSN basadas en para la mejora de la calidad y la seguridad del transporte de vehículos.

## **2.6. Restricciones de la red de sensores inalámbricos**

A pesar de la amplia gama de aplicaciones de las WSNs, hay varios factores que influyen en el diseño, la planificación y la implementación de la red de sensores inalámbricos y establecen limitaciones para el uso de WSN. Algunos de estos factores son los entornos operativos, la conectividad y la cobertura de la red, la implementación y el consumo de energía. Otros son el costo de producción y despliegue, la topología de la red, la escalabilidad, la tolerancia a fallas, la restricción de hardware, etc. Existen varios métodos en la literatura para optimizar las restricciones de WSN. Este componente práctico propone un enfoque para optimizar el consumo de energía promedio en los nodos sensores mediante la jerarquía de agrupamiento adaptativo de baja energía (LEACH).

## **2.7. Despliegues de redes de sensores inalámbricos**

La ubicación del nodo del sensor inalámbrico es una parte vital de la aplicación WSN. La ubicación óptima del sensor es deseable para que las WSNs cumplan con su propósito. Los nodos sensores se despliegan o implementan en el entorno utilizando un enfoque determinista, estocástico y dinámico. El despliegue óptimo es cuando se cubre cada punto del campo de interés y todos los sensores de la red están conectados entre sí. Varios estudios han propuesto varios algoritmos para la colocación de sensores.

### **2.7.1. Despliegue determinista en redes de sensores inalámbricos.**

Según Zheng et al., (2014) la implementación determinista es una implementación bien planificada, fija y deseable con un posicionamiento y una ubicación cuidadosos de los nodos. En el despliegue determinista (Jiang et al., 2018) de nodos sensores en un área de interés, se utilizan los polígonos de Voronoi enmallada de la WSN en dicho enfoque de despliegue. En la figura

2.7 se muestran los ejemplos de este tipo de polígonos cuadrado (ver figura 2.7 a), circular (ver figura 2.7 b), hexagonal (ver figura 2.7 c) y triangular (ver figura 2.7 d).

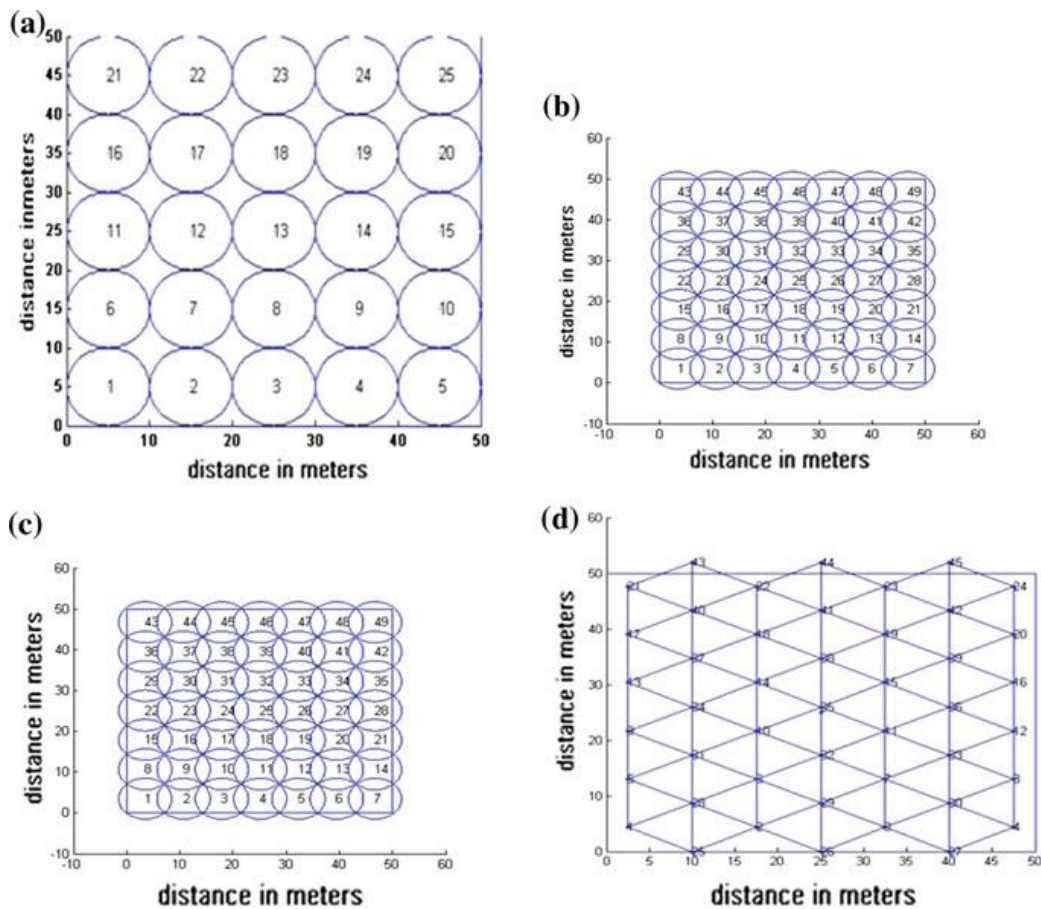


Figura 2. 7: Representación del despliegue determinista en WSNs.

Fuente: (Snigdh, 2019)

Este tipo de enfoque de implementación no es complicado. Proporciona una mejor cobertura de detección y conectividad. Se observa que el patrón hexagonal (véase la figura 2.7 c) es el patrón de implementación óptimo en términos de necesitar el número mínimo de sensores para una conectividad de red completa. Sin embargo, para la cobertura de área o detección, el enfoque de implementación triangular (véase la figura 2.7 d) brinda un patrón de implementación óptimo en términos de necesidad de la cantidad mínima de sensores.

### 2.7.2. Despliegue estocástico en redes de sensores inalámbricos.

La metodología de despliegue que se utiliza normalmente a gran escala es el despliegue estocástico. En este enfoque de despliegue, los nodos



sensores se despliegan aleatoriamente desde paletas de aviones de bajo vuelo, proyectiles de artillería, cohetes y misiles para supervisar u obtener el conocimiento de la situación en una zona amplia. Hay una distribución aleatoria de los nodos en un área finita tal como se muestra en la figura 2.8 (Priyadarshi et al., 2020). Es evidente que el rendimiento de la WSN con nodos sensores desplegados aleatoriamente será menor que el del nodo sensor desplegado de forma determinista. Sin embargo, la gran escala y la aleatoriedad dificultan la planificación y la obtención del resultado deseado.

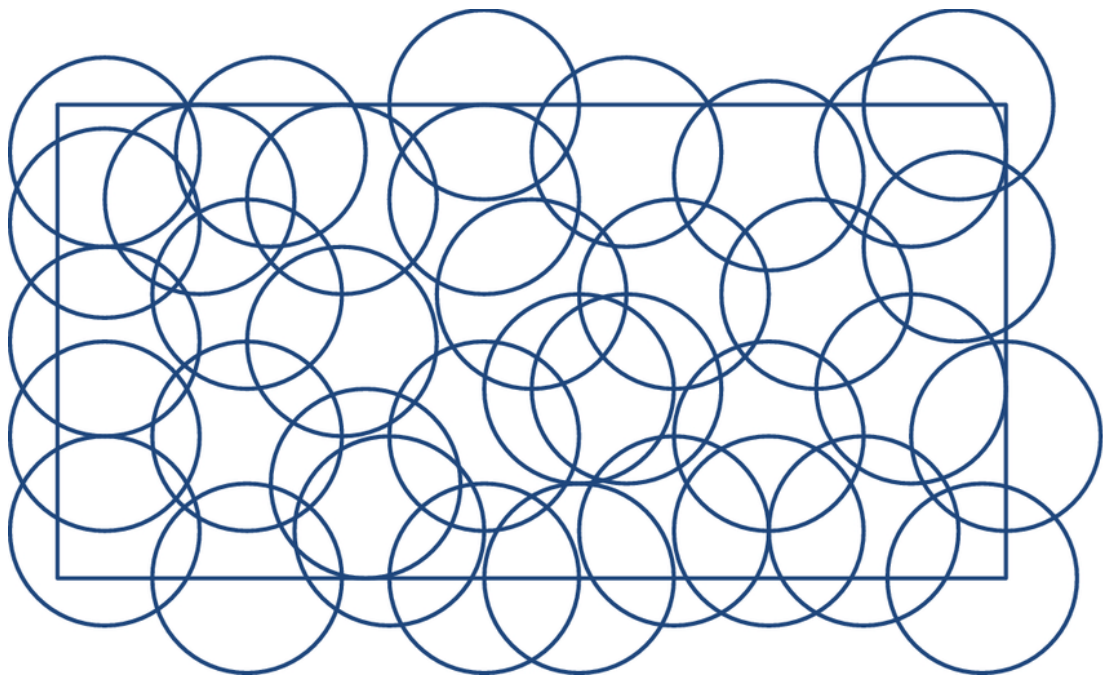


Figura 2. 8: Representación del despliegue estocástico en WSNs.  
Fuente: (Priyadarshi et al., 2020)

### **2.7.3. Despliegue dinámico en redes de sensores inalámbricos.**

Cuando no se consigue la cobertura de red y de detección deseada, es necesario hacer un redespliegue o una auto movilidad de los nodos. Para el despliegue posterior, los nodos sensores móviles pueden moverse para compensar las deficiencias del despliegue, pueden desplazarse pasivamente por alguna fuerza externa (viento, agua) y pueden buscar activamente "zonas interesantes". La figura 2.9 muestra la arquitectura de una WSN dinámica que fue propuesta por (Liu & Liu, 2018)

En las WSN estáticas, los nodos se encuentran en una ubicación fija en el área o zona de trabajo, mientras que en las WSN móviles los nodos



sensores pueden cambiar su posición dependiendo de la necesidad del objetivo de la WSN. (Priyadarshi et al., 2020)

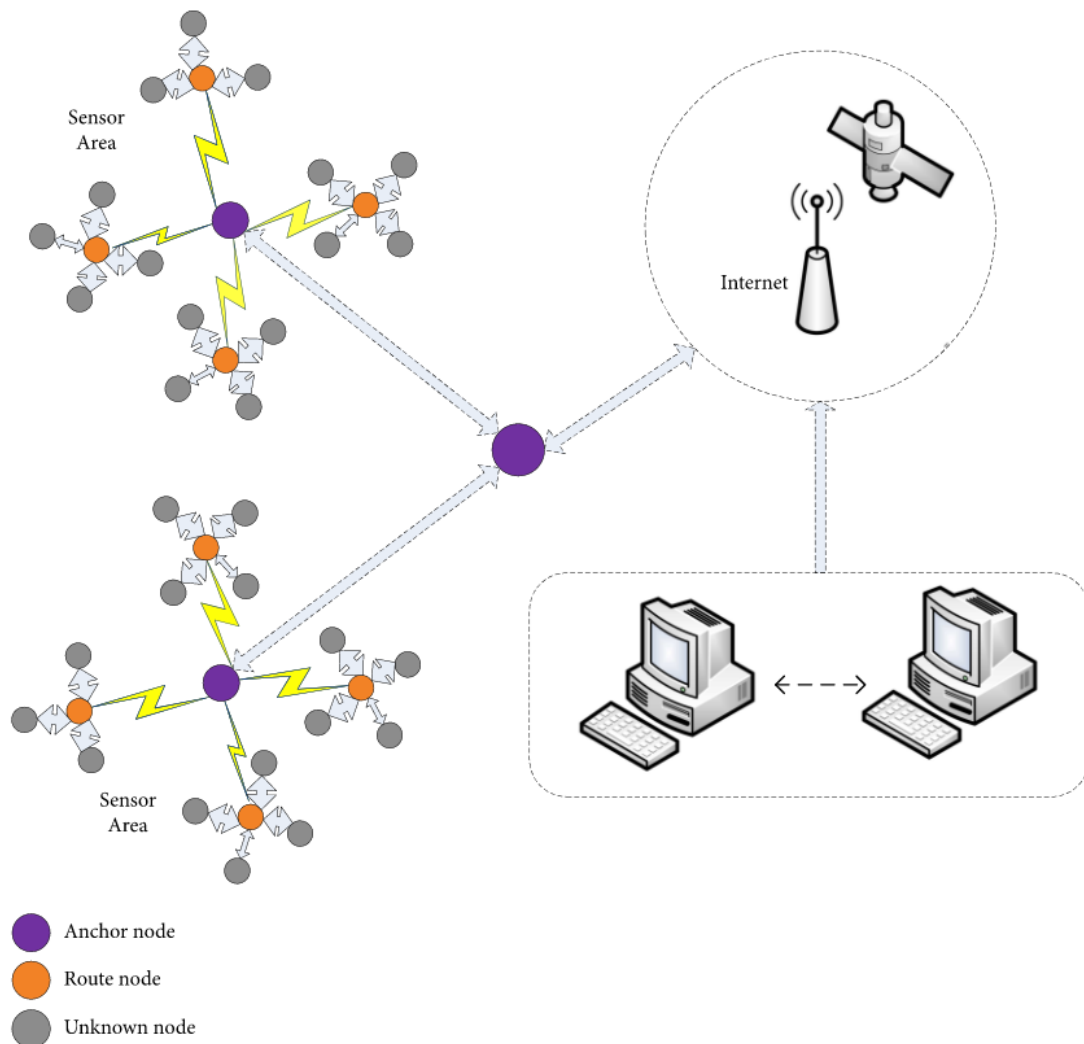


Figura 2. 9: Representación del despliegue dinámico en WSNs.  
Fuente: (Liu & Liu, 2018)

## 2.8. Los retos del despliegue de las redes de sensores inalámbricas.

Por ejemplo, los propósitos de tener un despliegue estocástico son:

- Maximizar la conectividad (esto es una función de la radio y los nodos);
- Maximizar la cobertura (esto es una función del rango de detección y de los nodos);
- La vida útil debe ser maximizada (esto es una función de la energía consumida por los nodos) y;
- El coste debe minimizarse (es una función de los nodos y del esfuerzo de despliegue).

Sin embargo, existen limitaciones para alcanzar estos propósitos. El aumento de la conectividad puede requerir el aumento de la potencia de transmisión y el aumento de la potencia disminuye la vida útil. Además, el aumento de la conectividad puede requerir nodos adicionales y el aumento del número de nodos aumenta el coste.

Asimismo, el despliegue se optimizará en un terreno homogéneo, pero en la realidad los entornos de despliegue son complejos y heterogéneos. Así, el enfoque de despliegue estocástico hace que la conectividad y la cobertura deseadas sean imprevisibles. A veces, es necesario un redespliegue que no es adecuado para las operaciones que requieren plazos o urgencia y debido al coste del redespliegue.

Aun así, a veces se recurre a la movilidad de los nodos o a la relocalización y a la georreferenciación mediante robots para optimizar el despliegue. Sin embargo, la movilidad de los nodos requiere la propagación de la señal de radio en la zona del terreno para la navegación o la comunicación.

Además, los nodos en movimiento deben ser lo suficientemente inteligentes como para sortear los obstáculos hasta llegar a la ubicación deseada consumiendo la menor cantidad de energía posible. La naturaleza del terreno afecta significativamente a la señal y, por tanto, impide la movilidad o el proceso de relocalización. Estas limitaciones, unidas a la complejidad del terreno, dificultan la planificación y el despliegue óptimo. Los retos de despliegue mencionados anteriormente crean la necesidad de un marco que apoye el diseño eficiente, la planificación y la predicción del despliegue bajo demanda de las WSN.

## **Capítulo 3: Diseño y análisis de resultados.**

### **3.1. Descripción del modelado de simulación.**

En este capítulo, se propone la técnica de jerarquía de agrupación adaptativa de baja energía (LEACH) basada en la redundancia de las mediciones. Esta técnica permite agrupar nodos redundantes en redes de sensores jerárquicas. Esta técnica tiene en cuenta la redundancia de las mediciones en las redes de sensores. El presente enfoque se basa en un esquema jerárquico de tres niveles como en LEACH. MR-LEACH introduce la noción de proximidad geográfica para aprovechar mejor la redundancia. Esta técnica mejora considerablemente el consumo de energía y garantiza un mejor retardo de extremo a extremo

### **3.2. Redundancia en las redes de sensores**

El despliegue aleatorio de las redes de sensores puede dar lugar a un alto grado de redundancia entre los nodos. Esta redundancia representa una característica de las redes de sensores que es rentable y gratificante. Puede utilizarse para mejorar la fiabilidad de la detección o la precisión de los datos recogidos. Puede utilizarse para mejorar la fiabilidad de la detección o la precisión de los datos recogidos, pero implica una mayor transferencia de datos y una carga de tráfico adicional. Esta observación motiva a reforzar sus aspectos positivos.

El concepto de redundancia no está formalmente definido en todos sus aspectos en las redes de sensores. Además, esta propiedad puede definirse de diferentes maneras, sin embargo, se ha conservado la siguiente definición que parece la más adecuada para el contexto de las redes de sensores. Definición: la redundancia es la adición de recursos suplementarios que pueden producir resultados similares. La redundancia significa, por tanto, la posibilidad de obtener información de una posición concreta a partir de diferentes fuentes y se basa en el posicionamiento geográfico de los nodos sensores en la zona de interés. Lo que también implica la replicación de recursos en el área de cobertura de la red.

Las redes de sensores son densas y redundantes. De hecho, aunque los nodos sensores pueden ser colocados uno a uno de forma determinista por un humano o un robot, en la mayoría de los escenarios se adopta el despliegue aleatorio por razones prácticas como el coste y el tiempo.

### 3.3. Problemas de redundancia en las mediciones

La mayoría de los trabajos proponen mejoras en el consumo de energía sin tener en cuenta la redundancia de las mediciones, que también es una fuente de consumo innecesario de energía. La descripción de la colocación inicial puede explicar cierta redundancia en los sensores desplegados. Las redes de sensores se caracterizan por un gran número de nodos. La redundancia de las mediciones puede surgir de esta alta densidad de nodos.

Varios nodos pueden detectar el mismo evento y, por tanto, informar del mismo valor de medición. Por lo tanto, es necesario proporcionar mecanismos para tratar las posibles redundancias de las mediciones. El problema aquí es tener en cuenta la redundancia de las mediciones en las redes de sensores para mejorar el consumo de energía. Consiste en reducir la notificación de valores redundantes. Esto conlleva una reducción del número de transmisiones. A continuación, se presenta los tres tipos de gestiones para problemas de redundancia en las redes de sensores:

- **Gestión de las transmisiones innecesarias:** para prolongar la vida útil de una red de sensores, hay que idear una estrategia que evite las transmisiones innecesarias. Las transmisiones innecesarias son una fuente de consumo excesivo de energía.
- **Gestión de grandes volúmenes de datos:** la mayoría de las redes de sensores jerárquicas agregan los datos en nodos intermedios o cabezas de clúster (Cluster-Heads, CH). Además, los nodos sensores están limitados en cuanto a espacio de almacenamiento. Por lo tanto, hay que diseñar una estrategia para evitar la transmisión de datos redundantes.
- **Gestión de las interferencias:** las interferencias tienen un fuerte impacto en el rendimiento del sistema en el contexto de las redes ad hoc y de sensores. En una red inalámbrica formada por un gran

número de nodos distribuidos espacialmente, la comunicación está limitada por diversos efectos, como la propagación inalámbrica, las interferencias y el ruido térmico. Los efectos introducidos por la propagación en el canal inalámbrico incluyen la atenuación de las señales emitidas en función de la distancia (pérdida de trayectoria), el bloqueo de las señales causado por grandes obstáculos (sombras) y la recepción de múltiples copias de la misma señal transmitida (desvanecimiento multitraectoria). Las interferencias en la red provienen de la acumulación de señales emitidas por otros nodos que distorsionan la recepción de la fuente deseada. El ruido térmico es introducido por la electrónica del receptor y generalmente se modela mediante un ruido gaussiano blanco aditivo.

Este capítulo propone y analiza una técnica para tener en cuenta la redundancia de las mediciones en las redes de sensores jerárquicas.

#### **3.4. Técnica de agrupación por proximidad de la zona urbana.**

Las arquitecturas agrupadas se utilizan ampliamente en las WSN por su capacidad de ampliación. Esta estructuración debería permitir un uso más eficiente de los escasos recursos de la red, como la energía y el ancho de banda. MR-LEACH sólo es útil en el caso de mediciones periódicas. Esta técnica permite la agrupación de nodos con forma de hoja que, en función de su posición geográfica, captan el mismo valor de medición. Así, se reduce la comunicación intraclúster y se optimiza el consumo de energía.

Tras la identificación de los grupos redundantes, sólo se designa un nodo que represente a cada grupo para que transmita y los demás nodos detienen sus transmisiones. Al final de la fase de inicialización (véase la figura 3.1), MR-LEACH opera en supertramas periódicas. Las supertramas se dividen en un conjunto de franjas horarias que se asignan a los nodos representativos para que envíen sus datos al CH. Las demás franjas horarias se asignan a los CHs para que envíen los datos a la estación base. Después de cada supertrama, el papel del nodo más representativo rota entre los nodos del

grupo. El conjunto de supertramas forma un ciclo y MR-LEACH garantiza que en cada ciclo todos los nodos envíen sus datos al menos una vez.

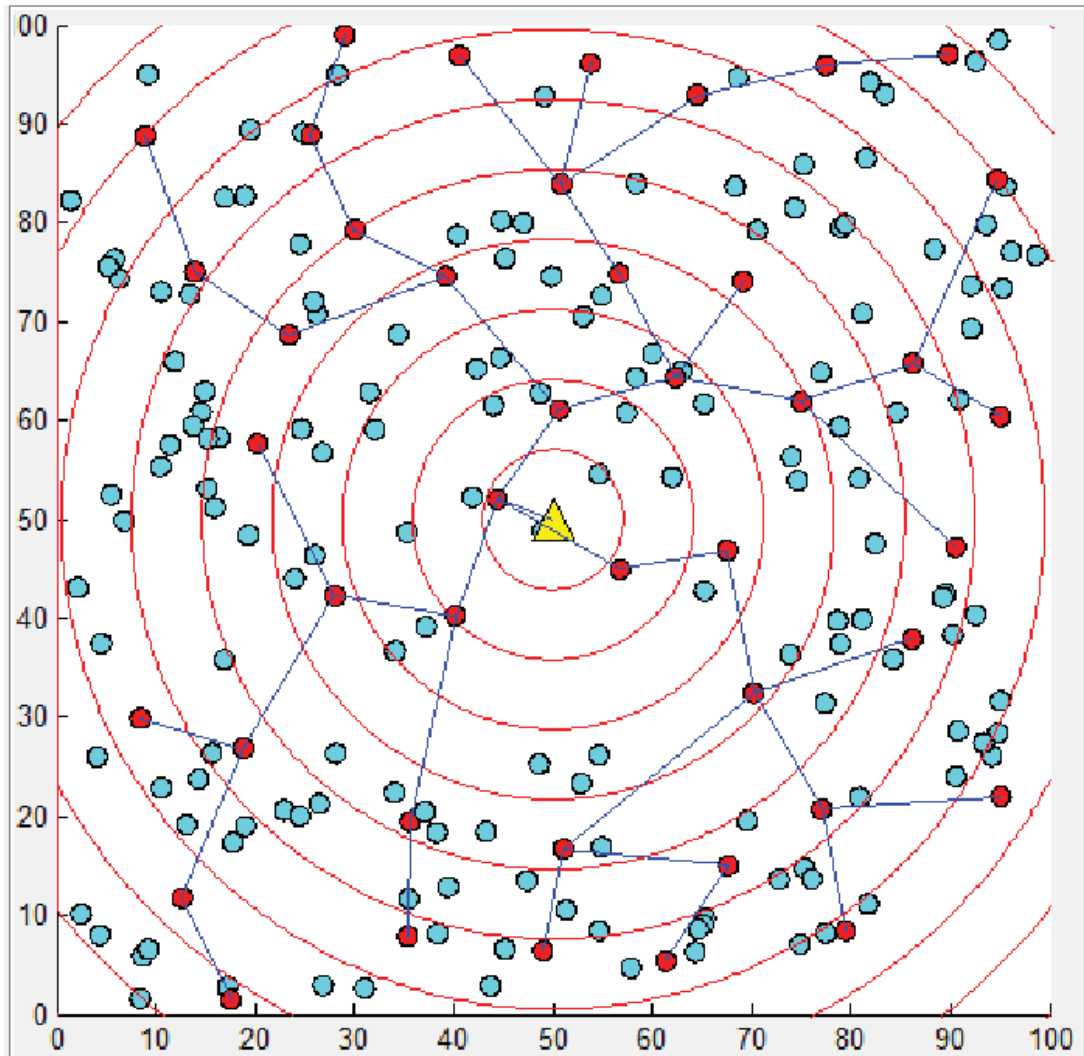


Figura 3. 1: Estructura jerárquica de agrupación de nodos en una WSN.  
Elaborado por: Autor.

### 3.5. Diseño del escenario de simulación de la técnica de agrupación por proximidad de la zona urbana.

El propósito es conseguir la agrupación de sensores redundantes para maximizar la vida útil de la red, es decir, el tiempo que queda antes de que un sensor de la red se quede sin energía. Existen otros criterios para evaluar un algoritmo de clustering, como la minimización del número de clústeres o el equilibrio de la carga entre los clústeres y, por tanto, el tamaño de estos. Para ilustrar la técnica de clustering propuesta, se considera la topología arbitraria compuesta por 3 clústeres cuyos nodos están desplegados aleatoriamente, tal como se muestra en la figura 3.2.

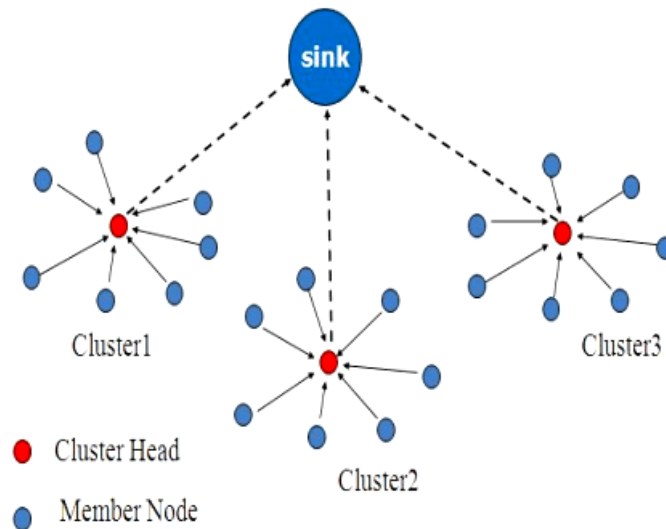


Figura 3. 2: Topología básica de agrupación de nodos en una WSN.  
Elaborado por: Autor.

En este escenario, se ejecuta el algoritmo de clustering en el cluster 1. Este es el mismo procedimiento en los otros grupos. Durante la fase de observación, el CH coloca en una tabla (véase la tabla 3.1) los valores de los datos recogidos por sus nodos. Posteriormente, compara estos valores en función de la proximidad geográfica de los nodos. Esta comparación permitirá al CH determinar los grupos de nodos redundantes (véase la figura 3.2).

Tabla 3. 1: Datos obtenidos durante la etapa de observación

Nodo	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4
A	11.0	11.1	11.0	11.2
B	12.8	12.9	12.8	12.9
C	12.1	12.0	12.0	12.1
D	12.9	12.8	13.0	12.9
E	12.0	11.9	12.0	12.0
F	11.2	11.1	11.0	11.2
G	13.0	13.0	13.1	12.9
H	12.1	12.0	11.9	12.0
I	12.9	12.9	13.0	13.0
J	12.0	11.9	11.8	12.0
K	11.9	12.0	12.0	12.1
L	11.0	10.9	11.0	11.1

Elaborado por: Autor.

Por lo tanto, se utiliza el algoritmo general para la optimización del consumo de energía en redes de sensores. Para que este algoritmo sea eficaz, debía tener en cuenta las especificidades de las redes de sensores y ser realizable en condiciones cercanas al mundo real. De hecho, se han tenido en cuenta algunos factores, a saber:

- La distribución aleatoria de los sensores en el área de interés,
- Los nodos detectan los mismos fenómenos físicos,

Además, algunos parámetros se consideran fundamentales para implementar este algoritmo. Estos parámetros se refieren a:

- La posición de los sensores: la posición de un sensor se puede calcular utilizando el sistema de posicionamiento global (Global Position System, GPS). Por el contrario, el uso de un GPS para los sensores consume mayor energía. Sin embargo, la topología estática de las redes de sensores consideradas no requiere una actualización periódica de las posiciones de los sensores.
- Conectividad: este es un factor determinante en redes ad-hoc móviles (MANET) y de sensores (WSN). Esta debe garantizar que cualquier nodo de origen de la red pueda llegar a cualquier nodo de destino. En particular, en las redes de sensores, debe tener al menos una ruta entre cualquier sensor y la estación base para garantizar que la información sea enrutada en todo momento y que todos los nodos sean accesibles desde la estación base (red relacionada).
- Cobertura del área de interés: este es un elemento importante para las redes de sensores. Cualquier algoritmo diseñado para redes de sensores debe garantizar que la ocurrencia de un evento en el área de despliegue del sensor pueda ser detectada por al menos un sensor.

### **3.6. Evaluación de rendimiento.**

En esta sección se presenta la evaluación del rendimiento de MR-LEACH y del entorno de simulación. Se realizaron varias pruebas de la simulación propuesta para así poder evaluar el rendimiento de la técnica MR-LEACH en términos de consumo de energía de extremo a extremo y retardo.



Luego, se comparan estos resultados con la técnica LEACH en términos de vida útil de la red y retardo de un extremo a otro. Para ello, se utiliza el entorno de simulación NS-2 que permite implementar el algoritmo propuesto en el presente componente práctico del examen complejo.

Primero, se realiza la implementación de la técnica LEACH. Después, se modifica la técnica LEACH para implementar una técnica de agrupamiento por proximidad geográfica (MR-LEACH) de acuerdo con la estructura jerárquica en los comandos de asociación de la capa MAC, así como el método de llenado de la tabla de redundancia a nivel de la capa física.

Finalmente, se realiza la comparación de la técnica LEACH y su modificación. Para ello, se realizaron los modelos de simulación con los mismos parámetros y métricas para ambos enfoques. Interesa principalmente el consumo energético de los nodos ya que constituye un criterio fundamental para determinar la vida útil de la red. Se evalúa el retardo de extremo a extremo, ya que también es un criterio de desempeño para muchas aplicaciones de monitoreo en WSNs.

Las métricas de rendimiento de este estudio son las siguientes:

1. Consumo de energía: para evaluar el consumo de energía, se recopilan los niveles de energía al inicio de la simulación y los niveles de energía del nodo actual de los archivos de seguimiento generados por las simulaciones.
2. Retardo de un extremo a otro: para estimar el retardo de un extremo a otro, se recupera el tiempo de envío y recepción de cada paquete de los archivos de seguimiento generados.
3. Vida útil: para evaluar la vida útil de la red, se recupera el tiempo después del cual el nivel de energía de los nodos es 0. Los niveles de energía se recuperan después de cada ciclo o rotación.

Para evaluar el desempeño de MR-LEACH, se realiza principalmente dos escenarios.

### 3.6.1. Parámetros y resultados de simulación del escenario 1.

En este primer escenario de simulación, las redes se despliegan en un área con un tamaño de 250-250 m<sup>2</sup>. El número máximo de nodos es 1000. Las coordenadas de la estación base son (135, 155). Los nodos conocen su posición y pueden comunicarla a sus respectivos CH. Los parámetros del escenario de simulación 1 se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3. 2: Parámetros de simulación del escenario 1 de la red de sensores.

<b>Parámetros</b>	<b>valores</b>
Área de simulación (m <sup>2</sup> )	250*250
Nº de nodos	100 a 1000
Tamaño de paquete (bytes)	55
Velocidad de transmisión (kbps)	250
Energía inicial de los nodos (J)	2
Radio de detección (m)	30
Potencia del Tx (mW)	24.75
Potencia del Rx (mW)	13.5
Potencia inactiva (mV)	6.5
Potencia en estado de reposo (uV)	15

Elaborado por: Autor.

En este escenario, para comparar el desempeño de las técnicas de agrupamiento MR-LEACH y LEACH, se realizan simulaciones en diferentes contextos de ejecución. Así, para analizar la robustez de MR-LEACH frente al número de nodos, se ha optado por evaluar las siguientes métricas y compararlas con las de LEACH:

- El consumo medio de energía de los CH según el número de nodos,
- El consumo medio de energía de cada nodo en función del número de nodos,

En las figuras 3.3 y 3.4 se muestran los resultados obtenidos para las métricas del consumo de energía promedio (con el 5% de los nodos elegidos como CH) en relación con la cantidad de nodos.

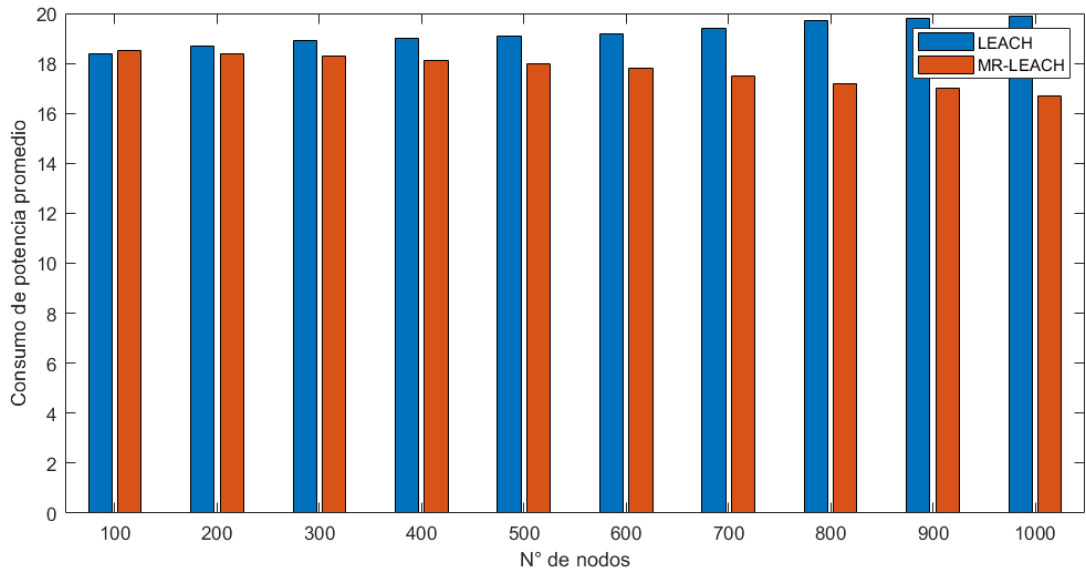


Figura 3. 3: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada CH con una iteración para el escenario de simulación 1 de la WSN.

Elaborado por: Autor.

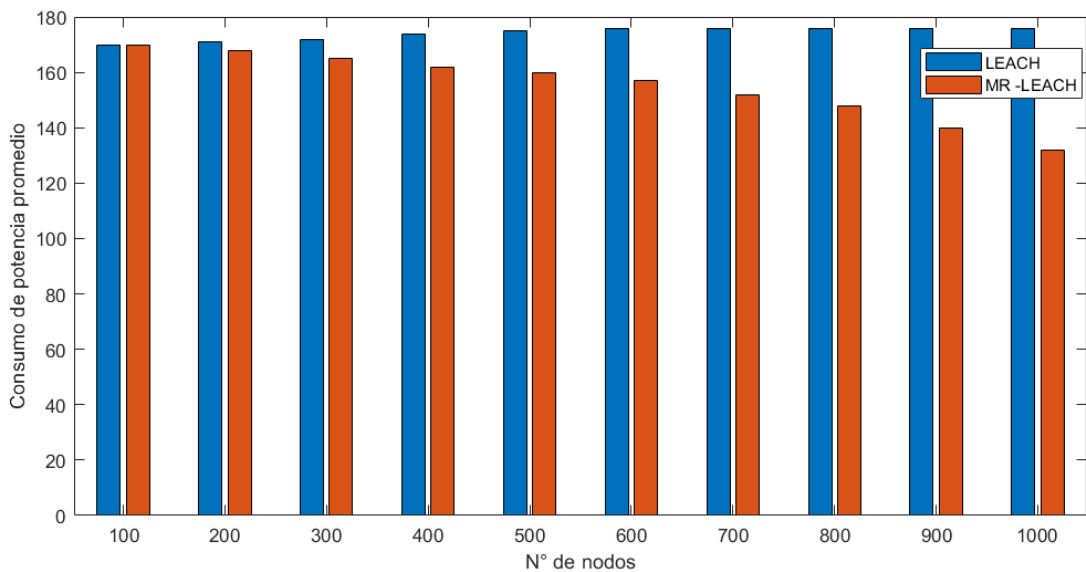


Figura 3. 4: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada nodo con 20 iteraciones para el escenario de simulación 1 de la WSN.

Elaborado por: Autor.

### 3.6.2. Parámetros y resultados de simulación del escenario 2.

En este segundo escenario, se presenta la evolución de las métricas en función del radio de detección. La red de sensores propuesta se simula para una superficie de 250x250 m<sup>2</sup>. El número de nodos se mantiene en 1000. Las coordenadas de la estación base son (135, 155). El radio de detección de los sensores está en el rango de [20, 70] cada 10 m. Los nodos conocen su

posición y pueden comunicarla a sus respectivos CH. Los parámetros del escenario de simulación 2 se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3. 3: Parámetros de simulación del escenario 2 de la red de sensores.

<b>Parámetros</b>	<b>valores</b>
Área de simulación (m <sup>2</sup> )	250*250
Nº de nodos	1000
Tamaño de paquete (bytes)	55
Velocidad de transmisión (kbps)	250
Energía inicial de los nodos (J)	2
Radio de detección (m)	[20, 70]
Potencia del Tx (mW)	24.75
Potencia del Rx (mW)	13.5
Potencia inactiva (mV)	6.5
Potencia en estado de reposo (uV)	15

Elaborado por: Autor.

En este escenario, se procede a realizar la comparativa del rendimiento entre MR-LEACH y LEACH variando el radio de detección. Por lo tanto, para analizar la robustez de la técnica MR-LEACH frente al radio de detección, se ha optado por evaluar las siguientes métricas y compararlas con LEACH:

- El consumo de energía promedio de los CH según el radio de detección,
- El consumo de energía promedio de cada nodo según el radio de detección,
- El retardo de un extremo a otro en función del radio de detección,

En las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran los resultados obtenidos para las métricas del consumo de energía promedio (con el 5% de los nodos elegidos como CH) en relación con el radio de detección de los sensores.

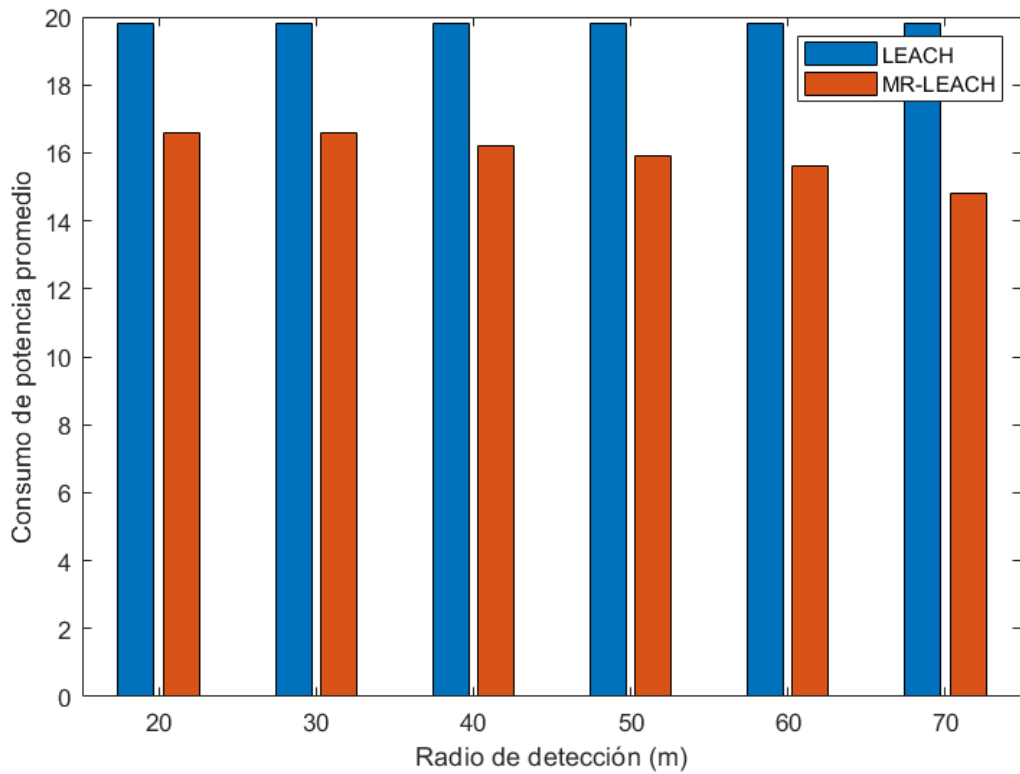


Figura 3. 5: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada CH con una iteración para el escenario de simulación 2 de la WSN.

Elaborado por: Autor.

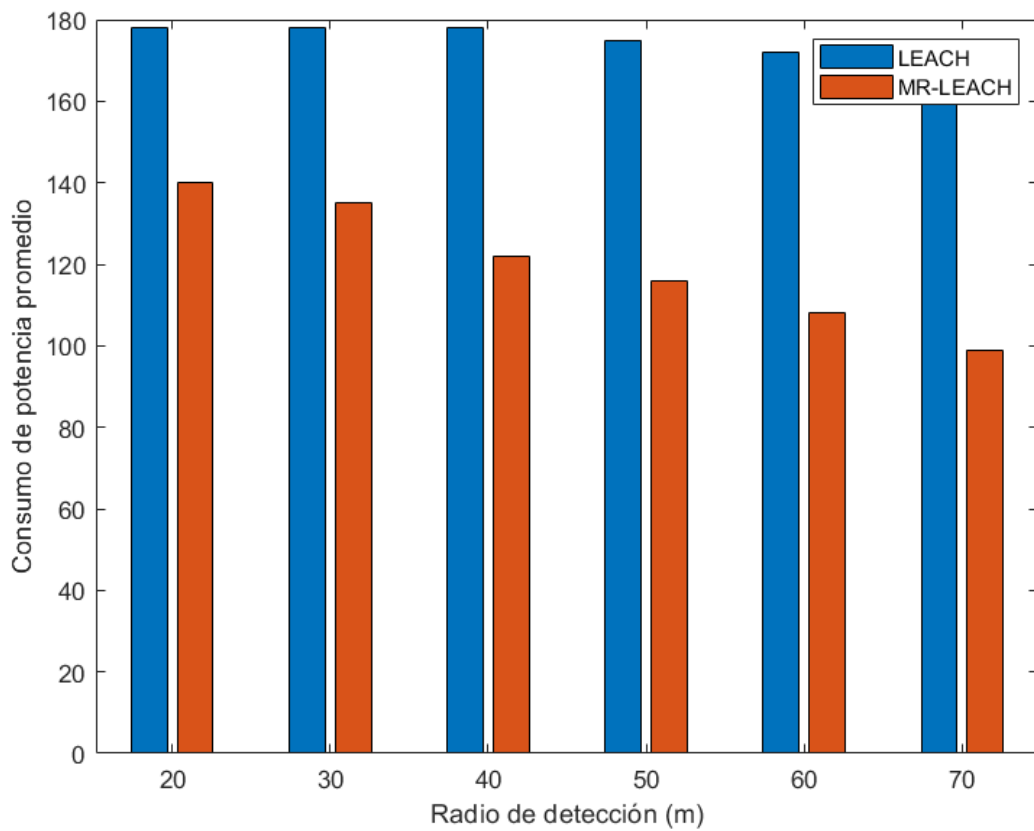


Figura 3. 6: Resultados obtenidos del consumo de energía promedio de cada nodo con 20 iteraciones para el escenario de simulación 2 de la WSN.

Elaborado por: Autor.

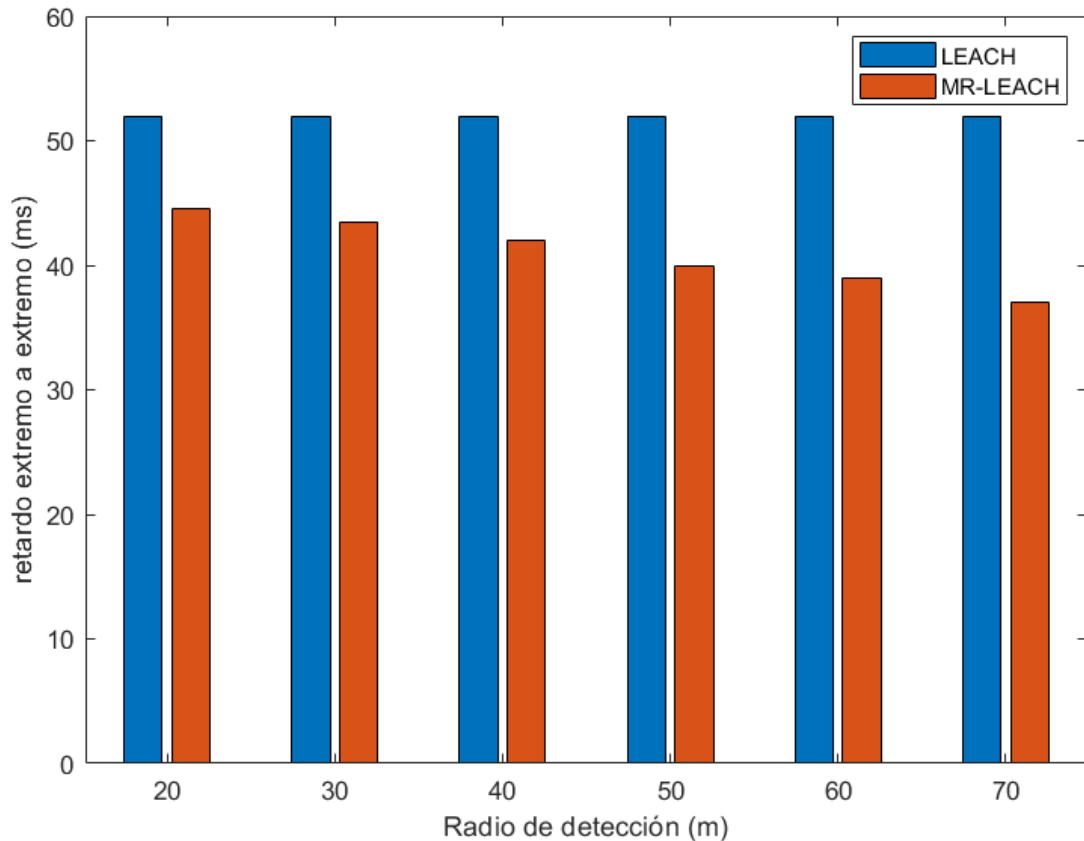


Figura 3. 7: Resultados obtenidos del retardo extremo a extremo para el escenario de simulación 2 de la WSN.

Elaborado por: Autor.

### 3.7. Análisis de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación de la WSN.

A continuación, se discuten los resultados obtenidos en los dos escenarios de simulación de la WSN propuesta.

#### 3.7.1. Análisis de resultados para el consumo de energía promedio de CH.

En la figura 3.3 se nota que en la técnica MR-LEACH el consumo de energía de CHs disminuye cuando el número de nodos aumenta a diferencia de la técnica LEACH original. De hecho, cuanto más aumenta la densidad de la red, más aumenta la redundancia de medición y menos datos reciben los CH. Con alta densidad, el número de grupos disminuye en conglomerados. Por lo tanto, el número de comunicaciones disminuye en los clústeres.

En la figura 3.5 se observa que en la técnica MR-LEACH el consumo de energía de CHs disminuye a medida que aumenta el radio de detección. De hecho, cuanto más aumenta el radio de detección de los sensores, más disminuye el número de grupos redundantes y menos datos reciben los CH. El número de transmisiones entre clústeres también disminuye.

En la técnica LEACH, la variación del radio de detección casi no influye en el consumo de energía de los CH. De hecho, el consumo de energía de un CH depende del número de recepciones de paquetes que es igual al número de nodos miembros del clúster. Por tanto, el número de comunicaciones no cambia en el clúster.

### **3.7.2. Análisis de resultados para el consumo de energía promedio de los nodos.**

La figura 3.4 muestra el consumo de energía promedio de los nodos durante 20 iteraciones cada una con un tiempo de 25 s. En la ejecución de las simulaciones, la duración de las 20 iteraciones permite que cada nodo tome todas las funciones en la red. También, se observa que en la técnica MR-LEACH el consumo de energía de los nodos disminuye a medida que aumenta el número de nodos, a diferencia de LEACH original. De hecho, con una alta densidad, un nodo se comunicará menos con su CH y los CH reciben menos paquetes debido a la redundancia de las medidas. Cuanto más aumenta el número de nodos, más cerca están los nodos y menos transmiten. Por tanto, hay menos comunicaciones dentro del clúster.

En la figura 4.9, se nota que en MR-LEACH el consumo de energía de los nodos disminuye cuando el radio de detección aumenta a diferencia de LEACH. De hecho, cuanto más aumenta el radio de detección de los sensores, más aumenta el número de nodos en cada grupo redundante. Por tanto, la frecuencia de las transmisiones de los nodos disminuye.

### **3.7.3. Análisis de resultados para el retardo extremo a extremo.**

En la figura 3.7 se observa que el retardo extremo a extremo aumenta con la densidad de la red. Sin embargo, este aumento es menos importante

en MR-LEACH debido a la inclusión de redundancia de medición. De hecho, el CH en MR-LEACH espera un número de paquetes antes de realizar la agregación que dependen del tamaño del clúster.

En la solución MR-LEACH, el CH recopila una gran cantidad de datos para verificar su similitud. Esto plantea el problema del espacio en la memoria debido al tamaño muy limitado de la memoria en los nodos sensores. Verificar la similitud de los datos recopilados puede requerir fuertes habilidades computacionales si la cantidad de datos es grande. Esto plantea el problema de las capacidades informáticas porque los nodos sensores se caracterizan generalmente por una baja capacidad informática.

Esta similitud se ve reforzada por una proximidad geográfica. En este contexto, la cobertura de las áreas de cobertura puede no ser total, lo que plantea un problema en determinadas aplicaciones. Esto lleva a abordar el problema desde otro aspecto.



## Conclusiones

1. Las WSNs deben su rápido crecimiento a la amplia gama de aplicaciones que ofrece esta tecnología, nacida de la evolución hacia la miniaturización cada vez mayor de los componentes. Las perspectivas de aplicación que ofrecen las redes de sensores inalámbricos son numerosas y variadas. La vida útil de las WSNs sigue siendo actualmente un factor limitante para el desarrollo de estas aplicaciones. Por tanto, es necesario diseñar protocolos de comunicación y autoorganización que minimicen la energía consumida en la red, así como plataformas de hardware de bajo consumo.
2. Las WSN que pueden ser densas en un área geográfica, tienen aplicaciones en muchos campos. En este contexto, es necesario desarrollar enfoques para una mejor gestión de estas redes. Hay varias aplicaciones en las que, utilizando solo la proximidad geográfica y la similitud de los datos, se puede utilizar la solución propuesta (MR-LEACH) sin riesgo de comprometer la robustez del sistema.
3. En el modelo de simulación de WSN la técnica propuesta en el componente práctico ha logrado una mejora significativa del consumo de energía y ofrece un mejor retardo de extremo a extremo.

## **Recomendaciones**

A continuación, se sugieren el estudio de las aplicaciones más relevantes en una WSN relacionados con el presente trabajo.

1. Recolección de datos ambientales (agricultura)
2. Monitoreo de incendios en bosques donde un sensor envía alarmas a la estación base tan pronto como la temperatura supera un cierto umbral.
3. Seguimiento del movimiento de objetos (o personas) en un campo
4. La vigilancia de edificios (presas, puentes, vías férreas, etc.)
5. Control de climatización en edificios
6. Control industrial
7. Vigilancia militar

## Bibliografía

- Adán R., J. A. (2021). *Modelado de redes inalámbricas para aplicaciones de IoT* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Aggarwal, C. C. (Ed.). (2013). *Managing and mining sensor data*. Springer.
- Brayner, A., Lopes, A., Meira, D., Vasconcelos, R., & Menezes, R. (2008). An adaptive in-network aggregation operator for query processing in wireless sensor networks. *Journal of Systems and Software*, *81*(3), 328–342. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.06.021>
- Dâmaso, A., Rosa, N., & Maciel, P. (2017). Integrated Evaluation of Reliability and Power Consumption of Wireless Sensor Networks. *Sensors*, *17*(11), 2547. <https://doi.org/10.3390/s17112547>
- Estepa R., D. A., & Correa R., D. M. (2017). *Prototipo de sistema telemétrico para la detección y alerta de incendios forestales* [Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/8340>
- Jabeen, F., & Nawaz, S. (2015). In-network wireless sensor network query processors: State of the art, challenges and future directions. *Information Fusion*, *25*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2015.01.007>
- Jiang, Y., Xiao, S., Liu, J., Chen, B., Zhang, B., Zhao, H., & Jiang, Z. (2018). A Deterministic Sensor Deployment Method for Target Coverage. *Journal of Sensors*, *2018*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2018/2343891>
- Jino Ramson, S. R., & Moni, D. J. (2017). Applications of wireless sensor networks—A survey. *2017 International Conference on Innovations in*

*Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT)*, 325–329. <https://doi.org/10.1109/ICEEIMT.2017.8116858>

Lanzolla, A., & Spadavecchia, M. (2021). Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring. *Sensors*, 21(4), 1172. <https://doi.org/10.3390/s21041172>

Liu, X., & Liu, C. (2018). Wireless Sensor Network Dynamic Mathematics Modeling and Node Localization. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/1082398>

Mohd Kassim, M. R., Mat, I., & Harun, A. N. (2014). Wireless Sensor Network in precision agriculture application. *2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CITS.2014.6878963>

Pérez, J., Urdaneta, E., & Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 18(70), 12–22.

Priyadarshi, R., Gupta, B., & Anurag, A. (2020). Deployment techniques in wireless sensor networks: A survey, classification, challenges, and future research issues. *The Journal of Supercomputing*, 76(9), 7333–7373. <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03166-5>

Razzaque, M. A., Bleakley, C., & Dobson, S. (2013). Compression in wireless sensor networks: A survey and comparative evaluation. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 10(1), 1–44. <https://doi.org/10.1145/2528948>

Ruiz-Barquero, A. I. (2019). *Diseño de redes de sensores colaborativas para monitorización de salud estructural de puentes* [Tesis de Maestría, Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10700>

- Snigdha, I. (2019). Deployment Strategies in Wireless Sensor Networks. En B. B. Mishra, S. Dehuri, B. K. Panigrahi, A. K. Nayak, B. S. P. Mishra, & H. Das (Eds.), *Computational Intelligence in Sensor Networks* (Vol. 776, pp. 123–140). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-57277-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-57277-1_6)
- Son, Y., Kang, M., Kim, Y., Yoon, I., & Noh, D. K. (2020). Energy-Efficient Cluster Management Using a Mobile Charger for Solar-Powered Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 20(13), 3668. <https://doi.org/10.3390/s20133668>
- Tagne Fute, E., & Tonye, E. (2013). Modelling and Self-organizing in Mobile Wireless Sensor Networks: Application to Fire Detection. *International Journal of Applied Information Systems*, 5(3), 1–7. <https://doi.org/10.5120/ijais12-450874>
- Zheng, J., Huang, Y., Wang, Y., & Xiao, Y. (2014). Deterministic deployment based on information coverage in wireless sensor networks: Information coverage in wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 14(18), 1657–1671. <https://doi.org/10.1002/wcm.2304>

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **González Murillo, Joshua Aaron** C.C: # 092601423-4 autor del trabajo de titulación: Análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores, previo a la obtención del título de **Magister 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, 24 de noviembre del 2021



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

Nombre: **González Murillo, Joshua Aaron**

C.C: 092601423-4

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores		
<b>AUTOR(ES)</b>	González Murillo, Joshua Aaron		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Quezada Calle, Edgar / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	Guayaquil, 24 de noviembre del 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	53
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Comunicaciones Inalámbricas, Redes de Sensores		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Redes, Sensores, Nodos, Dispositivos, Inalámbrico, Simulación.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b> El presente trabajo del examen complejo se desarrolla el análisis del ahorro de consumo de energía mediante la técnica de agrupación de nodos basada en las mediciones de una red de sensores inalámbricos (WSN). Una de las características únicas de las WSN es que los nodos sensores tienen recursos relativamente limitados. Los nodos sensores tradicionales tienen menos potencia de procesamiento, menos ancho de banda de comunicación y menos memoria que otros dispositivos inalámbricos y se alimentan de baterías de baja capacidad. Por lo tanto, la eficiencia energética en las WSN es de suma importancia, ya que un fallo de alimentación de ciertos nodos sensores puede provocar un fallo completo de la red. En varios casos, las WSN en espacios hostiles tienen que funcionar durante un largo periodo de tiempo sin intervención humana. Por ello, se han hecho muchas peticiones para minimizar o reducir el consumo de energía y, por tanto, aumentar la vida útil de la red en cada una de sus capas.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593998478665	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:totito_josh@hotmail.com">totito_josh@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> 0994606932		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@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>			