



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc  
móviles heterogéneas y homogéneas**

AUTOR:

Sandoval Salguero, Rafael Fernando

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 24 de agosto del 2020



**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 Ingeniero **Sandoval Salguero, Rafael Fernando** 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 agosto del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Sandoval Salguero, Rafael Fernando**

**DECLARÓ QUE:**

El Trabajo de Titulación “**Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas**”, 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 Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 24 de agosto del 2020

EL AUTOR

---

Sandoval Salguero, Rafael Fernando



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Sandoval Salguero, Rafael Fernando**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulada: **“Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 24 de agosto del 2020

EL AUTOR

---

Sandoval Salguero, Rafael Fernando

# REPORTE DE URKUND

<b>Documento</b>	<a href="#">Rafael_Sandoval_MET2020.docx</a> (D77459717)	<b>Categoría</b>	<b>Enlace/nombre de archivo</b>
<b>Presentado</b>	2020-08-04 16:19 (-05:00)		
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com		<a href="https://docplayer.es/78785703-Universidad-c...">https://docplayer.es/78785703-Universidad-c...</a>
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com		Tesis_4.pdf
<b>Mensaje</b>	Revisión TT Rafael Sandoval <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 24 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.	<b>Fuentes alternativas</b>	
			Tesis_4.pdf
			Tesis_4.pdf
		<b>Fuentes no usadas</b>	

Reiniciar Exportar Compartir

0 Advertenci

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

TEMA: Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes

Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas

AUTOR: Sandoval Salguero, Rafael Fernando

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

21 de julio del 2020

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

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo fue

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios. A mis padres, Raúl y Mary por el constante apoyo y su sabio consejo y motivación para así llegar a culminar esta meta. A mi hermana Verónica y su familia que siempre estuvieron en todo momento. A mi abuelita Maruja por su cariño y motivación.

## **Agradecimientos**

A Dios, porque me ha dado la Fe y la salud para seguir adelante y llegar a esta instancia el día de hoy. A mis Padres Raúl y Mery por su gran apoyo y así culminar este logro académico. A mi abuelita Maruja por su cariño y apoyo. A mi Hermana Verónica y toda su Familia.

A todos mis Maestros que compartieron su tiempo y su conocimiento con todos los que fuimos sus alumnos.

Gracias Totales.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES  
**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

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

---

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

---

**M. Sc. ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO**  
REVISOR

---

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



## Índice General

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Resumen .....	XIV
Abstract .....	XV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado. ....	16
1.1.    Introducción.....	16
1.2.    Antecedentes. ....	17
1.3.    Definición del problema.....	17
1.4.    Justificación del problema a investigar.....	18
1.5.    Objetivos.....	18
1.6.    Hipótesis.....	18
1.7.    Metodología de investigación.....	19
Capítulo 2: Conceptos básicos de las redes de fibra óptica. ....	20
2.1.    Descripción general de MANET's.....	20
2.2.    Revisión de protocolos de enrutamiento en MANET.....	21
2.2.1.    Protocolos proactivos. ....	22
2.2.2.    Protocolos reactivos. ....	23
2.2.3.    Protocolos híbridos.....	23
2.3.    Clasificación de protocolos de enrutamiento MANET. ....	24
2.4.    Algoritmo de enrutamiento ordenado temporalmente – TORA.....	25
2.5.    Vector de distancia bajo demanda Ad-hoc – AODV.....	28
2.6.    Protocolo de enrutamiento geográfico – GRP. ....	29
2.7.    Dispositivos que admiten redes MANET.....	29
Capítulo 3: Configuración y simulación del entorno experimental.....	34
3.1.    Introducción.....	34
3.2.    Rendimiento de los protocolos de enrutamiento MANET en entornos homogéneos y heterogéneos.....	35

3.3. Evitar enlaces unidireccionales en MANET utilizando estrategias basadas en la ubicación. ....	41
3.3.1. Utilización basada en la ubicación (LBU) de enlaces unidireccionales.....	44
3.3.2. Modelos de simulación.....	49
3.3.3. Análisis de resultados obtenidos de los enlaces unidireccionales en MANET utilizando estrategias basadas en la ubicación.....	50
Conclusiones.....	58
Recomendaciones .....	59
Bibliografía.....	60

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Arquitectura de redes Ad-hoc móviles (MANET's).....	21
Figura 2. 2: Clasificación de los protocolos de enrutamiento en MANET's. .	22
Figura 2. 3: Mensaje de HOLA en MANET usando OLSR.....	25
Figura 2. 4: Procedimiento de descubrimiento de ruta en TORA (Mensaje de consulta).....	27
Figura 2. 5: Altura de cada nodo actualizado como resultado del mensaje UDP (Mensaje de actualización).....	27
Figura 2. 6: Mensajes RREQ y RREP en AODV.....	28
Figura 2. 7: Configuración MANET.....	31

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Representación de enlaces unidireccionales en MANET's.....	35
Figura 3. 2: Retardo promedio extremo a extremo de MANET's para el protocolo AODV.....	37
Figura 3. 3: Proporción de entrega de paquetes para el protocolo AODV....	38
Figura 3. 4: Porcentaje de pérdida de paquetes de MANET's para el protocolo AODV.....	39
Figura 3. 5: Control de sobrecarga (COH) de MANET's para el protocolo AODV.....	39
Figura 3. 6: Retardo promedio extremo a extremo de MANET's para el protocolo FSR.....	40
Figura 3. 7: Porcentaje de pérdida de paquetes de MANET's para el protocolo FSR.....	40
Figura 3. 8: Control de sobrecarga (COH) de MANET's para el protocolo AODV.....	41
Figura 3. 9: Recorrido de paquetes de solicitud de ruta.....	43
Figura 3. 10: Paquete de solicitud de ruta para compañero .....	44

Figura 3. 11: Paquete de solicitud de ruta para compañero .....	45
Figura 3. 12: Formato de la tabla de datos vistos.....	46
Figura 3. 13: Paquete de solicitud de ruta entrante a través de enlace unidireccional.....	47
Figura 3. 14: Desigualdad triangular en la distancia entre nodos.....	47
Figura 3. 15: Desigualdad triangular en la distancia entre nodos.....	48
Figura 3. 16: Comparativa del retardo promedio vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.....	51
Figura 3. 17: Comparativa de la proporción de entrega de paquetes (PDR) vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.....	52
Figura 3. 18: Comparativa del control de overhead normalizado (CON) vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.....	53
Figura 3. 19: Comparativa de la proporción de paquetes recuperados/iniciados vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos. ....	53
Figura 3. 20: Comparativa del retardo promedio vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos.....	54
Figura 3. 21: Comparativa de la proporción de entrega de paquetes (PDR) vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos. ....	55
Figura 3. 22: Comparativa del control de overhead normalizado (CON) vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos. ....	55
Figura 3. 23: Comparativa de la proporción de paquetes recuperados/iniciados vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos. ....	56

## Índice de Tablas

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Configuración de los parámetros de simulación. .... 36

Tabla 3. 2: Configuración de los parámetros de simulación para 100 nodos.  
..... 49

## Resumen

En el presente documento se presenta el trabajo de examen complejo para obtener el grado académico de Magister en Telecomunicaciones. El trabajo desarrollado fue orientado al modelo de redes ad-hoc móviles (MANET's) mediante el análisis comparativo de protocolos de enrutamiento utilizando herramientas de simulación. En el Capítulo 1, se explica las generalidades del proyecto, tales como, los antecedentes, definición y justificación del trabajo, así como del objetivo general y objetivos específicos, y finalmente, se describe brevemente la metodología de investigación utilizada. En el capítulo 2, se revisa el estado del arte de las redes ad-hoc móviles, así como de los protocolos de enrutamiento. En el capítulo 3, se realiza las explicaciones de los parámetros que se consideran en las simulaciones de los escenarios propuestos y posteriormente, se ejecutan. Después, se analizan los datos obtenidos para comparar las métricas de rendimiento (retardo de extremo a extremo, proporción de entrega de paquetes y control overhead normalizado) en MANET's.

**Palabras claves:** REDES, PROTOCOLOS, ENRUTAMIENTO, MÓVIL, PROACTIVO, REACTIVO.

## **Abstract**

This document presents the complex exam work to obtain the academic degree of Master in Telecommunications. The work carried out was oriented to the model of mobile ad-hoc networks (MANET's) through the comparative analysis of routing protocols using simulation tools. In Chapter 1, the project generalities are explained, such as the background, definition and justification of the work, as well as the general objective and specific objectives, and finally, the research methodology used is briefly described. In Chapter 2, we review the state of the art of mobile ad-hoc networks, as well as routing protocols. In Chapter 3, the explanations of the parameters that are considered in the simulations of the proposed scenarios are made and then they are executed. The data obtained is then analyzed to compare performance metrics (end-to-end delay, rate of packet delivery, and normalized overhead control) in MANET's.

**Keywords:** NETWORKS, PROTOCOLS, ROUTING, MOBILE, PROACTIVE, REACTIVE.

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

### **1.1. Introducción.**

Una red Ad-hoc es una colección de hosts móviles inalámbricos que forman una red no permanente sin la asistencia de ninguna infraestructura independiente o administración centralizada. Las redes móviles ad-hoc son redes inalámbricas de salto múltiple autoconfigurables y autoorganizadas. Cada nodo en redes Ad-hoc móviles está configurado con un transmisor y receptor inalámbricos, lo que le permite comunicarse con otros nodos solo en su rango de comunicación. (Rocabado Moreno, 2013)

Los nodos que se comunican generalmente comparten los medios físicos similares; transmiten y obtienen señales en la misma banda de frecuencia, y siguen la misma secuencia de salto o código de propagación. Si el nodo de destino no está dentro del rango de transmisión del nodo de origen, el nodo de origen toma la ayuda de los nodos intermedios para comunicarse con el nodo de destino transmitiendo los mensajes salto por salto. (Ludeña-González et al., 2017)

Las redes inalámbricas móviles generalmente están abiertas a diversos ataques, como información y ataques de seguridad física que las redes cableadas fijas. Asegurar redes inalámbricas Ad-hoc es particularmente más difícil por muchas de las razones, tales como: vulnerabilidad de canales y nodos, ausencia de infraestructura, cambio dinámico de topología, etc. El canal inalámbrico es accesible tanto para usuarios legítimos de la red como para atacantes maliciosos. (Jamali et al., 2013)

Los nodos son libres de moverse en cualquier dirección y organizarse de manera arbitraria. Pueden unirse o abandonar la red en cualquier momento. Debido al cambio frecuente en la topología de la red, hay un cambio significativo en el estado de confianza entre los diferentes nodos, lo que agrega complejidad al enrutamiento entre los distintos nodos móviles. La autoorganización de los nodos en redes Ad-hoc puede tender a negar la prestación de servicios para la ventaja de otros nodos a fin de mantener sus



propios recursos familiarizados con la nueva seguridad que no se abordan en las redes basadas en infraestructura.

Uno de los problemas más desafiantes en MANET es sus algoritmos de enrutamiento. Los protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc se pueden dividir en dos categorías en función de cuándo y cómo se descubren las rutas: proactiva (basada en tablas) y reactiva (bajo demanda). Para los protocolos de enrutamiento basados en tablas, se mantiene información de enrutamiento coherente y actualizada en cada host móvil.

Por lo tanto, para los protocolos controlados por tablas, cada host móvil mantiene una o más tablas que contienen información de enrutamiento a cada otro host móvil en la red. Cuando cambia la topología de una red, los hosts móviles propagan los mensajes actualizados en toda la red para mantener la información de enrutamiento sobre toda la red. Estos protocolos de enrutamiento difieren en el método por el cual la información de topología se distribuye a través de la red y en el número de tablas relacionadas con el enrutamiento. (Jamali et al., 2013)

## **1.2. Antecedentes.**

En la etapa inicial de investigación se pudo constatar que MANET sigue siendo un área de exploración de las métricas de rendimiento utilizando diversos protocolos de enrutamiento. En el repositorio digital de UCSG se pueden ver algunos trabajos en las que analizan las redes Ad-hoc móviles mediante comparativas de métricas entre protocolos AODV, DSR, TORA entre otros. Por este motivo, se propone un trabajo orientado a redes Ad-hoc móviles homogéneas y heterogéneas utilizando herramientas (software) de simulación.

## **1.3. Definición del problema**

Una vez realizada la revisión bibliográfica de redes Ad-hoc y surge la necesidad de implementar escenarios de simulación de MANET's homogéneas y heterogéneas utilizando los protocolos de enrutamiento AODV y FSR.

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

El presente proyecto de examen complejo se basa en la simulación de modelado de redes. Por ejemplo, la simulación de red es una interfaz gráfica de usuario donde se crea un programa para representar la situación y el escenario de la naturaleza de una red para una investigación de comunicación de dispositivos comunicables como las computadoras. Un simulador de red es un software que predice el comportamiento de una red de dispositivos comunicables.

Los simuladores de red se utilizan porque los métodos analíticos de las redes de intercomunicación se vuelven demasiado complejos y costosos. Los simuladores están diseñados con varios equipos de red como nodos, canales, parámetros de rendimiento para estudiar el rendimiento. Algunos de los simuladores de red más comunes son OPNET, OMNET ++, GloMoSim, NS-2, NS-3, NetSim, QualNet, etc. El documento discutirá brevemente sobre OMNET ++, GloMoSim, NS-2 y NS-3.

#### **1.5. Objetivos**

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

Analizar comparativamente los protocolos de enrutamiento AODV y FSR para redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas

##### **1.5.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Describir los fundamentos teóricos de las redes Ad-hoc móviles y de los protocolos de encaminamiento proactivos, reactivos e híbridos.
- ✓ Proponer algoritmos de simulación de redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas basados en la simulación de eventos discretos.
- ✓ Analizar las métricas de rendimiento mediante la comparación de los protocolos de enrutamiento en MANET's heterogéneas y homogéneas.

#### **1.6. Hipótesis**

El presente trabajo permitirá estudiar algunos de los simuladores y la evaluación de los escenarios para analizar el rendimiento de los protocolos de

enrutamiento en términos de rendimiento, relación de entrega de paquetes, retardo promedio de extremo a extremo para determinar la ruta óptima. La comparación se realizó en los simuladores de red OMNET ++ y NS3, GloMoSim y NS-2.

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

Kothari C. R, (2008) indica que el diseño de la investigación es la estructura conceptual dentro de la cual se realiza la investigación; constituye el modelo para la recopilación, medición y análisis de datos. Como tal, el diseño incluye un resumen de lo que hará el investigador desde la redacción de la hipótesis y sus implicaciones operativas hasta el análisis final de los datos. Por lo tanto, el diseño de la investigación puede definirse como un plan, estructura y estrategia de una investigación para encontrar herramientas alternativas para resolver los problemas y minimizar las variaciones.

El tipo de diseño de la investigación va de acuerdo con la naturaleza del problema y también el tipo de cambios de investigación. En el presente trabajo, el propósito del estudio es comparar los protocolos de enrutamiento en MANET's heterogéneas y homogéneas. Kothari C. R, (2008) sostiene que: "los estudios de investigación de prueba de hipótesis (generalmente conocidos como estudios experimentales) son aquellos en los que el investigador prueba las hipótesis de la relación causal entre las variables.

## Capítulo 2: Conceptos básicos de las redes de fibra óptica.

### 2.1. Descripción general de MANET's.

Las MANET's también son comúnmente llamadas como redes Ad-hoc móviles y en sus primeros años (década de los años 1970) de desarrollo se consideraban como redes de radio por paquetes cuyo enfoque principal era el control de acceso al medio (*Media Access Control, MAC*) y empleaba el primer encaminamiento disponible llamado enrutamiento de vector de distancia (*Distance Vector Routing, DVR*). (Plaza G. et al., 2018)

Ya para la década de los años 1980, se despliega las redes de paquetes conmutados para el campo de batalla móvil cuyo entorno era sin infraestructura. Finalmente, en la década de los años 1990 aparecieron las primeras redes Ad-hoc comerciales a la par del nuevo estándar IEEE 802.11 de tecnología inalámbrica, y que tenían la capacidad de proveer un gran ancho de banda en comunicaciones de datos móviles. Posteriormente, se han dado nuevos paradigmas de redes inalámbricas como la red Ad-hoc móvil (*Mobile Ad-hoc NETWORKS, MANETS*). (Batiste Troyano, 2011)

Las MANET's según Bernal et al., (2017) son basadas en la vinculación de varios nodos inalámbricos móviles distribuidos arbitraria y potencialmente donde algún nodo de la red se puede considerar y al desarrollo de numerosos protocolos de enrutamiento. Además, existen diversas aplicaciones prácticas, tales como, redes de sensores, servicios de emergencia, entornos comerciales, entre otras. En las siguientes secciones se describen los protocolos de enrutamiento o encaminamiento representativos en cada categoría.

En la figura 2.1 se muestra la arquitectura de una red Ad-hoc móvil, (MANET), siendo esta una red especial de nodos móviles sin infraestructura, que cambia rápidamente y que predicción sin topología. Los nodos móviles conectados de forma autónoma están unidos entre sí mediante un enlace inalámbrico. Como los nodos son móviles, pueden viajar en cualquier dirección, lo que a su vez puede actualizar con frecuencia los enlaces de

comunicación con otros nodos. Los enlaces dañados deben actualizarse y deben formarse nuevos enlaces con frecuencia cada vez que un nuevo nodo ingrese a la red. También se caracteriza por recursos y seguridad limitados.

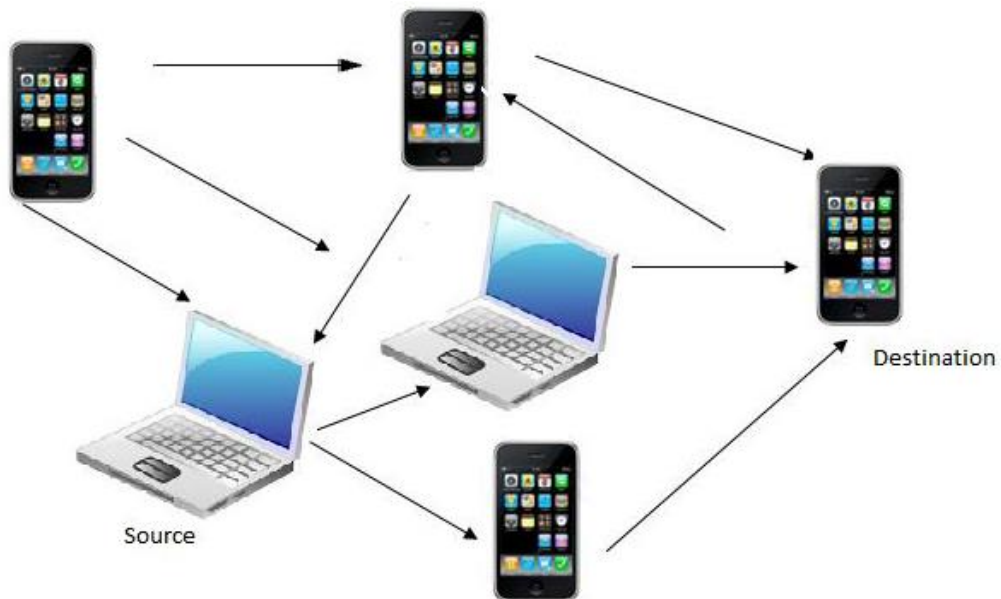


Figura 2. 1: Arquitectura de redes Ad-hoc móviles (MANET's).  
Fuente: (Shastri & Lala, 2017)

## 2.2. Revisión de protocolos de enrutamiento en MANET

A MANET se refiere a una red de saltos múltiples donde los nodos acarrean los paquetes de encaminamiento desde el origen hasta el destino. Por lo tanto, los nodos operan como un router (enrutador), porque permite el descubrimiento de rutas y los procesos de mantenimiento. Consecuentemente, se requiere determinado conjunto de instrucciones y algoritmos para gestionar el encaminamiento en dichas redes a través de protocolos de enrutamiento. Como resultado, el problema de enrutamiento ha recibido una atención considerable, lo que ha llevado a la propuesta de varios tipos de protocolos de enrutamiento (véase la figura 2.2), y que se clasifican en tres categorías: (López Sarmiento et al., 2014)

- a. Protocolos proactivos,
- b. Protocolos reactivos, y
- c. Protocolos híbridos.

En las siguientes subsecciones se describen las características principales de cada clase y los siguientes términos son las métricas utilizadas

para determinar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento: retardo (delay) y sobrecarga (overhead). Por ejemplo, el tiempo que demoran los datos enviados en llegar al destino se denomina retardo de la red. Para el caso de medir la transmisión de paquetes se denomina sobrecarga del protocolo. Según Gil Martínez, (2015) para que el rendimiento de una MANET sea bueno, se requiere que las métricas de retardo y sobrecarga sean bajas.

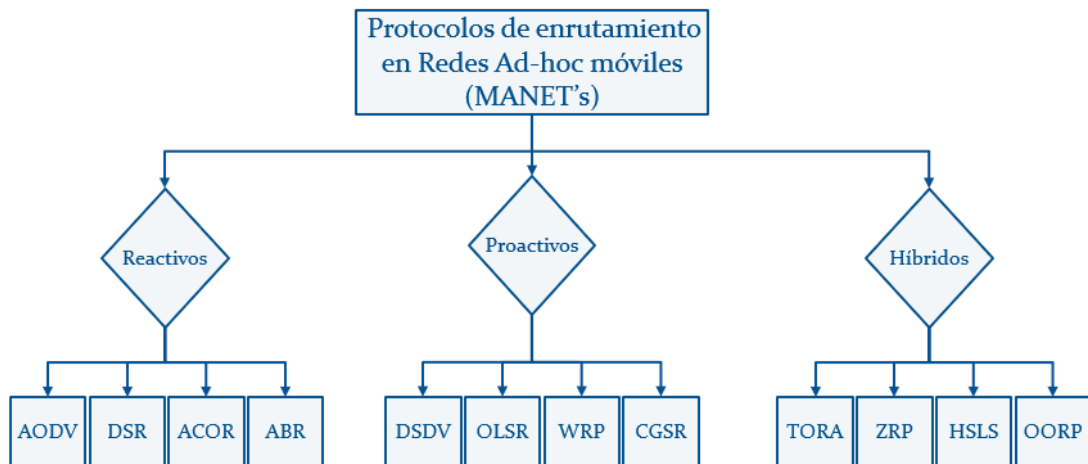


Figura 2. 2: Clasificación de los protocolos de enrutamiento en MANET's.

Fuente: (Manickam et al., 2011)

### 2.2.1. Protocolos proactivos.

Estos tipos de protocolos se denominan protocolos controlados por tablas en los que la ruta a todos los nodos se mantiene en la tabla de enrutamiento. Los paquetes se transfieren a través de la ruta predefinida especificada en la tabla de enrutamiento. En este esquema, el reenvío de paquetes se realiza más rápido, pero la sobrecarga de enrutamiento es mayor porque todas las rutas deben definirse antes de transferir los paquetes. Los protocolos proactivos tienen una latencia más baja porque todas las rutas se mantienen en todo momento. (Manickam et al., 2011)

Estos protocolos de enrutamiento son similares y son una extensión natural de los de las redes cableadas. En el enrutamiento proactivo, cada nodo tiene una o más tablas que contienen la información más reciente de las rutas a cualquier nodo en la red. Varios protocolos basados en tablas difieren en la forma en que la información sobre un cambio en la topología se propaga a través de todos los nodos de la red. (Singh & Ambhaikar, 2012)

### **2.2.2. Protocolos reactivos.**

Estos tipos de protocolos también se denominan protocolos de enrutamiento bajo demanda donde las rutas no están predefinidas para el enrutamiento. Un nodo de origen requiere la fase de descubrimiento de ruta para determinar una nueva ruta cada vez que se necesita una transmisión. Este mecanismo de descubrimiento de ruta se basa en un algoritmo de inundación que emplea la técnica de que un nodo simplemente transmite el paquete a todos sus vecinos y los nodos intermedios solo reenvían ese paquete a sus vecinos. Esta es una técnica repetitiva hasta que llega al destino. Las técnicas reactivas tienen gastos generales de enrutamiento más pequeños pero mayor latencia. (Manickam et al., 2011)

El enrutamiento reactivo también se conoce como enrutamiento bajo demanda. Estos protocolos tienen un enfoque perezoso para el enrutamiento. No mantienen ni actualizan constantemente sus tablas de rutas con la topología de ruta más reciente. Ejemplos de protocolos de enrutamiento reactivo son el enrutamiento de origen dinámico (*Dynamic Source Routing, DSR*), el enrutamiento Ad-hoc de vector de distancia bajo demanda (*Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing, ODV*). (Singh & Ambhaikar, 2012)

Por lo tanto, los protocolos reactivos no mantienen ni actualizan la información de enrutamiento en las tablas de enrutamiento. Con estos protocolos, el nodo de origen inicia la búsqueda de ruta siempre que se le solicite enviar los paquetes de datos al nodo de destino. Los protocolos reactivos tienen una sobrecarga de congestión baja, cambios topológicos menos frecuentes y ancho de banda eficiente. (Shastri & Lala, 2017)

### **2.2.3. Protocolos híbridos.**

Los protocolos híbridos utilizan las características combinadas de los protocolos de enrutamiento por tabla y bajo demanda. Estos protocolos aprovechan las mejores características de ambos protocolos mencionados anteriormente. Estos protocolos permiten que los nodos con proximidad cercana trabajen juntos, lo que aumenta la escalabilidad y reduce el descubrimiento de rutas. (Shastri & Lala, 2017)

Por lo tanto, los protocolos híbridos son las combinaciones de protocolos reactivos y proactivos y se aprovechan de estos dos protocolos y, como resultado, las rutas se encuentran rápidamente en la zona de enrutamiento.

### **2.3. Clasificación de protocolos de enrutamiento MANET.**

Para Chamba M., (2017) el protocolo de enrutamiento de estado de enlace optimizado (*Optimized Link State Routing, OLSR*) es un conocido protocolo de enrutamiento proactivo. OLSR es una optimización del algoritmo de estado de enlace puro en redes ad hoc. El enrutamiento Hop by Hop se utiliza en el reenvío de paquetes. Los nodos en la red utilizan la información de topología del protocolo HELLO y los mensajes de Control de topología (TC) para descubrir sus nodos vecinos. (Rey et al., 2014)

En OLSR, cada nodo utiliza la información actualizada para enrutar un paquete. Cada nodo en la red selecciona un conjunto de nodos en su vecindario que retransmite sus paquetes. Este conjunto de nodos vecinos seleccionados se denomina relevadores multipunto (*Multi-Point Relays, MPR*) de ese nodo. El MPR se utiliza para reducir la sobrecarga en la red. Por lo tanto, en OLSR, los paquetes no son emitidos por todos los nodos de la red, sino que solo los nodos seleccionados como MPR reenvían el tráfico reduciendo el tamaño del mensaje de control. (Vega G., 2014)

Cada nodo en la red mantiene una tabla de enrutamiento actualizada. El protocolo OLSR utiliza nodos MPR y la sobrecarga de enrutamiento es mayor que los otros protocolos de enrutamiento. El OLSR es principalmente adecuado para redes grandes y densas. El conjunto más pequeño de MPR proporciona rutas óptimas. En el protocolo OLSR, un mensaje de HELLO se transmite periódicamente a sus nodos vecinos en un intervalo predeterminado. Estos mensajes determinan el estado de los enlaces. Por ejemplo, si el nodo X e Y son vecinos, el nodo X envía el mensaje HELLO al nodo Y. Si el nodo Y recibe el mensaje, se dice que el enlace es asimétrico. Del mismo modo, es lo mismo para los mensajes de HELLO enviados por el nodo Y al nodo X. Si se establecen comunicaciones bidireccionales, se dice que el enlace es simétrico, tal como se muestra en la figura 2.3.



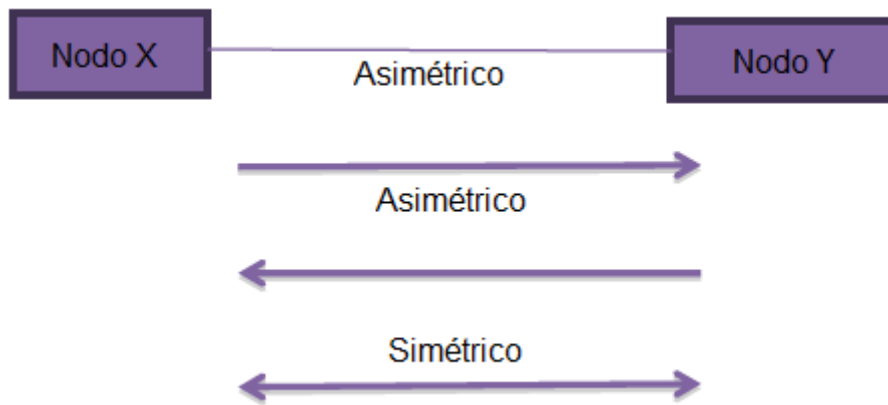


Figura 2. 3: Mensaje de HOLA en MANET usando OLSR  
Fuente: (Vega G., 2014)

Estos mensajes de HOLA contienen toda la información sobre sus nodos vecinos. Cada nodo en la red mantiene una tabla de enrutamiento con información de varios nodos vecinos de salto. Cuando se realizan las conexiones simétricas, un nodo elige un número mínimo de nodos MPR que transmiten mensajes de control de topología (*Topology Control, TC*). Los mensajes TC contienen la información de los nodos MPR seleccionados. Es decir, que HOLA y TC se utilizan para descubrir y difundir la información en toda la MANET.

#### 2.4. Algoritmo de enrutamiento ordenado temporalmente – TORA.

El algoritmo de enrutamiento ordenado temporalmente (*Temporally-Ordered Routing Algorithm, TORA*) es un protocolo de enrutamiento reactivo que establece rutas rápidas. Un concepto clave en su diseño es que desacopla la generación de propagación de mensajes de control potencialmente de gran alcance a partir de la tasa de cambios topológicos. TORA posee los siguientes atributos: (Mathias et al., 2017)

- Rutas sin bucles
- Proporcionar una funcionalidad de enrutamiento mínima
- Minimizar la reacción del algoritmo
- Enrutamiento múltiple

TORA se utiliza principalmente en MANET para mejorar la escalabilidad. La funcionalidad básica del protocolo TORA consiste en crear rutas, mantener

rutas y borrar rutas. El protocolo modela la estructura de la red como un gráfico. TORA establece rutas a escala entre el origen y el destino utilizando el gráfico acíclico dirigido (*Directed Acyclic Graph, DAG*) integrado en el nodo de destino. Los enlaces en la red pueden ser dirigidos o no dirigidos desde el nodo de origen al nodo de destino. (Mathias et al., 2017)

TORA construye rutas optimizadas utilizando cuatro mensajes. Comienza con un mensaje de consulta seguido de un mensaje actualizado, luego borra el mensaje finalmente mensaje de optimización. Cada nodo realiza esta operación para enviar varios parámetros entre el nodo de fuente u origen y el nodo de destino. Los parámetros incluyen el tiempo para romper el enlace ( $t$ ), la identificación del originador (OID), el bit de indicación de reflexión ( $r$ ), la secuencia de frecuencia ( $d$ ) y la identificación de los nodos ( $i$ ). Los primeros tres parámetros se denominan parámetros de referencia y los dos últimos se compensan para el nivel de referencia respectivo.

Cada nodo mantiene una métrica 'altura'. Los enlaces entre los nodos se dirigen en función de las alturas. Al principio, la altura de todos los nodos se establece en NULL, es decir  $(-, -, -, -, i)$  y el destino se establece en  $(0,0,0,0, \text{destino})$ . A medida que cambia la topología de la red, las alturas de los nodos también cambian.

TORA es un protocolo de origen que proporciona múltiples rutas para cualquier par de origen/destino deseado. El nodo de origen envía un mensaje de consulta al nodo de destino con la identificación de ese destino previsto. Cuando un paquete de consulta llega al nodo de destino, se envía una respuesta conocida como actualización en la ruta inversa. El valor de altura del nodo vecino se establece en un mensaje de actualización. En la figura 2.4, el nodo de origen A envía un mensaje de consulta al nodo de destino H. Los nodos vecinos se reenvían el mensaje entre sí y finalmente el paquete es alcanzado al nodo de destino por sus vecinos de un salto G y H.

El nodo de origen está representado por A y el nodo de destino está representado por H. Un mensaje de consulta se transmite a través de la red

por el nodo de origen A. Solo los vecinos de un salto del destino responden a la consulta. En este caso, el nodo D y el nodo G están a un salto del destino, representado por un color verde. Por lo tanto, estos nodos enviarán un mensaje actualizado en ruta inversa con el valor de altura establecido (véase la figura 2.5).

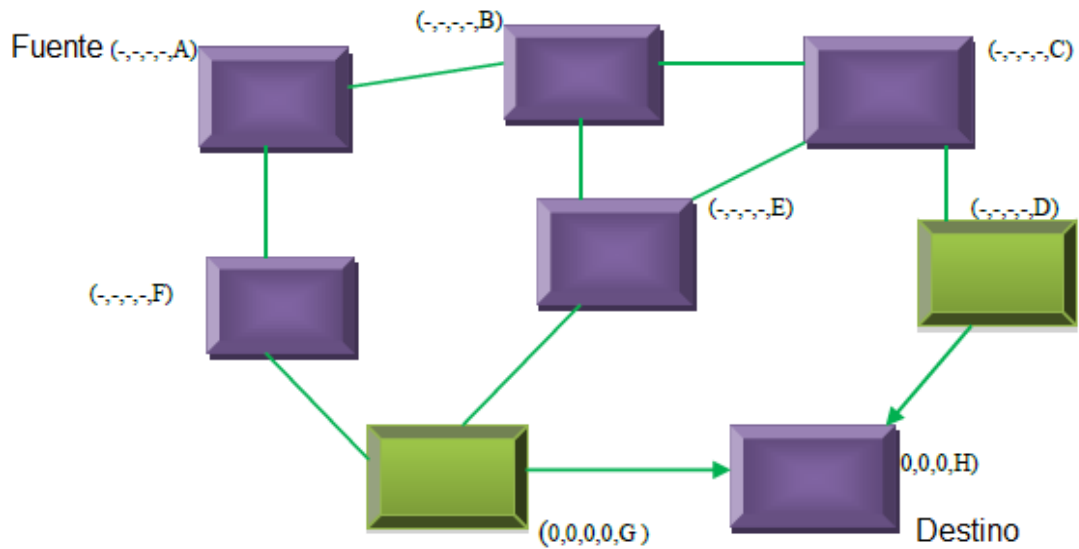


Figura 2. 4: Procedimiento de descubrimiento de ruta en TORA (Mensaje de consulta)  
 Fuente: (Rezaei et al., 2012)  
 Modificado por: Autor.

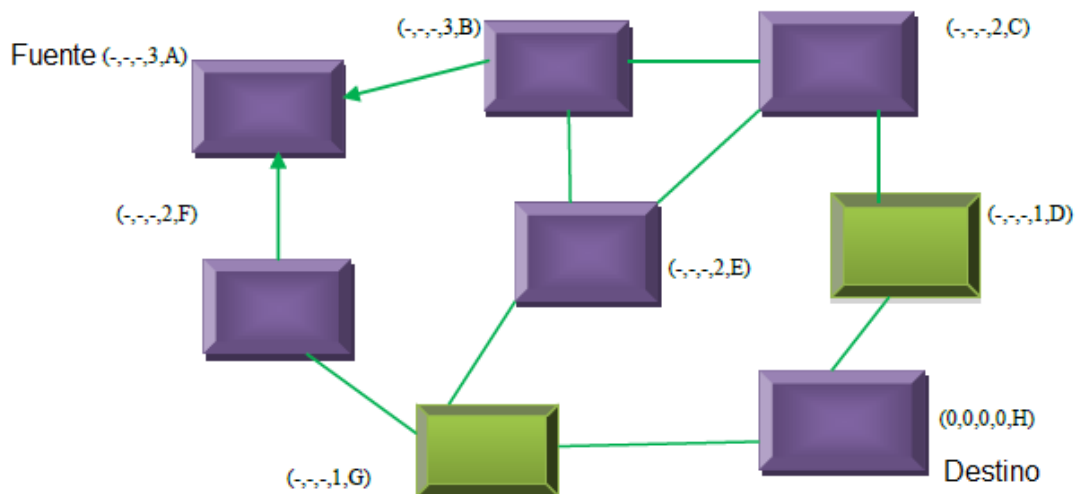


Figura 2. 5: Altura de cada nodo actualizado como resultado del mensaje UDP (Mensaje de actualización)  
 Fuente: (Rezaei et al., 2012)  
 Modificado por: Autor.

La principal desventaja de este algoritmo es que depende en gran medida del número de nodos activados en la configuración inicial. La otra desventaja es que la respuesta a la demanda de tráfico depende de la cantidad de nodos (o tasa de cambio de tráfico) en las redes.

## 2.5. Vector de distancia bajo demanda Ad-hoc – AODV.

AODV es otro protocolo de enrutamiento de tipo reactivo. En AODV, cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento. Es decir, que crea rutas en forma de difusión, donde el nodo fuente difunde el paquete de solicitud de ruta (RREQ) a su nodo vecino.

El paquete RREQ contiene la dirección IP de destino y el número de secuencia de destino. El nodo vecino que acepta el RREQ construye la ruta inversa con el paquete de respuesta de ruta (RREP). En la figura 2.6, el mensaje RREQ se transmite desde el nodo A de origen al nodo D de destino. El nodo fuente 'A' transmite el mensaje RREQ a sus nodos vecinos; los nodos vecinos adecuados para el mensaje RREQ envían un RREP que incrementa el conteo de saltos en uno.

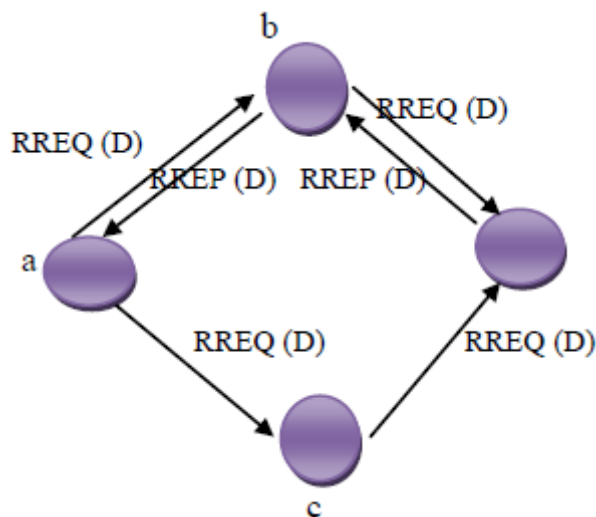


Figura 2. 6: Mensajes RREQ y RREP en AODV  
Fuente: (Eiza et al., 2013)

El nodo vecino verifica si se ajusta al mensaje RREQ, si es así, transmite RREP al nodo fuente A o, si no, transmite nuevamente el mensaje RREQ en la red con un conteo de saltos incrementado. Cuando se produce un error de enlace, genera un mensaje de error de ruta (RERR). La ventaja de AODV es

que este enrutamiento se sigue a pedido utilizando el número de secuencia de destino. Las desventajas de este protocolo es que requiere más tiempo para establecer una conexión, y se responden múltiples RREP a un solo RREQ que conduce a una sobrecarga de tráfico pesado.

## **2.6. Protocolo de enrutamiento geográfico – GRP.**

El protocolo de enrutamiento geográfico (GRP) es un tipo de protocolo basado en la posición, y cada nodo se identifica por la ubicación. Las posiciones de los nodos estarán marcadas por GPS y optimizarán la inundación dividiéndolas en cuadrantes. Periódicamente se transmite un mensaje de HOLA entre los nodos para identificar sus posiciones y sus vecinos. En GRP, mediante el bloqueo de ruta, un nodo puede devolver sus paquetes al último nodo cuando no puede seguir enviando el paquete al siguiente nodo.

## **2.7. Dispositivos que admiten redes MANET**

Las MANET's son redes puramente entre pares. El movimiento aleatorio de los nodos y la naturaleza dinámica de la red hacen que el sistema MANET sea complejo. Las MANET's cumplen muchos desafíos técnicos en aplicaciones y sistemas operativos en evolución, para hacer que el sistema sea fácil de desarrollar, fácil de implementar y fácil de utilizar. La red Ad-hoc móvil (MANET) es una red virtual y se configuran los nodos con las características de dispositivos electrónicos y que son implementados estos nodos en la red.

Por ejemplo, se puede configurar un nodo fijo con las características de dispositivos fijos como el escritorio o se puede configurar algunos otros nodos móviles con las características de los dispositivos móviles como utilizar los teléfonos en trenes, autobuses, etc. Y luego, todos estos nodos se pueden implementar en la red. Junto con los nodos, se utiliza la configuración de la aplicación, la configuración móvil, la configuración del perfil, entre otras, para diseñar los diferentes escenarios de una red Ad-hoc móvil (MANET). (Plaza G. et al., 2018)

También, se explora el soporte de MANET's en los dispositivos de comunicación de hoy en día, como teléfonos móviles inteligentes, computadoras portátiles, etc. Los sistemas operativos y el software que pueden ser aplicables para las MANET's en la actualidad. Por ejemplo, la biblioteca de soporte ad-hoc (*Ad-hoc Support Library, ASL*) es una biblioteca de espacio de usuario que implementa protocolos de enrutamiento Ad-hoc bajo demanda en Linux. El soporte de movilidad del protocolo de internet versión 6 (Internet Protocol v6, IPv6) para Linux detecta un dispositivo móvil y reenvía el paquete a la ubicación actual del dispositivo.

La mayoría de los dispositivos como computadoras portátiles, PDA, teléfonos inteligentes, etc. están construidos por una plataforma Linux que admite una MANET. Qualnet es una ejecución *c++* del protocolo OLSR para redes MANET's.

El software CoCo Node es la interfaz de programación de aplicaciones (API) de Apple, que se ejecuta en PC's, computadoras portátiles, teléfonos móviles, teléfonos inteligentes y PDA's. CoCo Node para MANET's proporciona servicios independientemente del tamaño y la ubicación de la red. Esta aplicación es completamente a prueba de desastres, mantiene las aplicaciones IP ejecutándose sin infraestructura y enruta el tráfico de red en entornos móviles que cambian rápidamente. En otras palabras, CoCo Node admite todas las aplicaciones IP existentes.

Android-Gingerbread admite redes Ad-hoc, actuando como estaciones base inalámbricas para otros dispositivos. Cuando otros dispositivos se conectan al móvil (actuando como estación base) se puede proporcionar un enlace ascendente a través de USB ---> PC ---> cualquier internet.

El grupo de trabajo de ingeniería de Internet (*Internet Engineering Task Force, IETF*) está trabajando actualmente en MANET's. El estudio de implementación realizado en Ericsson Mobile Data Design (ERV) en Gotemburgo demostró que es posible configurar y ejecutar MANET's. El ERV implementó varios protocolos de enrutamiento Ad-hoc móvil en los sistemas

operativos actuales. Se desplegó una implementación bien desarrollada sobre el protocolo de enrutamiento AODV en Linux usando la librería de soporte Ad-hoc.

Aunque, las MANET's aún no se ha implementado con éxito y todavía se continúa investigando, por lo que en la actualidad la mayoría de las personas no pueden configurar la red MANET directamente en sus dispositivos de comunicación electrónica como teléfonos móviles, computadoras portátiles, etc.

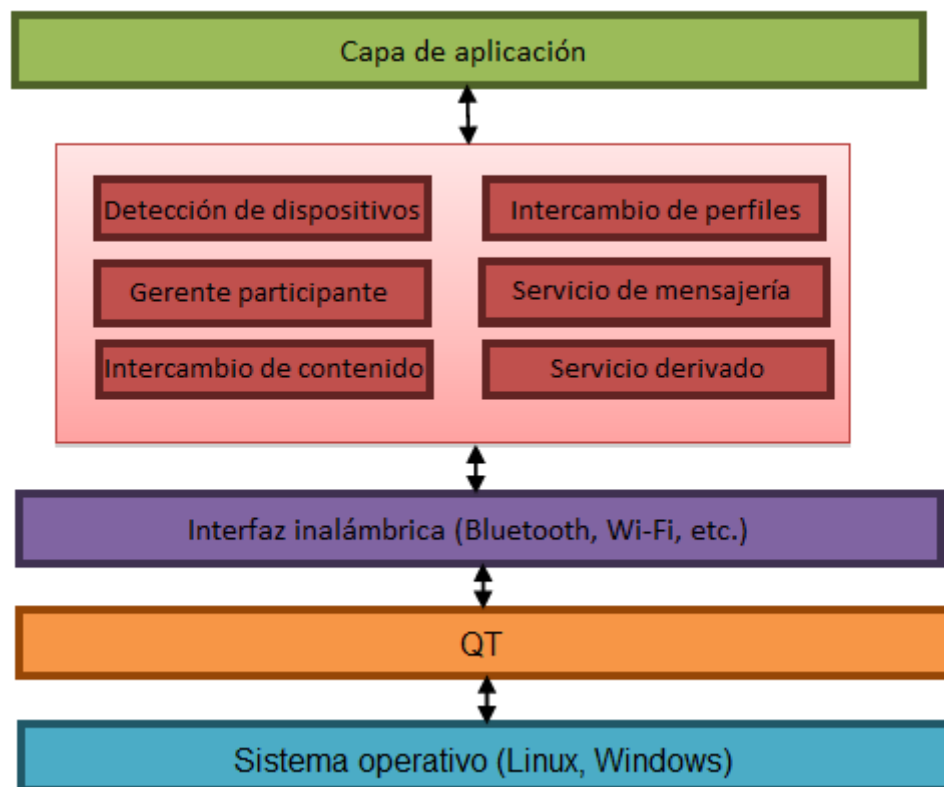


Figura 2. 7: Configuración MANET

Fuente:

Los dispositivos móviles como PDA, teléfonos inteligentes, etc. se pueden conectar entre sí en una MANET. De la figura 2.7, un middleware establece la conexión entre diferentes tipos de dispositivos móviles utilizando interfaces inalámbricas como Bluetooth, Wi-Fi, etc. El kit de herramientas QT es uno de esos middlewares desarrollado por Trolltech e implementa una MANET para dispositivos móviles. El software intermedio desarrollado con QT se puede activar fácilmente en diferentes dispositivos con diferentes sistemas

operativos; se puede desarrollar en una PC de escritorio y luego se puede mover a un sistema integrado mediante compilación cruzada.

La interfaz inalámbrica busca, conecta y se comunica con los dispositivos móviles vecinos. El administrador de servicios tiene cuatro módulos: descubrimiento de dispositivos, intercambio de perfiles, gestión de participantes y servicio de mensajería. Ayuda a configurar la red MANET automáticamente sin la interferencia del usuario.

En la actualidad, se pueden configurar fácilmente la red inalámbrica normal (Wi-Fi) en dispositivos generales como teléfonos móviles, teléfonos y computadoras portátiles.

La empresa sueca Terranet diseñó una red enmallada Ad-hoc en móviles. Encontraron una solución para conectar los dispositivos móviles sin red de infraestructura. Han desarrollado un chip que se puede construir en un teléfono móvil. Esta solución puede ser muy beneficiosa para las personas en situaciones de desastre y otras situaciones de emergencia. La innovación de Terranet sigue en pruebas actualmente.

Las comunicaciones con CoCo Node han desarrollado algunos dispositivos habilitados para MANET's como Motorola MC75, Motorola ES400, AMREL RF8, etc. y estos pueden implementarse en los entornos más difíciles.

Las discusiones anteriores muestran que la investigación aún continúa para analizar las posibilidades de configurar una MANET en los dispositivos de comunicación electrónica actuales y desplegarlo en aplicaciones reales. La red MANET no se puede configurar fácilmente por sí misma como la configuración inalámbrica normal; tiene que ser diseñado por los fabricantes o administradores. Hay dos desafíos importantes: el desafío técnico que ya ha sido discutido anteriormente y el otro es un desafío administrativo.



En cuestiones administrativas, ¿cómo quién decidirá establecer una red Ad-hoc en esa área? ¿Decidir el nombre de la red, la configuración de seguridad, etc.? ¿Cómo se distribuirá esta información? ¿Pueden los dispositivos conectarse automáticamente en tales situaciones? ¿Quién pagará por el servicio, etc.? Sin embargo, lleva más tiempo resolver todos estos problemas e implementar con éxito el MANET.

## **Capítulo 3: Configuración y simulación del entorno experimental.**

### **3.1. Introducción.**

En las MANET, la movilidad, la heterogeneidad, el tráfico y la densidad de nodos son las principales condiciones de la red que afectan significativamente el rendimiento de los protocolos de enrutamiento. La heterogeneidad de los nodos es uno de los principales problemas que debe considerarse al construir y desarrollar protocolos de enrutamiento para MANET.

La heterogeneidad de nodos de los MANET se puede explorar a través de dos arquitecturas diferentes. En la primera arquitectura, todos los nodos son inicialmente homogéneos y luego, a medida que pasa el tiempo, los recursos de nodos idénticos se agotan de manera diferente, creando heterogeneidad en la red. La segunda arquitectura involucra diferentes nodos con diferentes recursos (CPU, memoria, interfaces, capacidad de la batería, tamaño de disco, etc.) y características (movilidad y cargas de red).

Este capítulo se centra en la primera arquitectura. En esta arquitectura, a medida que pasa el tiempo, los recursos, como la energía, se agotan de manera diferente para cada nodo y, en consecuencia, la potencia de transmisión debe reducirse. Esto eventualmente crea enlaces unidireccionales entre nodos, tal como se muestra en la figura 3.1. El nodo A tiene un rango de transmisión mayor que el nodo B, lo que significa que A incluye a B en su área de transmisión, mientras que el nodo B no incluye al nodo A. En consecuencia, el enlace entre A y B es unidireccional de A a B solamente.

Sin embargo, la mayoría de los protocolos de enrutamiento reactivo de MANET's suponen que todos los enlaces entre dos nodos son bidireccionales. En un escenario heterogéneo, este supuesto proporciona información de enrutamiento incorrecta, lo que resulta en mayores demoras y un mayor nivel de pérdida de paquetes en redes heterogéneas. En la sección 3.2, los diferentes protocolos de enrutamiento MANET se evalúan en función de la

primera arquitectura MANET heterogénea (HMANET) y se comparan con el escenario MANET homogéneo.

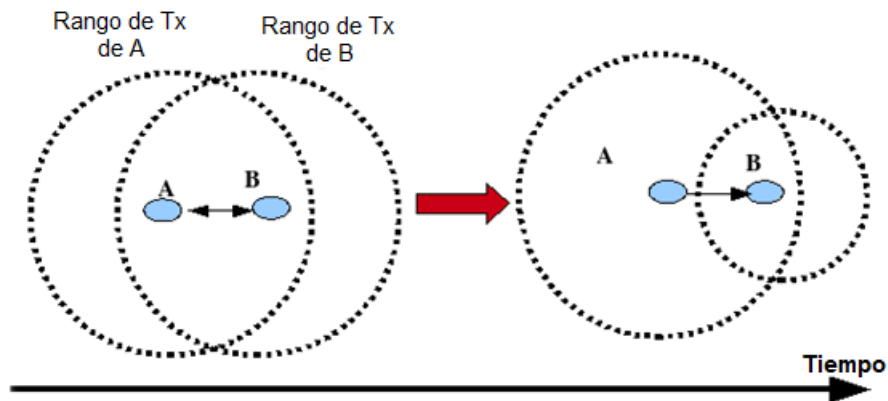


Figura 3. 1: Representación de enlaces unidireccionales en MANET's.  
Elaborado por: Autor

El problema del enlace unidireccional no se ha abordado bien en el presente trabajo. Aunque trabajos encontrados en la revisión bibliográfica han sugerido resolver el problema del enlace unidireccional entre una cabeza de grupo y sus miembros haciendo que los nodos miembros se acerquen a sus cabezas de grupo, lo que no es una solución práctica para este problema. Los enlaces unidireccionales se excluyeron del proceso de descubrimiento de ruta, lo que conduce a rutas que consisten únicamente en enlaces bidireccionales. Sin embargo, se sugieren que los enlaces unidireccionales se puedan utilizar para aumentar la relación de entrega de paquetes y, por lo tanto, aumentar la fiabilidad. Por lo tanto, en la sección 3.3 se propone una estrategia para detectar y resolver problemas de enlaces unidireccionales de acuerdo con el escenario de la primera arquitectura MANET heterogénea.

### 3.2. Rendimiento de los protocolos de enrutamiento MANET en entornos homogéneos y heterogéneos

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones que se han llevado a cabo para comparar el rendimiento de diferentes protocolos de diferentes clases en MANET heterogéneos y homogéneos. En los MANET homogéneos, todos los nodos tienen capacidades y recursos idénticos, mientras que en los MANET heterogéneos, los diferentes nodos tienen diferentes rangos de transmisión y recursos de suministro de energía.

El paquete GloMoSim1 se ha utilizado para simular cinco protocolos diferentes en condiciones homogéneas y heterogéneas. Estos protocolos son DSR, AODV, LAR1, FSR y WRP. La relación o proporción de entrega de paquetes (PDR), el retardo de extremo a extremo, el porcentaje de pérdida de paquetes y la sobrecarga de control (*Control Overhead, OHC*) fueron utilizados como métricas de rendimiento para cada protocolo. Los parámetros de las simulaciones se enumeran en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Configuración de los parámetros de simulación.

<b>Parámetros de simulación</b>	<b>Valor</b>
Tiempo de simulación	200 s
No. de conjunto de pequeños nodos (seeds)	10
Número de nodos	50,100 y 200, distribuidos aleatoriamente
Área de simulación	1000 x 1000 m <sup>2</sup>
Modelo de movilidad del nodo	Punto de ruta aleatorio
Rango de velocidad de los nodos	0-20m/s
Tiempo de pausa	0 s, 50 s, 100 s, 200 s, 300 s, 500 s, 700 s y 900 s
Número de flujos de tráfico	10
Detalles de tráfico	10 flujos, velocidad de bits constante ( <i>Constant Bit Rate, CBR</i> ),4 paquetes por segundos, 512 bytes/paquete
Protocolo MAC	IEEE 802.11b
Potencia de transmisión	15 dBm en MANET's homogéneas, 10 dBm - 25 dBm en MANET's heterogéneas

Elaborado por: Autor

En esta sección, solo los resultados de la simulación de los protocolos AODV y FSR se presentan como protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos representativos dentro de redes heterogéneas y homogéneas. los protocolos DSR, AODV y LAR1 se simularon con 50, 100 y 200 nodos, mientras que el protocolo FSR se simuló con 50 y 100 nodos y WRP con 50

nodos solamente. Esto se debe a que los protocolos FSR y WRP no son escalables a una gran cantidad de nodos. Los resultados de la simulación de los protocolos DSR, LAR1 y WRP se proporcionan al final de la sección.

Las figuras 3.2 y 3.6 muestran los retardos de extremo a extremo para los protocolos AODV y FSR. De las figuras se desprende que todos los protocolos se comportan de manera diferente con nodos heterogéneos. El retardo con 50 y 100 nodos homogéneos permanece casi estable en comparación con el comportamiento en MANET's heterogéneos. Todos los protocolos experimentan un mayor retardo en las MANET's heterogéneas en comparación con los MANET's homogéneas para un número dado de nodos.

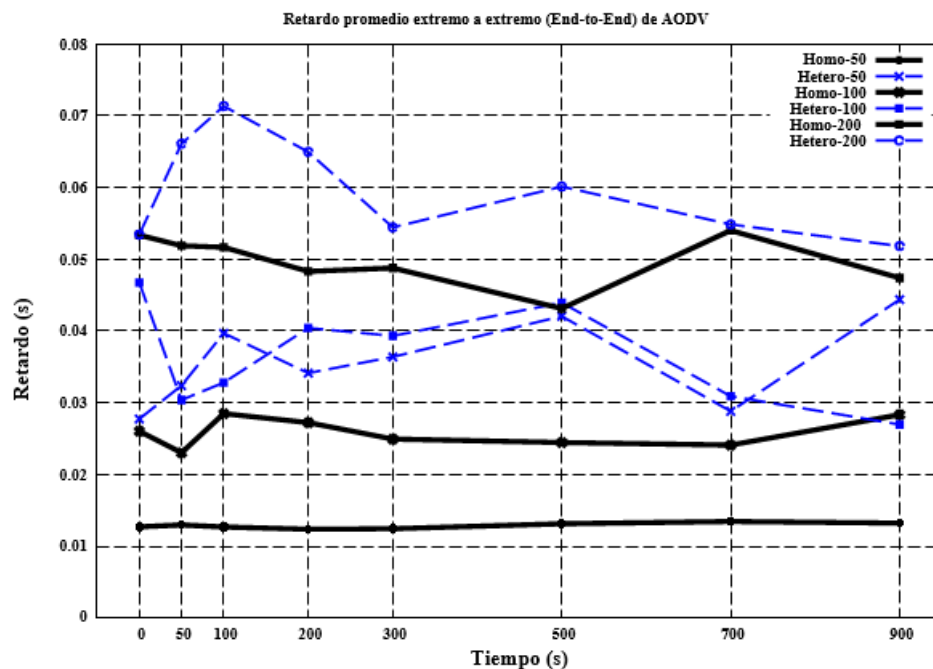


Figura 3. 2: Retardo promedio extremo a extremo de MANET's para el protocolo AODV.

Elaborado por: Autor

Por ejemplo, el retardo de extremo a extremo en AODV fue inferior a 0.02 s con 50 nodos homogéneos, mientras que es más de 0.03s con 50 nodos heterogéneos. El protocolo FSR tiene mayores demoras con 100 nodos para redes homogéneas y heterogéneas. Todo esto refleja el hecho de que los protocolos de enrutamiento actuales no son apropiados para nodos heterogéneos.

La proporción de entrega de paquetes (PDR) para todos los protocolos es cercana a 1 en redes homogéneas con diferentes números de nodos, tal como se muestra en la figura 3.3 y disminuye con redes heterogéneas a medida que aumenta el número de nodos. La diferencia entre la PDR en redes homogéneas y heterogéneas con el mismo número de nodos es mayor en protocolos proactivos como FSR. Esta diferencia es de aproximadamente el 20% para los protocolos reactivos, mientras que es de casi el 50% para los protocolos proactivos. Esto muestra que los protocolos proactivos no pueden hacer uso de diferentes recursos que difieren

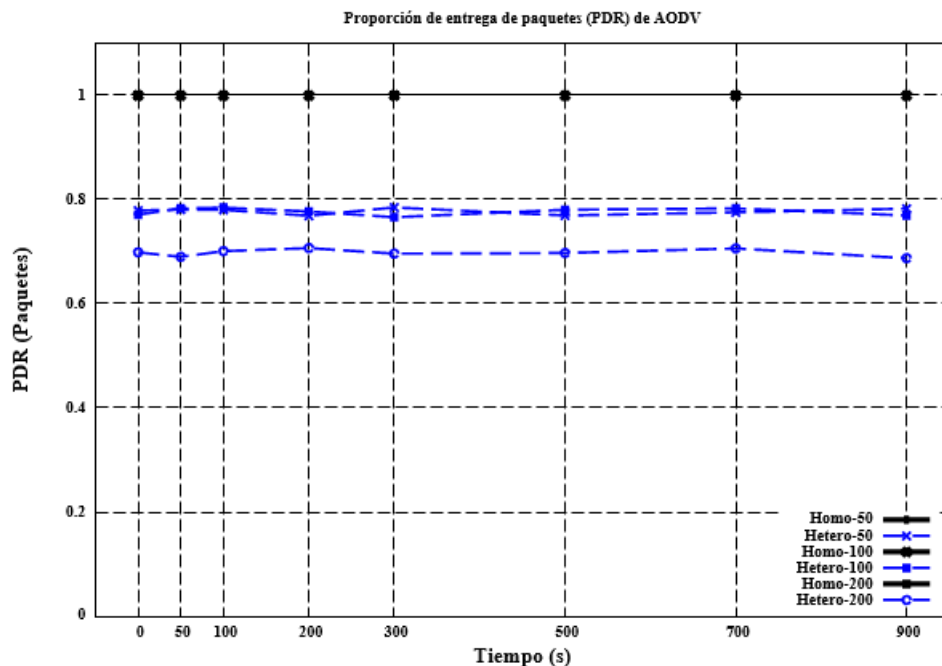


Figura 3. 3: Proporción de entrega de paquetes para el protocolo AODV.  
Elaborado por: Autor

Las tasas de pérdida de paquetes se muestran en las figuras 3.4 y 3.7. En una red homogénea, la tasa de pérdida de paquetes es muy baja en comparación con la red heterogénea. Las tasas de pérdida de paquetes en redes heterogéneas con protocolos reactivos son entre 20% y 25%, mientras que varía de 60% a 70% para protocolos proactivos. Las sobrecargas de control (COH) se muestran en las figuras 3.5 y 3.8. La sobrecarga es mayor con redes heterogéneas. Los protocolos proactivos como se espera tienen la mayor sobrecarga en redes homogéneas y heterogéneas. Esto se debe a las actualizaciones periódicas de la información de enrutamiento.

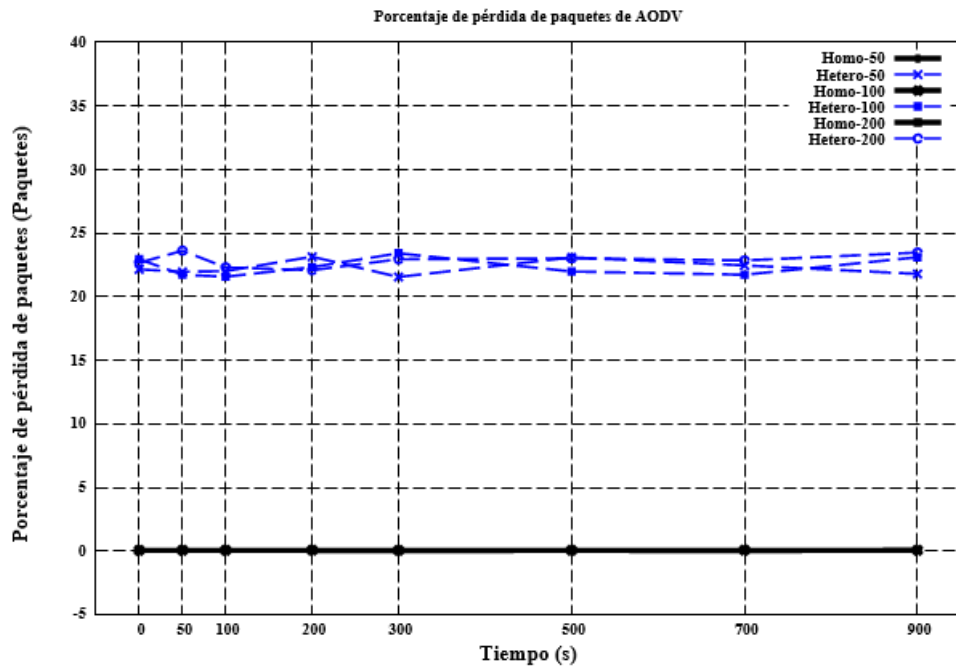


Figura 3. 4: Porcentaje de pérdida de paquetes de MANET's para el protocolo AODV.

Elaborado por: Autor

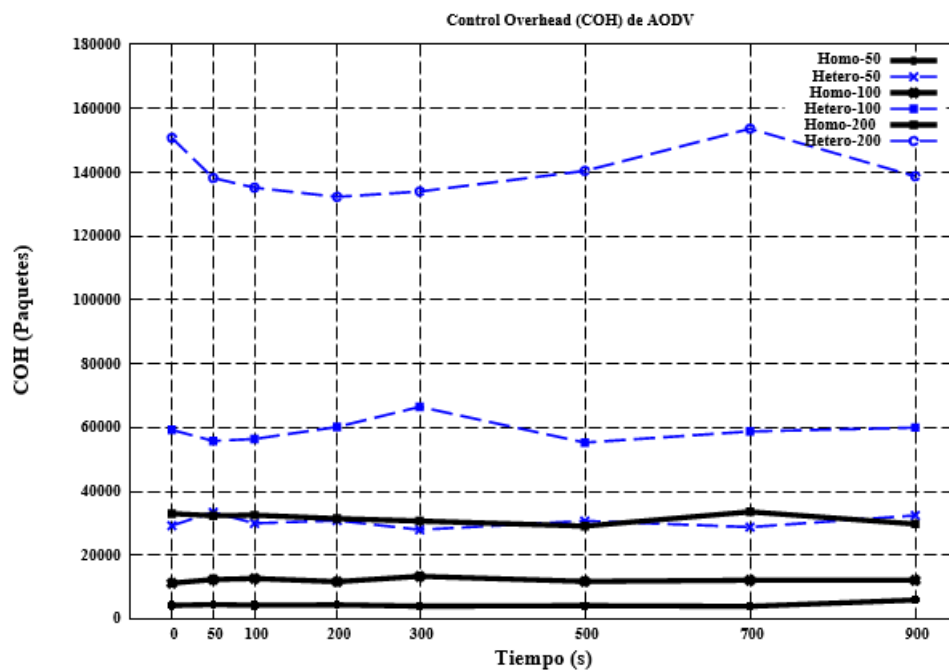


Figura 3. 5: Control de sobrecarga (COH) de MANET's para el protocolo AODV.

Elaborado por: Autor

En resumen, el rendimiento de todos los protocolos simulados se deteriora en redes heterogéneas. Sufren mayores retardos y alcanzan una relación de pérdida de paquetes (PDR) muy baja en comparación con el caso homogéneo. En la siguiente sección, se investiga el problema del enlace

unidireccional y sus efectos sobre el rendimiento de los protocolos de enrutamiento en redes heterogéneas.

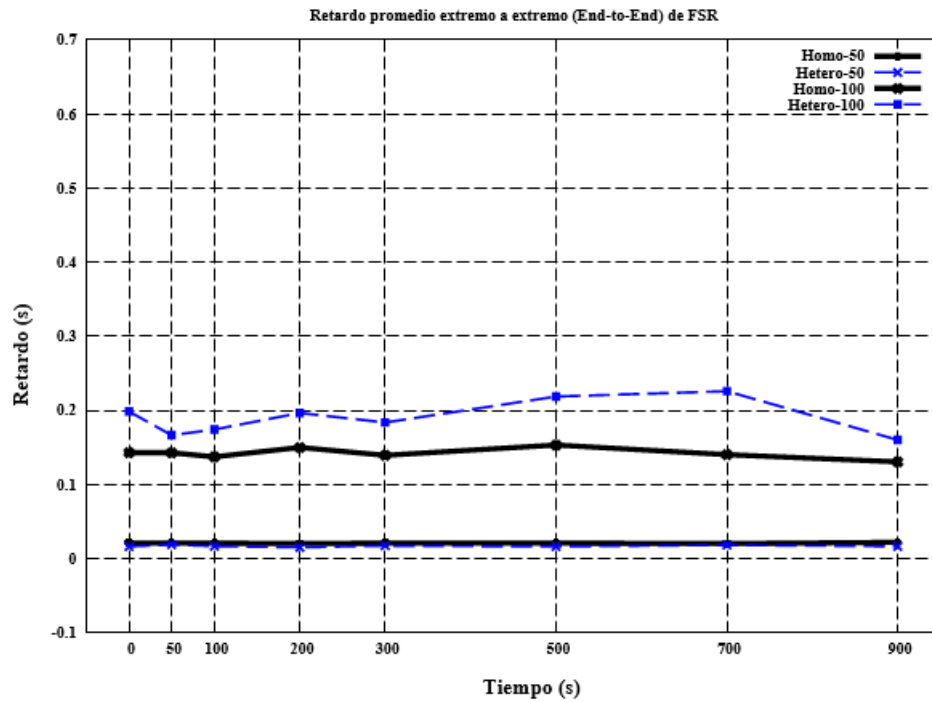


Figura 3. 6: Retardo promedio extremo a extremo de MANET's para el protocolo FSR.

Elaborado por: Autor

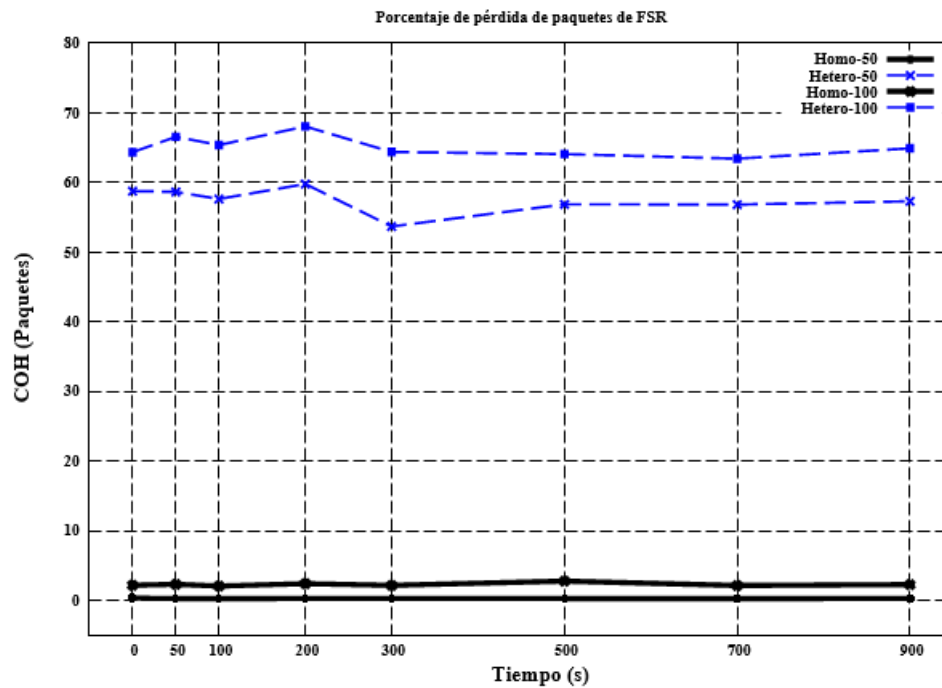


Figura 3. 7: Porcentaje de pérdida de paquetes de MANET's para el protocolo FSR.

Elaborado por: Autor



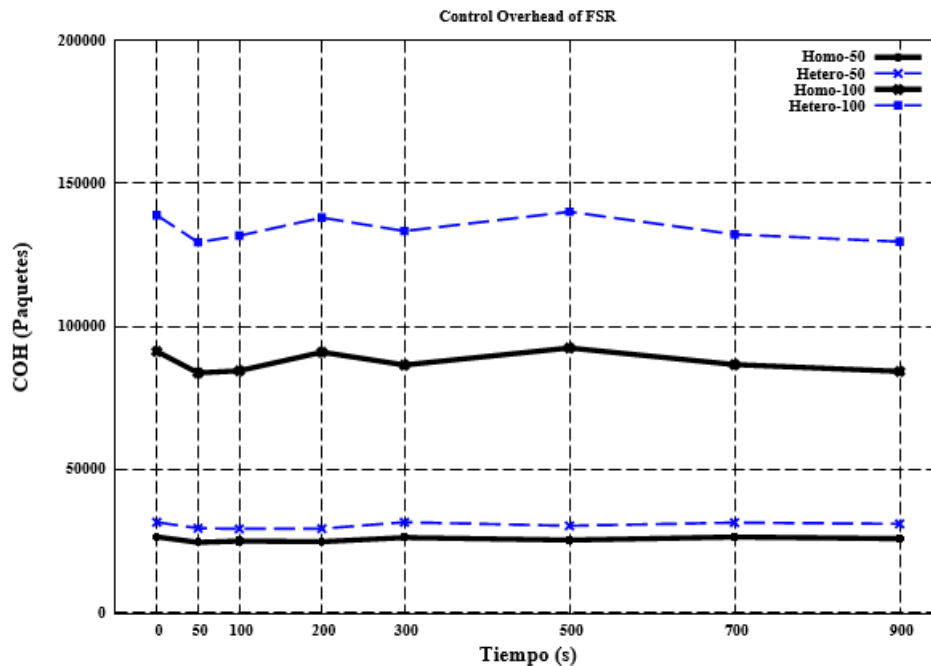


Figura 3. 8: Control de sobrecarga (COH) de MANET's para el protocolo AODV.  
Elaborado por: Autor

### 3.3. Evitar enlaces unidireccionales en MANET utilizando estrategias basadas en la ubicación.

Comúnmente, los enlaces unidireccionales en MANET se detectan en la capa MAC o en la capa de red. El protocolo de enlace bidireccional de petición para enviar (*Request-To-Send, RTS*) y listo para enviar (*Clear-To-Send, CTS*) es el enfoque más común en la capa MAC para evitar enlaces unidireccionales. Los enfoques de capa de red utilizan mecanismos de retroalimentación para detectar y evitar enlaces unidireccionales o para utilizarlos para mejorar la eficacia de los procesos de enrutamiento. Se han desarrollado diferentes estrategias para mejorar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento en presencia de enlaces unidireccionales.

En AODV-lista negra (*Blacklist*), cuando el nodo de destino envía respuesta de ruta (*Route REPlay, RREP*) (o cualquier nodo retransmite RREP) al siguiente salto en la ruta de reserva, espera una confirmación (*ACKnowledgement, ACK*) del nodo que recibe la RREP. Si no puede recibir la ACK debido a un enlace unidireccional, este nodo se agrega a la lista negra. Luego, cuando un nodo recibe una solicitud de ruta (*Route REQuest, RREQ*) del nodo en la lista negra, el paquete se descartará.

AODV-lista negra evita enlaces unidireccionales, pero con el costo de un alto nivel de control de sobrecarga (COH) y un mayor retardo ya que los nodos pueden consumir todos los reenvíos de solicitud de ruta (RREQ Retries) para configurar una ruta a los nodos de destino.

Aunque existe el mecanismo de detección y evitación de la unidireccionalidad temprana (EUDA) para detectar y evitar enlaces unidireccionales en redes Ad-hoc. Este mecanismo requiere la ubicación del nodo de reenvío en el paquete RREQ. Cuando un nodo recibe un paquete RREQ por primera vez, compara el rango de transmisión con la distancia al nodo de reenvío utilizando la información de ubicación incorporada en el RREQ. Si hay un enlace unidireccional, el paquete se descarta sin ningún procesamiento.

En el peor de los casos donde no hay rutas bidireccionales, se consumen todos los reenvíos RREQ. En consecuencia, el número de paquetes de control aumenta y la relación de entrega de paquetes disminuye a medida que no se puede establecer el camino al destino. También, existe la eliminación de enlaces unidireccionales usando la lista de vecinos (ULE NL) para eliminar la unidireccionalidad. La lista de vecinos (NL) se agrega al paquete de solicitud de ruta (RREQ) por el nodo de reenvío. El nodo receptor verifica si su dirección existe en la lista. Si lo hace, entonces el nodo procesa el paquete, de lo contrario, el paquete se descarta porque hay un enlace unidireccional desde el nodo de reenvío al nodo receptor. Incluir la lista de vecinos en un paquete RREQ puede aumentar la sobrecarga de control (COH). Para reducir el tamaño de la lista, se excluyen los nodos vecinos duplicados en el NL.

Otra estrategia poderosa y simple para mejorar AODV-lista negra, es que RREP se retransmite a los nodos del primer salto, detectando el enlace unidireccional y no se bloqueen los nodos. Para evitar el intercambio ineficiente de ACK durante la retransmisión RREP, el tiempo de vida (Time-To-Live, TTL) se establece en 1. Además, la ID del nodo de origen y la ID de destino se almacenan en caché para evitar la duplicación de los mismos paquetes RREP. Los resultados de la simulación han mostrado cierta mejora

del rendimiento de AODV en términos de relación de entrega de paquetes y sobrecarga de control.

Pero se va a proponer una nueva estrategia llamada utilización basada en la ubicación (LBU) para detectar y utilizar enlaces unidireccionales en el proceso de descubrimiento de rutas de los protocolos de enrutamiento reactivo. Esta estrategia utiliza las ubicaciones de los nodos de reenvío de paquetes RREQ para resolver el problema de unidireccionalidad. Todos los paquetes RREQ recibidos se almacenan en caché y se filtran antes de procesarse o descartarse.

En la figura 3.9, se muestran varios nodos con diferentes potencias de transmisión (10 y 15 W). El nodo fuente 1 inicia el descubrimiento de ruta para encontrar una ruta al nodo 7. El nodo 2 retransmitirá el paquete RREQ. El nodo 8 recibirá el paquete y tiene una ruta de acceso al destino 7. Sin embargo, no puede unidifundir su RREP al nodo 2 debido al enlace unidireccional. Debido a que el paquete RREQ duplicado se ignora, el RREQ recibido del nodo 9 se ignora en el nodo 8. En AODV-lista negra, la retransmisión continuará hasta que se encuentre el destino o se alcance el límite de reintentos de RREQ.

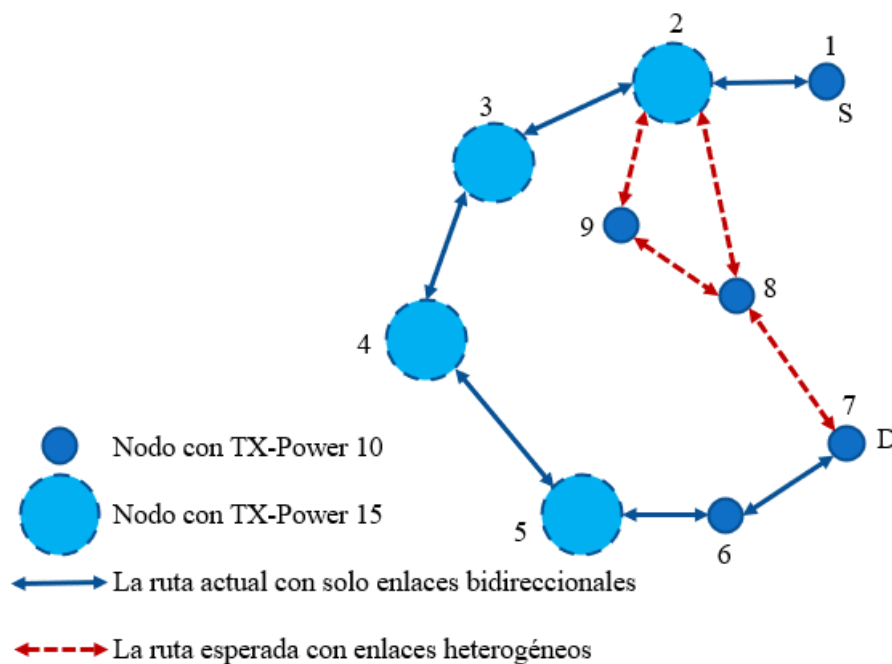


Figura 3. 9: Recorrido de paquetes de solicitud de ruta.

Elaborado por: Autor

En la figura 3.9, el nodo 8 considerará el nodo 2 inalcanzable y luego insertará el nodo 2 en su lista negra. Por lo tanto, cuando el nodo 8 recibe cualquier paquete del nodo 2, se ignorará. El nodo de origen 1 tendrá una ruta larga  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$  para llegar al destino 7, que está a solo 3 saltos de distancia. Esta ruta larga puede degradar la confiabilidad de la red y retrasar los datos en comparación con la ruta esperada  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 7$ . Una de las estrategias para resolver este problema es que, cuando el nodo 8 detecta un enlace unidireccional al nodo de reenvío anterior de RREQ, retransmita su RREP a sus nodos vecinos del primer salto.

A medida que el nodo 9 escucha la retransmisión de paquetes RREQ y RREP, se utiliza la unidifusión de un paquete RREP al nodo 2. Sin embargo, esto puede crear una gran cantidad de rutas y aumentar el control de sobrecarga (COH), lo que puede degradar el rendimiento de la red. En lugar de retransmitir RREP, cada nodo (por ejemplo, nodo 8) comienza a almacenar en caché todos los paquetes RREQ de la misma fuente e ID de inundación para resolver cualquier enlace unidireccional. La descripción de cómo detectar y utilizar enlaces unidireccionales se describe en las subsecciones siguientes.

### 3.3.1. Utilización basada en la ubicación (LBU) de enlaces unidireccionales

La utilización basada en la ubicación (*Location-Based Utilisation, LBU*), emplea el concepto de detección de enlace unidireccional utilizando información de ubicación. Sin embargo, el mecanismo de utilización basada en la ubicación (LBU) difiere del mecanismo de detección y evitación de la unidireccionalidad temprana (EUDA) al utilizar la unidireccionalidad para mejorar el proceso de enrutamiento en protocolos de enrutamiento reactivo que utilizan ubicaciones de nodo de 2 saltos.

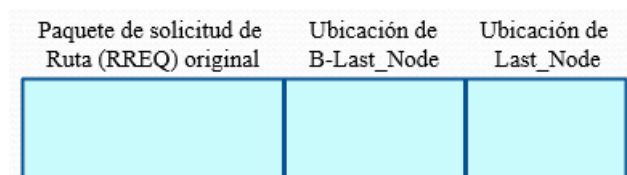


Figura 3. 10: Paquete de solicitud de ruta para compañero  
Elaborado por: Autor

Para detectar la unidireccionalidad, cada paquete RREQ tendrá dos campos más, tal como se muestra en la figura 3.10. Estos dos campos llevan ubicaciones de los nodos del último salto en la ruta como la que se ilustra en la figura 3.11. Cuando el nodo recibe un paquete RREQ, se realiza el siguiente procedimiento:

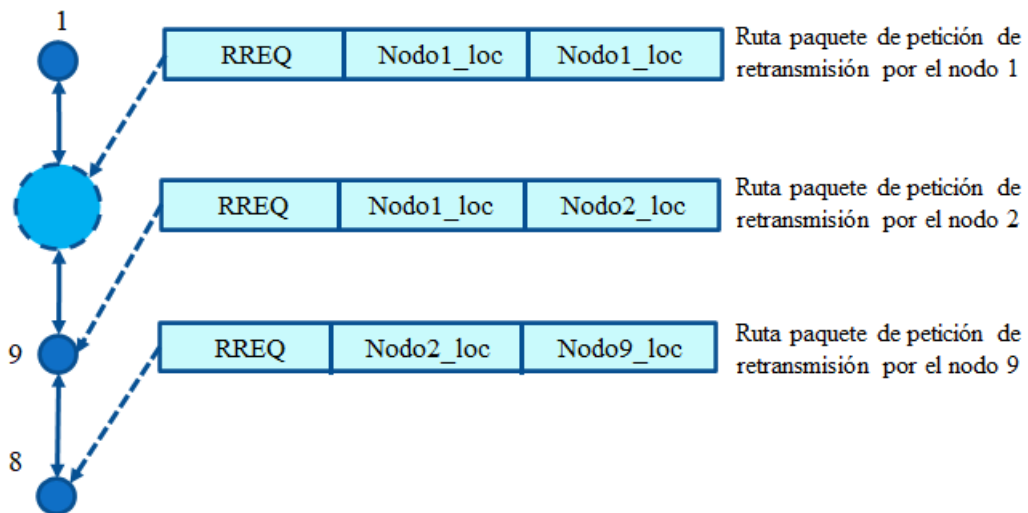


Figura 3. 11: Paquete de solicitud de ruta para compañero  
Elaborado por: Autor

1. El nodo calcula la distancia al nodo de reenvío utilizando la información de ubicación en el paquete RREQ;
2. El nodo calcula su rango de transmisión como el Rango de transmisión CurrNode; y
3. El nodo compara su rango de transmisión con la distancia calculada en el paso 1.

Para solucionar el problema del enlace unidireccional, cada nodo almacena información sobre cada paquete RREQ visitado. En lugar de descartar todos los paquetes RREQ de la misma ID de inundación e ID de origen, el nodo almacena en caché la información en paquetes RREQ para detectar y resolver la unidireccionalidad durante la inundación del mismo paquete RREQ. Esta información se almacena en una tabla llamada "tabla de datos vistos", tal como se muestra en la figura 3.12, que es similar a la tabla del protocolo AODV que se utiliza para evitar la duplicación del mismo paquete RREQ (donde mantiene la identificación de la fuente y el número de inundación del primer paquete RREQ entrante).

En la tabla de datos vistos, el ID de origen y de inundación son la identificación de cada paquete RREQ recibido. El tercer registro es la dirección del nodo, que reenvía el paquete RREQ. Por ejemplo, B\_last\_loc y last\_loc son la ubicación de los nodos de reenvío de 2 saltos y 1 salto de este paquete. El último registro es un valor booleano para representar el tipo de enlace entre el nodo recibido y el nodo de reenvío, por ejemplo, si es verdadero significa que el enlace es unidireccional; de lo contrario, es bidireccional.

Id de origen	Id de inundación	Dirección de nodo de reenvío	B_last_loc	last_loc	Es el enlace unidireccional?
--------------	------------------	------------------------------	------------	----------	------------------------------

Figura 3. 12: Formato de la tabla de datos vistos.

Elaborado por: Autor

Cada nodo recibe el paquete RREQ y detecta el tipo de enlace. Cada tipo de enlace se procesa de manera diferente de la siguiente manera:

**a. Enlace unidireccional:** si el enlace es unidireccional (ver figura 3.13), el nodo busca un registro en la tabla de datos vistos, lo que resuelve el problema donde:

- ❖ El ID de origen y el Id de inundación son los mismos que el paquete RREQ recibido actualmente. Esto garantiza la frescura de la información de ubicación de los nodos y actualiza la situación de unidireccionalidad de manera oportuna dentro de los nodos vecinos.
- ❖ El valor de enlace unidireccional es falso, lo que significa que el nodo reenviado tiene un enlace bidireccional con el nodo actual.
- ❖ El valor de ubicación del campo B\_last\_loc del registro es el mismo que la ubicación del último nodo en el paquete RREQ recibido. El nodo (ver figura 3.13) busca en su “tabla de datos vistos” un nodo que pueda alcanzar el nodo de reenvío del paquete RREQ actual.
- ❖ Para evitar rutas largas y reemplazar enlaces unidireccionales con solo enlaces de 2 saltos, se selecciona un nodo en función de su ubicación para formar una desigualdad triangular con el nodo actual y el reenvío. En otras palabras, se prefiere la situación en la que la longitud del enlace unidireccional es menor que la suma de las longitudes de otros 2 enlaces (ver figura 3.14), donde  $d_1 < d_2 + d_3$  y  $d_i$  es la distancia entre el par de nodos.

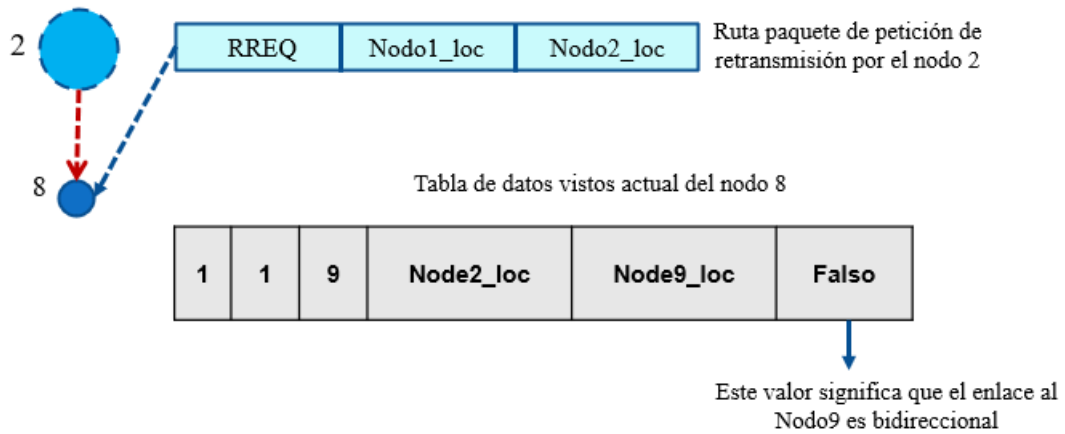


Figura 3. 13: Paquete de solicitud de ruta entrante a través de enlace unidireccional.  
Elaborado por: Autor

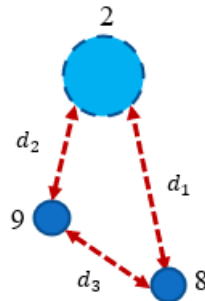


Figura 3. 14: Desigualdad triangular en la distancia entre nodos.  
Elaborado por: Autor

Si se encuentra un registro que satisfaga todas las condiciones anteriores, entonces la "dirección de nodo de reenvío" en la tabla de datos vistos (véase la figura 3.13) se utiliza como el siguiente salto al nodo de reenvío actual del paquete RREQ recibido recientemente. De lo contrario, la información sobre el paquete RREQ y la unidireccionalidad se insertan en la "tabla de datos vistos".

Además, si el paquete RREQ recibido aún no se ha procesado, entonces el paquete se procesará después de que se fije el enlace unidireccional, donde el nodo 9 será la fuente del paquete. Para conservar la memoria del nodo, se elimina cada registro que se ha utilizado para resolver la unidireccionalidad en la "tabla de datos vistos". Por lo tanto, el registro sobre el nodo 9 en la "tabla de datos vistos" se elimina porque ya se ha utilizado para resolver el enlace unidireccional entre el nodo 8 y el nodo 2. En consecuencia, como este

problema se ha resuelto, es ineficiente e innecesario insertar información sobre el nodo 2 en la “tabla de datos vistos”.

**b. Enlace bidireccional:** si el enlace hacia/desde el nodo de reenvío del paquete RREQ recibido recientemente es bidireccional (véase la figura 3.15), entonces la información de este paquete se utiliza para resolver cualquier enlace unidireccional en la “tabla de datos vistos” si:

- ❖ Las condiciones 1 y 4 se cumplen como se describe anteriormente;
- ❖ El valor de ¿es el enlace unidireccional? (ver figura 3.12) es verdadero, lo que significa que el nodo de reenvío tiene un enlace unidireccional al nodo actual; y
- ❖ El valor de la ubicación de last\_loc del registro es la misma que la ubicación del último nodo B en el paquete RREQ recibido. En la figura 3.15, el nodo 8 busca un nodo donde el nodo de reenvío del paquete RREQ actual pueda alcanzarlo mientras que el nodo 8 no puede.

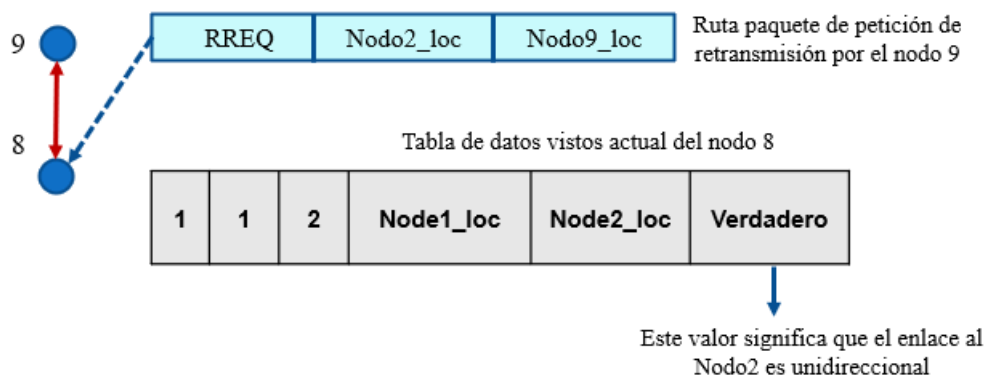


Figura 3. 15: Desigualdad triangular en la distancia entre nodos.  
Elaborado por: Autor

Si se encuentra un registro que satisfaga todas las condiciones anteriores, entonces la dirección del nodo de reenvío actual se utiliza como el próximo salto al nodo de reenvío del paquete grabado. En la figura 3.15, el nodo 9 será el próximo salto al nodo 2. De lo contrario, la información sobre el paquete RREQ y la bidireccionalidad se insertan en la “tabla de datos vistos” que se utiliza para resolver cualquier enlace unidireccional entrante. Para conservar la memoria del nodo, se elimina cada registro de unidireccionalidad que se ha resuelto en la “tabla de datos vistos”. Por lo tanto, el registro sobre el nodo 2 en la “tabla de datos vistos” se elimina. Cada nodo que recibe una



segunda inundación del mismo paquete RREQ eliminará todos los registros sobre la primera inundación en la “tabla de datos vistos”.

### 3.3.2. Modelos de simulación.

El rendimiento de LBU para enlaces unidireccionales se compara con ULE\_NL, lista negra (BlackList) y la estrategia estándar RTS/CTS. En este modelo de simulación los protocolos AODV y OTRP se utilizan como protocolos de enrutamiento. Por ejemplo, el protocolo OTRP, descrito en el capítulo 2, combina la idea del enrutamiento salto por salto, como el protocolo AODV, con un algoritmo de descubrimiento de ruta eficiente llamado inundación optimizada basada en árbol (*Tree-based Optimized Flooding, TOF*) para mejorar la escalabilidad de las redes Ad-hoc cuando no hay conocimiento previo sobre el destino. Estos dos protocolos de enrutamiento se han simulado utilizando la plataforma QualNet 4.5. En la tabla 3.2 se muestran los parámetros de simulación a utilizarse.

Tabla 3. 2: Configuración de los parámetros de simulación para 100 nodos.

Parámetros de simulación	Valor
Tiempo de simulación	200 s
No. de conjunto de pequeños nodos	100
Número de nodos	100 distribuidos aleatoriamente
Área de simulación	1500 x 1500 m <sup>2</sup>
Modelo de movilidad del nodo	Ídem tabla 3.1
Rango de velocidad de los nodos	0-20m/s
Tiempo de pausa	0 s, 50 s, 100 s, 150 s y 200 s
Número de flujos de tráfico	10
Detalles de tráfico	Ídem tabla 3.1
Protocolo MAC	IEEE 802.11b
Potencia de transmisión	15 dBm en MANET's homogéneas, 50% de nodos con 10 dBm y el resto 15 dBm en MANET's heterogéneas

Elaborado por: Autor

La relación de entrega de paquetes (PDR), el retardo de extremo a extremo, la sobrecarga de control normalizada (CON) y la relación de reintento se utilizaron como métricas de rendimiento de cada protocolo. Además, se utilizó un intervalo de confianza del 95% para presentar los datos.

### **3.3.3. Análisis de resultados obtenidos de los enlaces unidireccionales en MANET utilizando estrategias basadas en la ubicación.**

LBU se compara con Blacklist\_CTS/RTS, ULE\_NL y EUDA. Estas estrategias se aplican sobre los protocolos de enrutamiento AODV y OTRP. En las figuras 3.16 a 3.24 se muestran los resultados obtenidos de los modelos de simulación.

El problema de la unidireccionalidad afecta el proceso de encaminamiento de los protocolos de enrutamiento bajo demanda, ya que el nodo de reenvío de solicitud de ruta (RREQ) puede tener enlaces unidireccionales a sus nodos vecinos. En otras palabras, los nodos de retransmisión almacenan información incorrecta sobre el primer salto, que es inalcanzable debido a la unidireccionalidad. En consecuencia, los nodos de origen no recibieron el paquete de respuesta de ruta (RREP) y, por lo tanto, es posible que no se encuentre la ruta. Esto aumentará el número de intentos de descubrimiento de ruta y, en consecuencia, aumenta la relación de reintento.

La estrategia Blacklist\_RTS/CTS con protocolos AODV y OTRP detecta enlaces unidireccionales después de que ocurran y luego evita enlaces unidireccionales sin resolver. Esta estrategia puede funcionar con MANET's homogéneos donde los nodos tienen una potencia de transmisión similar y la ocurrencia de unidireccionalidad es baja. Sin embargo, LBU supera a la estrategia Blacklist\_RTS/CTS en términos de PDR y CON en escenarios de enlaces unidireccionales y bidireccionales, los resultados se muestran en las figuras 3.17, 3.18, 3.21 y 3.22.

Esto se debe a que la estrategia LBU admite a los protocolos AODV y OTRP al filtrar los paquetes RREQ entrantes donde no se procesan todos los

paquetes entrantes. En otras palabras, la información incorrecta sobre los vecinos del primer salto se ignora utilizando LBU. Además, la estrategia LBU proporciona suficiente información de enrutamiento sobre los vecinos de 2 saltos al resolver enlaces unidireccionales.

En MANET's homogéneos donde se supone que existen enlaces bidireccionales entre cualquier par de nodos, LBU resulta ser el más eficiente que Blacklist\_RTS/CTS. El protocolo AODV-LBU aumenta la PDR en aproximadamente un 2%, tal como se muestra en la figura 3.17, mientras que el protocolo OTRP-LBU aumenta la PDR en un 10%, tal como se observa en la figura 3.21).

Aunque las ubicaciones de los últimos dos saltos están unidas al paquete RREQ en LBU, CON se mejora en comparación con Blacklist\_RTS/CTS, tal como se muestra en las figuras 3.18 y 3.22 donde los protocolos AODV-LBU y OTRP-LBU reducen la CON en 0.8 paquetes. Sin embargo, el retardo con LBU es mayor que con Blacklist\_RTS/CTS para ambos protocolos donde el número de enlaces unidireccionales es bajo en una red homogénea, tal como se muestran en las figuras 3.16 y 3.20.

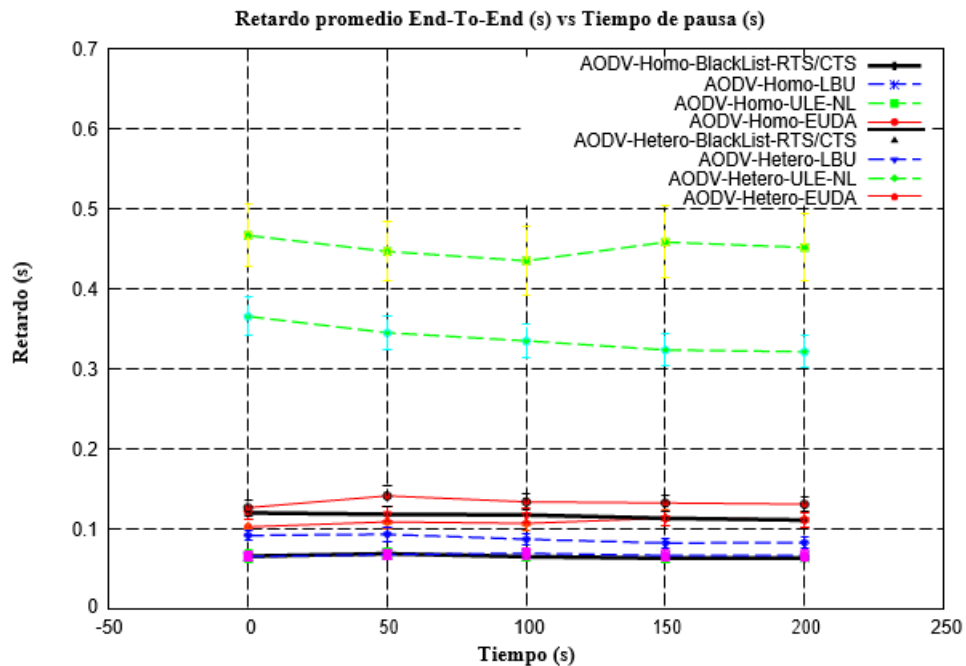


Figura 3. 16: Comparativa del retardo promedio vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.

Elaborado por: Autor

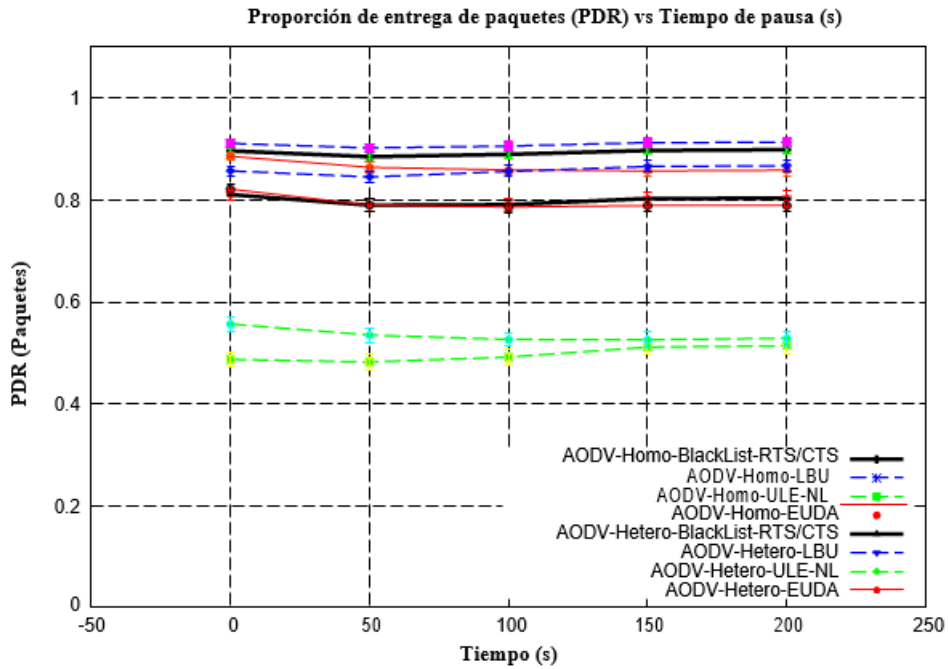


Figura 3. 17: Comparativa de la proporción de entrega de paquetes (PDR) vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.  
Elaborado por: Autor

Esto se debe a que, si existe un enlace unidireccional entre el nodo de reenvío y su retardo, esto reducirá el área de retransmisión, lo que puede aumentar la relación de reintento y, en consecuencia, aumentar el retardo, tal como se muestran en las figuras 3.19 y 3.23. Sin embargo, detectar enlaces unidireccionales y resolverlos de inmediato puede ser una ruta confiable para enrutar datos, lo que explica la mejora en PDR y CON.

En MANET's heterogéneos, existen nodos con diferentes rangos de transmisión. Por lo tanto, se produce un alto porcentaje de enlaces unidireccionales. En ambos protocolos, pero LBU resuelve este problema sin ningún aumento de CON o retardo en comparación con la estrategia Blacklist\_RTS/CTS u otras estrategias, tal como se muestran en las figuras 3.16 a 3.23.

Esto se debe a que LBU detecta y resuelve de inmediato cualquier enlace unidireccional que pueda ocurrir en el primer RREQ RETRIAL, tal como se muestran en las figuras 3.19 y 3.23 en comparación con la estrategia Blacklist, donde se evitan los enlaces unidireccionales y se bloquean algunos

nodos. Por lo tanto, en los protocolos AODV Blacklist\_RTS/CTS y OTRP Blacklist\_RTS/CTS consumen casi 2 y 3 de cada 3 nuevas solicitudes de ruta (RREQ RETRIALS) respectivamente para encontrar rutas bidireccionales para enrutar los datos.

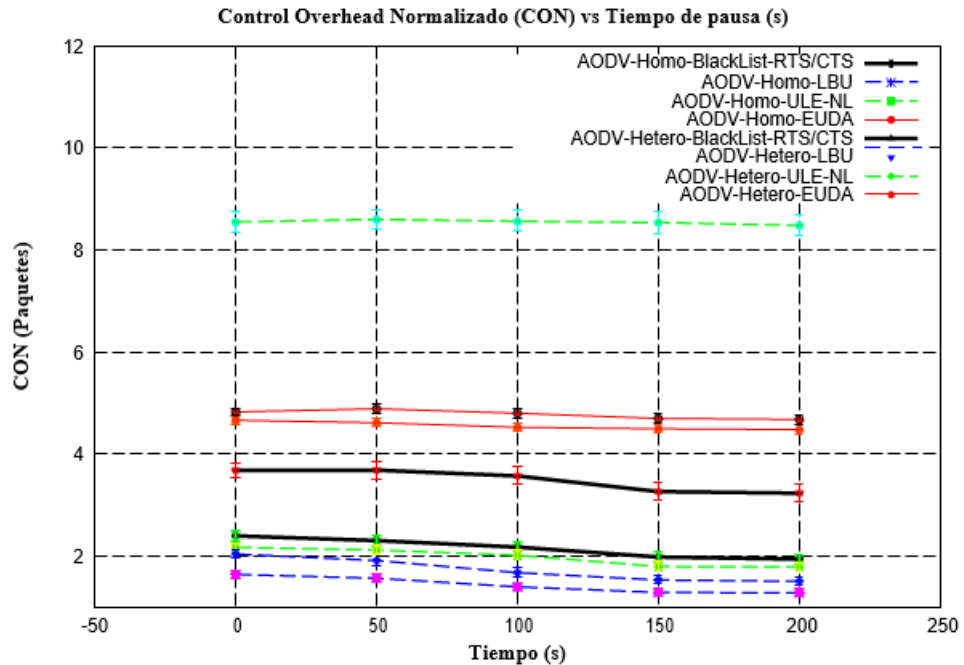


Figura 3. 18: Comparativa del control de overhead normalizado (CON) vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.  
Elaborado por: Autor

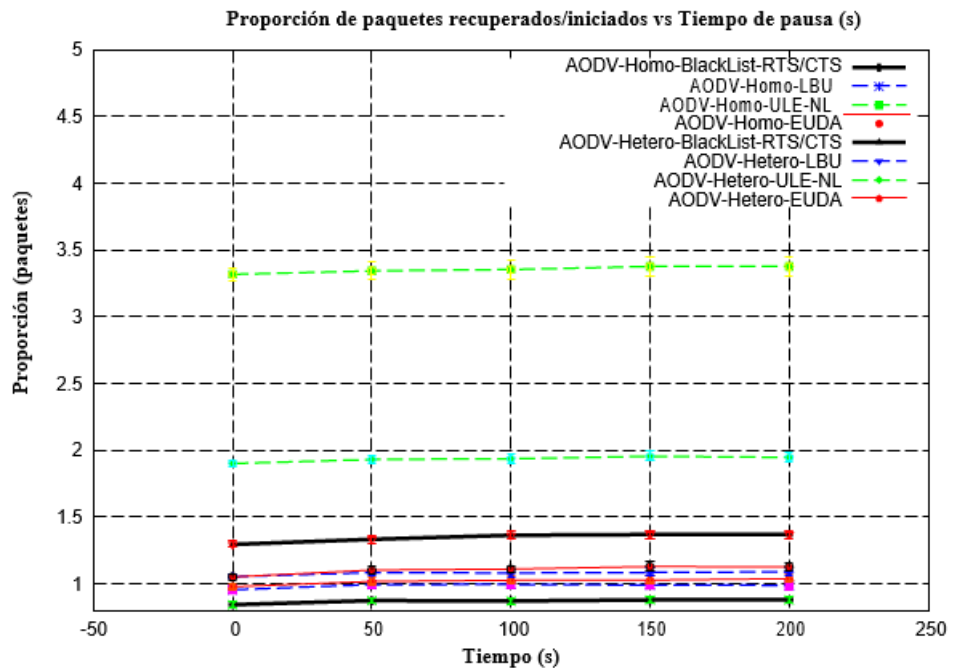


Figura 3. 19: Comparativa de la proporción de paquetes recuperados/iniciados vs tiempo del protocolo AODV con 100 nodos.  
Elaborado por: Autor

Esto aumentará el retardo tal como se muestra en la figura 3.20. A diferencia del protocolo AODV, el número de nodos de retransmisión se reduce en el protocolo OTRP, lo que reduce el área de retransmisión, por lo tanto, OTRP requiere un mayor valor de nuevas solicitudes de ruta (RREQ RETRIAL). Por lo tanto, generalmente el retardo con el protocolo OTRP es visiblemente mayor que el protocolo AODV, pero OTRP-LBU tiene un retardo constante. Como también se utiliza RTS/CTS, Blacklist\_RTS/CTS aumenta el CON en 1.5 y disminuye la PDR en al menos un 6%, tal como se muestra en las figuras 3.17, 3.18, 3.21 y 3.22, respectivamente.

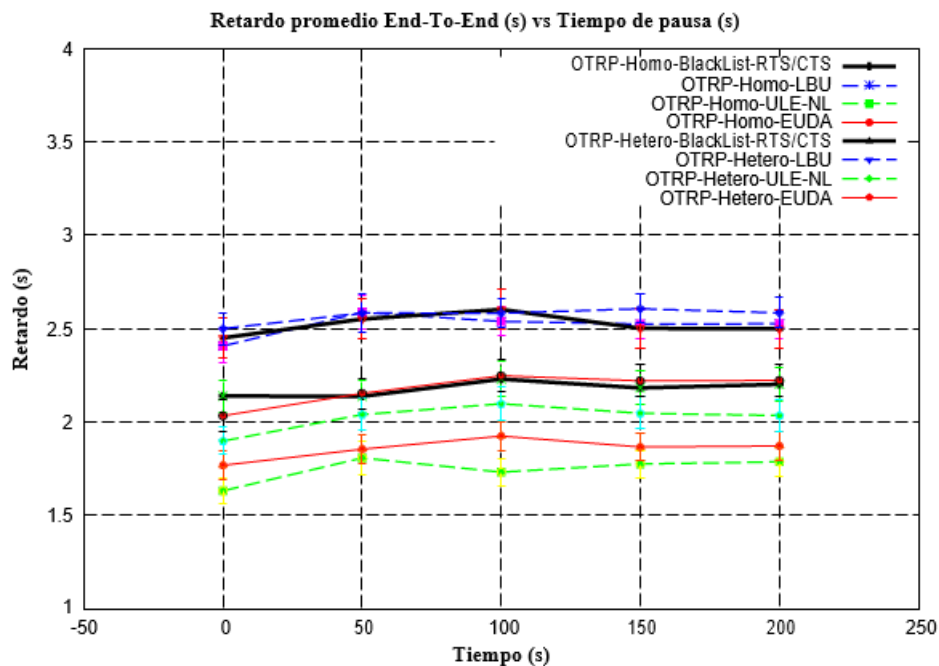


Figura 3. 20: Comparativa del retardo promedio vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos.

Elaborado por: Autor

ULE\_NL se adjunta a los paquetes la solicitud de ruta (RREQ). Si el nodo receptor no está en la lista, se considera que hay un enlace unidireccional desde el nodo de reenvío. En consecuencia, el paquete se descarta. Sin embargo, el nodo de reenvío puede tener un conocimiento insuficiente sobre sus nodos vecinos. Por lo tanto, es incorrecto predecir la unidireccionalidad si el nodo receptor no está en la lista. En la simulación presentada los mensajes de saludo están habilitados para mejorar la estrategia ULE\_NL.

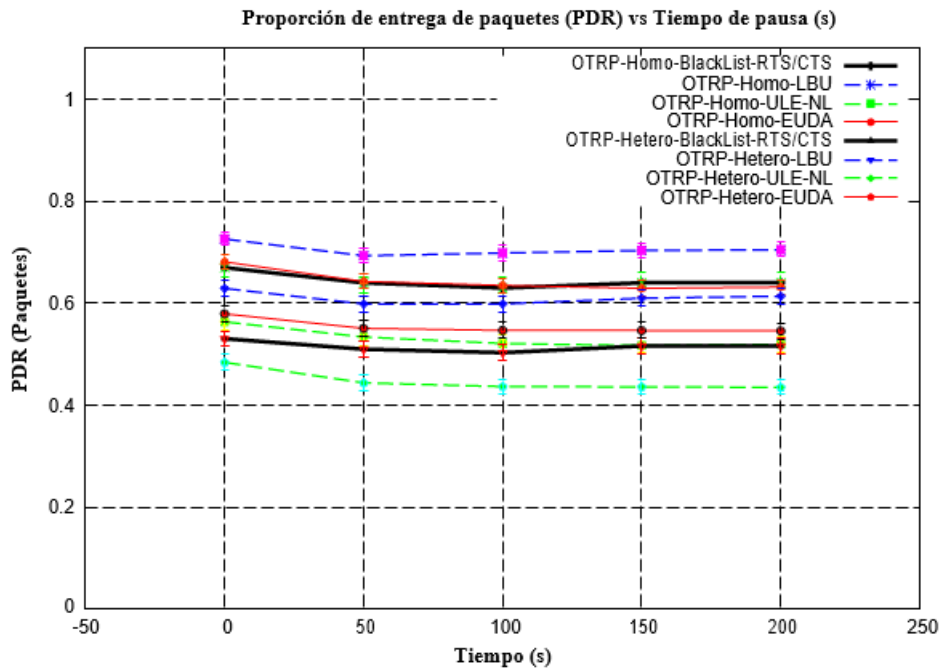


Figura 3. 21: Comparativa de la proporción de entrega de paquetes (PDR) vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos.  
Elaborado por: Autor

Sin embargo, AODV-ULE-NL tiene un bajo rendimiento en comparación con AODV-LBU. AODV-ULE-NL es 30% peor que AODV-LBU, y el retardo y control overhead normalizado (CON) son cuatro veces más altos que AODV-LBU, tal como se muestran en las figuras 3.16 a 3.23.

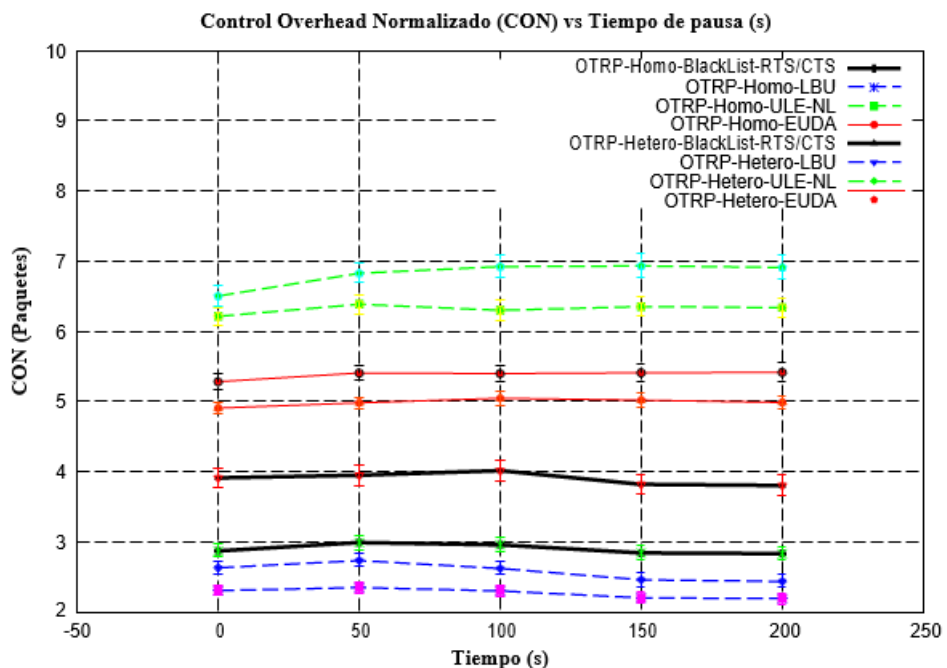


Figura 3. 22: Comparativa del control de overhead normalizado (CON) vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos.  
Elaborado por: Autor

En segundo lugar, debido a la imprecisión inexacta de la unidireccionalidad, ULE-NL se adjunta al paquete de solicitud de ruta (RREQ) con un tamaño arbitrario, lo que puede aumentar significativamente la carga de la red. Esto explica el pobre resultado del protocolo AODV. En el protocolo OTRP, los nodos de retransmisión se seleccionan mediante un nodo de reenvío que depende de las ubicaciones de los nodos. Por lo tanto, la información inexacta que mejora la unidireccionalidad no afecta el rendimiento del protocolo OTRP. Sin embargo, adjuntar la lista de vecinos a solicitud de ruta (RREQ) puede aumentar el control overhead normalizado (CON), lo que degrada las otras métricas de rendimiento, como el retardo y la PDR.

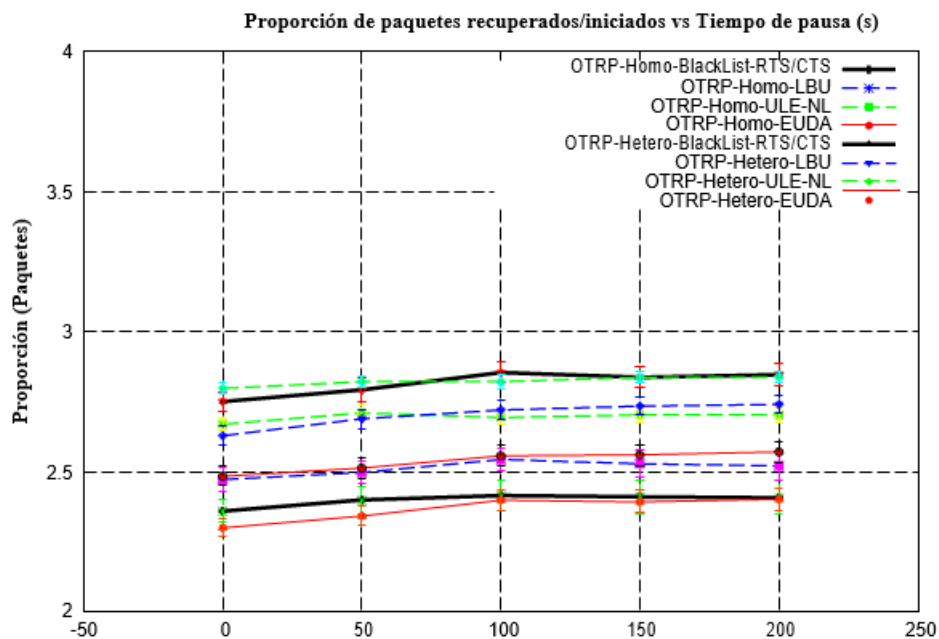


Figura 3. 23: Comparativa de la proporción de paquetes recuperados/iniciados vs tiempo del protocolo OTRP con 100 nodos.

Elaborado por: Autor

LBU supera a EUDA para ambos protocolos en redes heterogéneas y homogéneas, tal como se muestra en las figuras 3.16 a 3.23. Las diferencias significativas entre las dos estrategias en el rendimiento están en el control overhead normalizada (CON), tal como se muestra en las figuras 3.18 y 3.22. Esto se debe a que EUDA evita enlaces unidireccionales en el proceso de enrutamiento y descarta todos los paquetes de solicitud de ruta (RREQ) que se reciben a través de este tipo de enlace. En consecuencia, EUDA necesita más paquetes de control para encontrar una ruta al destino. Aunque LBU toma más tiempo para resolver el problema de unidireccionalidad, esto resulta en



un menor retardo y una PDR más alta, respectivamente, tanto para el protocolo AODV como para el protocolo OTRP.

## Conclusiones

1. A través de los fundamentos teóricos se pudo determinar que una red Ad-hoc móvil (MANET) es una colección de nodos móviles que se comunican entre sí a través de un enlace inalámbrico, ya sea directamente o confiando en otros nodos como enrutadores. Como los nodos se pueden mover de una red a otra, se conocen como redes Ad-hoc móviles o MANET. Los nodos de red en MANET son libres de moverse al azar. La topología de red de MANET puede cambiar dinámicamente sin recurrir a ninguna administración centralizada existente debido a la movilidad de los nodos
2. En las redes ad-hoc móviles (MANET's), la movilidad, el tráfico y la densidad de nodos son las principales condiciones de la red que afectan significativamente el rendimiento de la red. Además, la mayoría de los protocolos de enrutamiento actuales asumen condiciones de red homogéneas donde todos los nodos tienen las mismas capacidades y recursos. En este capítulo, se han llevado a cabo diferentes simulaciones para comparar el rendimiento de diferentes protocolos de enrutamiento en redes homogéneas y heterogéneas.
3. Todos los protocolos simulados se comportan mal en redes heterogéneas, ya que sufren grandes retardos y alcanzan una PDR muy baja. Los protocolos de enrutamiento MANET actuales sufren el problema del enlace unidireccional y los problemas con el aumento de la densidad de nodos. Por lo tanto, los protocolos de enrutamiento actuales para MANET son inadaptables para redes heterogéneas. Se propone LBU para resolver enlaces unidireccionales en MANET. En lugar de descartar el paquete RREQ duplicado, cada paquete RREQ entrante se utiliza para filtrar la información de enrutamiento de los vecinos sujetos a la unidireccionalidad.

## **Recomendaciones**

1. Desplegar modelos de simulación de MANET's y VANET's utilizando diferentes protocolos de enrutamiento y obtener las métricas de rendimiento.
2. Disponer de mayores herramientas de simulación como Qualnet, Riverbed Modeler, NS-2, NS-3, entre otras que van a contribuir en el desarrollo de propuestas para trabajos de titulación de maestría.

## Bibliografía

- Batiste Troyano, A. (2011). *Protocolos de encaminamiento en redes inalámbricas mesh: Un estudio teórico y experimental* [Trabajo Final de Maestría, Universitat Oberta de Catalunya]. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/8164>
- Bernal, M. A., Cortés, W. S., & Leguizamón, M. Á. (2017). MANET: Advantages, challenges and applications for education. *Sistemas & Telemática*, 15(43), 45–63.
- Chamba M., F. V. (2017). *Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc*. [Trabajo de Titulación de Maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8343>
- Eiza, M. H., Ni, Q., Owens, T., & Min, G. (2013). Investigation of routing reliability of vehicular ad hoc networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013(1), 179. <https://doi.org/10.1186/1687-1499-2013-179>
- Gil Martínez, J. L. (2015). *Análisis y estudio de OSPF como protocolo de enrutamiento interno de una red corporativa* [Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/40292/>
- Jamali, S., Rezaei, L., & Gudakahriz, S. J. (2013). An Energy-efficient Routing Protocol for MANETs: A Particle Swarm Optimization Approach. *Journal of Applied Research and Technology*, 11(6), 803–812. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(13\)71586-4](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(13)71586-4)
- Kothari C. R. (2008). *Research methodology Methods 7 technioques*. New Age International Ltd.

- López Sarmiento, D. A., Salcedo Parra, O. J., & Rivas Trujillo, E. (2014). DESEMPEÑO DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO MESH. *Redes de Ingeniería*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.14483/2248762X.5930>
- Ludeña-González, P., Torres, R., Quiñónez, M., & Cueva, S. (2017). Overhead impact on ad hoc mobile networks. *Enfoque UTE*, 8(4), 16–26. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n4.169>
- Manickam, P., Guru Baskar, T., Girija, M., & Manimegalai, D. (2011). Performance Comparisons of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 3(1), 98–106. <https://doi.org/10.5121/ijwmn.2011.3109>
- Mathias, M. R., D'Souza, R. R., H, S. B., Colaco, S. J., & Tantry, R. (2017). Improving TORA Protocol using Ant Colony Optimization Algorithm. *Advances in Computing*, 7(2), 51–57.
- Plaza G., D. A., Flores M., M. J., Benavides C., L. E., & Benavides A., C. J. (2018). Implementación de una aplicación móvil en un entorno Ad-hoc para el intercambio de información. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 5(5), 1–25.
- Rey, L. C., Quiñones, T. O. L., & García, W. B. (2014). Protocolos de enrutamiento aplicables a redes MANET. *Telemática Magazine*, 13(3), 59–74.
- Rezaei, L., Jamali, S., & Jahanbakhsh Gudakahriz, S. (2012). An Intelligent Energy-aware Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Networks. *Computer Science and Engineering*, 2(3), 9–12. <https://doi.org/10.5923/j.computer.20120203.01>
- Rocabado Moreno, S. H. (2013). *Caso de estudio de comunicaciones seguras sobre redes móviles ad hoc* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/33571>

Shastri, D., & Lala, A. (2017). Comparison of AODV, DSR and DSDV on Different Simulators for QoS Parameters. *International Journal of Science and Research*, 6(1), 1029–1033.

Singh, S. B., & Ambhaikar, A. (2012). Optimization of Routing Protocol in MANET using GA. *International Journal of Science and Research*, 1(2), 23–26.

Vega G., E. (2014). *Desarrollo de protocolo de enrutamiento híbrido basado en zonas para redes MANET* [Proyecto Fin de Máster, Universidad de Sevilla]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70542>

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sandoval Salguero, Rafael Fernando** con C.C: # 091476903-9 autor del trabajo de titulación: Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas, 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 agosto del 2020



Nombre: **Sandoval Salguero, Rafael Fernando**

C.C: 091476903-9

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes Ad-hoc móviles heterogéneas y homogéneas		
<b>AUTOR(ES)</b>	Sandoval Salguero, Rafael Fernando		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor / M. Sc. 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>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	Guayaquil, 24 de agosto del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	62
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes inalámbricas, sistemas de comunicaciones		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Redes, Protocolos, Enrutamiento, Móvil, Proactivo, Reactivo.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>En el presente documento se presenta el trabajo de examen complejo para obtener el grado académico de Magister en Telecomunicaciones. El trabajo desarrollado fue orientado al modelo de redes ad-hoc móviles (MANET's) mediante el análisis comparativo de protocolos de enrutamiento utilizando herramientas de simulación. En el Capítulo 1, se explica las generalidades del proyecto, tales como, los antecedentes, definición y justificación del trabajo, así como del objetivo general y objetivos específicos, y finalmente, se describe brevemente la metodología de investigación utilizada. En el capítulo 2, se revisa el estado del arte de las redes ad-hoc móviles, así como de los protocolos de enrutamiento. En el capítulo 3, se realiza las explicaciones de los parámetros que se consideran en las simulaciones de los escenarios propuestos y posteriormente, se ejecutan. Después, se analizan los datos obtenidos para comparar las métricas de rendimiento (retardo de extremo a extremo, proporción de entrega de paquetes y control overhead normalizado) en MANET's.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0990536082	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:rafael.sandoval@gmail.com">rafael.sandoval@gmail.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> manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
<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>			