



**UNIVERSIDAD CATÓLICA 7
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles
inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la
plataforma Opnet**

AUTOR:

Estrada Ordoñez, Erick Fabricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

11 de Septiembre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Estrada Ordoñez, Erick Fabricio como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

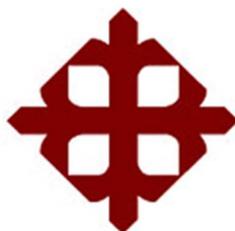
TUTOR

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Estrada Ordoñez, Erick Fabricio**

DECLARÓ QUE:

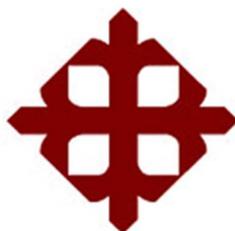
El trabajo de titulación “**Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

ESTRADA ORDOÑEZ, ERICK FABRICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Estrada Ordoñez, Erick Fabricio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

ESTRADA ORDOÑEZ, ERICK FABRICIO

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a sidebar contains document metadata: **Documento** (Estrada Erick Final.docx, ID: D41059101), **Presentado** (2018-08-30 18:25), **Presentado por** (fernandopm23@hotmail.com), **Recibido** (edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com), and **Mensaje** (Revisión Erick Estrada, with a link to 'Mostrar el mensaje completo'). The message content states: '2% de estas 35 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' table lists four sources with their categories and URLs. At the bottom, a toolbar includes icons for navigation and actions like 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. A notification in the bottom right corner says '0 Adverten'.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstre...
	http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream...
	Tesis.docx
	Tesis_Evaluacion_Redес_Manets_Mon...
	http://upcommons.upc.edu/handle/2...

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

TEMA: Desarrollo de escenarios de simulación de redes
ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes
protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet

AUTOR: Estrada Ordoñez, Erick Fabricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título
de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de nuestra distancia, sé que este momento hubiera sido tan especial para él como lo es para mí. A todos mis hermanos por siempre demostrarme su apoyo y ayuda en todo momento, porque gracias a su ayuda he logrado culminar mis estudios universitarios. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

EL AUTOR

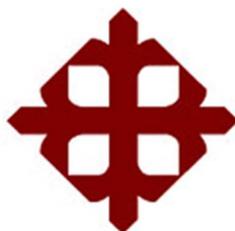
ESTRADA ORDOÑEZ, ERICK FABRICIO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre: Emperatriz, por ser la principal promotora de mis sueños, por confiar y creer en mí. Agradezco a todos mis hermanos, por sus consejos y valores que me han inculcado permitiéndome ser mejor persona y ser humano. Agradezco a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por ser sede del conocimiento adquirido en estos años. A todos los docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, amistad y apoyo a lo largo de toda mi trayectoria como estudiante.

EL AUTOR

ESTRADA ORDOÑEZ, ERICK FABRICIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. SC. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____

M. SC. ZAMORA CEDEÑO, NÉSTOR ARMANDO
COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

M. SC. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIV
Resumen	XVI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Definición del Problema.....	4
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
CAPÍTULO 2: REDES AD-HOC Y SUS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO	6
2.1. Descripción general.....	6
2.2.1. Concepción de MANET.	6
2.2.1. Características de MANET.	6
2.2.2. Aplicaciones.....	7
2.2.3. Problemas de rendimiento del protocolo de enrutamiento.....	8
2.2.4. Estructura de red ad-hoc.	10
2.3. Introducción de protocolos de enrutamiento ad-hoc.....	11
2.4. Protocolo de enrutamiento AODV	13
2.4.1. Algoritmo AODV	13
2.4.2. Terminología AODV.....	14
2.4.3. Formato de mensaje.....	15

2.4.4. Operaciones.	18
2.5. Protocolo de enrutamiento DSR.....	20
2.5.1. Descubrimiento de enrutamiento o ruta.....	21
2.5.2. Mantenimiento de enrutamiento o ruta.....	22
2.6. Protocolo de enrutamiento TORA.	23
CAPÍTULO 3: MODELADO DE MANET EN OPNET, SIMULACIÓN Y RESULTADOS	25
3.1. Métricas de rendimiento.	25
3.2. Modelado de MANETs en OPNET y configuración de simulación.	26
3.3. Simulación con diferentes escenarios de red ad-hoc y resultados.....	35
3.3.1. Investigación de diferente número de nodos.	35
3.3.2. Investigación de diferentes tamaños de archivos.	41
3.3.3. Investigación de diferentes velocidades de nodo	51
3.4. Resultados de simulación y discusiones	58
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
4.1. Conclusiones.....	61
4.2. Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: La red móvil ad-hoc de la izquierda se construye a sí misma según sea necesario.....	11
Figura 2. 2: Categorización de protocolos de enrutamiento ad-hoc.....	12
Figura 2. 3: Formato de mensaje RREQ.....	16
Figura 2. 4: Formato de mensaje RREP	17
Figura 2. 5: Formato de mensaje RERR.....	17
Figura 2. 6: Descubrimiento de ruta AODV.....	18
Figura 2. 7: Protocolo de descubrimiento de enrutamiento o ruta (DSR).....	22
Figura 2. 8: Establecer un grafo acíclico dirigido (DAG).	23

Capítulo 3

Figura 3. 1: Revisión del asistente de inicio.....	27
Figura 3. 2: Atributo de configuración de la aplicación.....	28
Figura 3. 3: Administrador de ejecución de simulación de eventos discretos (Discrete Event Simulation, DES).	29
Figura 3. 4: Atributo de configuración de perfil.....	30
Figura 3. 5: Atributos de configuración de movilidad	31
Figura 3. 6: Atributo de estación de trabajo LAN inalámbrica	32
Figura 3. 7: Implementar la configuración de la aplicación	34
Figura 3. 8: Retardo promedio de extremo a extremo versus número de nodos con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.	37
Figura 3. 9: Retardo promedio de extremo a extremo versus número de nodos con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s con protocolo TORA.	38
Figura 3. 10: Carga de red promedio en comparación con la cantidad de nodos con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad máxima de nodo de 5 m / s	38
Figura 3. 11: Rendimiento medio frente a la cantidad de nodos con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	39

Figura 3. 12: Retardo promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo diferente con 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	42
Figura 3. 13: Retardo promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo diferente con 40 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	42
Figura 3. 14: Carga media de la red frente a un tamaño de archivo diferente con 40 nodos y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	43
Figura 3. 15: Carga de red promedio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m / s.....	44
Figura 3. 16: Carga de red promedio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.....	44
Figura 3. 17: Rendimiento medio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	45
Figura 3. 18: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo para AODV con una velocidad de nodo máxima de 5 m / s.....	47
Figura 3. 19: Retraso promedio de extremo a extremo frente a tamaño de archivo para OLSR con velocidad de nodo máxima de 5 m / s.....	47
Figura 3. 20: Carga media de la red frente a tamaño de archivo para AODV con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	48
Figura 3. 21: Carga de red promedio frente a tamaño de archivo para OLSR con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	48
Figura 3. 22: Carga de red media frente al tamaño de archivo para TORA con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	49
Figura 3. 23: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo para AODV con una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.....	50
Figura 3. 24: Rendimiento promedio frente a tamaño de archivo para OLSR con una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.....	50
Figura 3. 25: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo para TORA con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.....	51
Figura 3. 26: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para el protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo.....	52
Figura 3. 27: Carga de red promedio frente a tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo.....	52

Figura 3. 28: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para el protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo.....	53
Figura 3. 29: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo.....	54
Figura 3. 30: Carga de red promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo.....	55
Figura 3. 31: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo.....	55
Figura 3. 32: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo.....	56
Figura 3. 33: Carga de red promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo.....	57
Figura 3. 34: Rendimiento medio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo.....	57

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1 Atributos generales para el escenario 1	36
Tabla 3. 2 Atributos de movilidad para el escenario 1	36
Tabla 3. 3 Atributos de configuración de la aplicación para el escenario 1..	36
Tabla 3. 4 Atributos de configuración de perfil para el escenario 1.....	36
Tabla 3. 5: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con un tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.	37
Tabla 3. 6: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con un tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s con el protocolo TORA.	37
Tabla 3. 7: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.	38
Tabla 3. 8: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.....	39
Tabla 3. 9 Atributos generales para el segundo escenario.....	41
Tabla 3. 10: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.	41
Tabla 3. 11: Resultados de simulación de un retraso promedio de extremo a extremo en ms con 40 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s...	42
Tabla 3. 12: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima de nodo 5 m/s.	43
Tabla 3. 13: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 100 nodos y velocidad máxima de nodo 5 m/s.	43
Tabla 3. 14: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima del nodo 5 m/s.	44
Tabla 3. 15: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima del nodo 5 m/s.	45
Tabla 3. 16: Resultados de simulación de un retraso promedio de extremo a extremo en ms con 40 y 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.	47

Tabla 3. 17: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 40 y 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s	48
Tabla 3. 18: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 y 100 nodos con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.	49
Tabla 3. 19: Resultados de rendimiento AODV para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo.	51
Tabla 3. 20: Resultados de rendimiento de OLSR para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo	54
Tabla 3. 21: Resultados de rendimiento de TORA para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo.	56

Resumen

El presente trabajo de titulación se denomina “Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet”. El trabajo se desarrolló a través de una investigación empírica analítica con enfoque cuantitativo, en el capítulo 1 se describió el problema a investigar, los antecedentes, la justificación del problema, demás temas que justifiquen el presente trabajo. En el capítulo 2, se describe las bases fundamentales de la teoría de las comunicaciones inalámbricas específicamente la topología ad-hoc móvil y sus respectivos protocolos de enrutamiento. En el capítulo 3, se desarrollan los diferentes escenarios de simulación con variantes en los protocolos de enrutamiento, tales como AODV, OLSR y TORA. Cada escenario evaluó las métricas del rendimiento de la red ad-hoc móvil utilizando el software de simulación Opnet Modeler. Finalmente, se presentan las conclusiones de los escenarios de simulación de MANET y las recomendaciones que se realizan para el desarrollo de futuros trabajos a investigar.

Palabras claves: REDES, AD-HOC. MÓVIL, PROTOCOLOS, ENRUTAMIENTO, TORA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Para Muralidhar & Madhavi, (2017) la red móvil ad-hoc (MANET) es una red inalámbrica ad-hoc que incluye una colección de nodos móviles a veces llamados móviles conectados por enlaces inalámbricos. Los nodos en un MANET tienen recursos limitados y un rango de transmisión restringido.

De manera similar, Lee, Park, & Shah, (2017) manifiesta que una red móvil ad-hoc es una red inalámbrica de dispositivos móviles que se comunican entre sí sin ninguna infraestructura de red fija. Las redes ad-hoc móviles existentes están basadas en el estándar IEEE 802.11 a o b. Ambos estándares proporcionan un ancho de banda limitado y, por lo tanto, no son adecuados para aplicaciones intensivas de datos como la videovigilancia automatizada.

Con la proliferación de plataformas móviles (es decir, teléfonos inteligentes, tabletas, etc.), ha sido posible crear redes móviles ad-hoc entre dichas máquinas. Al igual que en muchas otras redes, técnicamente es posible transmitir a través de estas redes muchos tipos de datos (voz, video y similares). (Lahav & Stulman, 2013)

En el paradigma de redes móviles ad hoc, no hay una infraestructura fija y los paquetes se entregan a sus destinos a través de la conectividad inalámbrica multisalto. Los nodos a menudo actúan no solo como hosts sino también como enrutadores, retransmitiendo el tráfico por otros nodos. La topología de una red móvil ad hoc puede cambiar porque los nodos pueden no ser corregidos o, igualmente, pueden fallar. (Fazeli & Vaziri, 2011)

1.2. Antecedentes.

A continuación, se describen algunos trabajos publicados en revistas y que están relacionados con el tema de titulación:

- 1) Kulla et al., (2013) realiza su artículo "Investigación del rendimiento de AODV teniendo en cuenta los paquetes RREQ, RREP y RERR".

En este artículo, se analiza el rendimiento de una MANET mediante simulaciones, en términos de RREQ, RREP y RERR, considerando el modelo Random Waypoint Mobility (RWM). En el que consideran los casos en que todos los nodos se mueven y los nodos de origen y destino son estáticos. También, evaluaron el desempeño mediante métricas del rendimiento y los paquetes de control AODV.

- 2) Dou, Wang, & Li, (2018) realiza su artículo “Direccionamiento basado en coordenadas para MANET”. Este documento propone una solución de direccionamiento basada en coordenadas para una red móvil ad hoc, y tiene como objetivo configurar cada nodo con una dirección única y reducir el costo de direccionamiento y la latencia. Esta solución configura todos los nodos con direcciones únicas a través de un proceso de inicialización de direcciones y garantiza la singularidad de la dirección en una red combinada o dividida a través de la actualización de direcciones. Finalmente, esta solución se analiza y evalúa, y los resultados de los datos muestran que esta solución reduce efectivamente el costo de direccionamiento y la latencia.
- 3) Pan, (2014) realiza su artículo “Una estrategia de optimización para el protocolo DSR”. Este documento propone un protocolo DSR mejorado que adopta el acortamiento adaptativo del enrutamiento a través de la introducción de parámetros de tiempo después de analizar la selección de ruta, la estrategia del buffer y sus limitaciones. La nueva estrategia no solo mejora la calidad de la ruta del búfer, sino que también aprovecha al máximo su espacio. La simulación muestra que este protocolo mejorado tiene un rendimiento distinto después de la optimización.
- 4) Sharma & Kumar, (2016) realiza su artículo “Comparación de rendimiento y estudio detallado de los protocolos de enrutamiento AODV, DSDV, DSR, TORA y OLSR en redes ad-hoc”. En el artículo han propuesto muchos protocolos de enrutamiento como OLSR, DSDV, DSR, AODV y TORA hasta el momento para mejorar el rendimiento de enrutamiento, por lo tanto, estos protocolos de enrutamiento se estudian en profundidad y se simulan utilizando NS-

2. Los resultados de simulación y comparativas presentaron brevemente el impacto del tamaño de la red, la proporción de entrega de paquetes, la demora promedio y el rendimiento promedio.

1.3. Definición del Problema.

Las redes ad-hoc móviles inalámbricas (MANET) son de gran utilidad para analizar el comportamiento de la red utilizando protocolos de enrutamientos. Por lo tanto, surge la necesidad de realizar escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento (AODV, OLSR y TORA) sobre la plataforma Opnet.

1.4. Justificación del Problema.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricas utilizan diferentes topologías, entre las más destacada se encuentran las redes ad-hoc móviles ya que no requieren de infraestructura. La mayoría de los trabajos relacionados con MANETs estaban implementados a través de modelados de redes con diferentes herramientas de simulación. La propuesta del trabajo de titulación se basa en simular una MANET mediante protocolos de enrutamiento utilizando el software Opnet Modeler.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Desarrollar escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de las redes inalámbricas ad-hoc y de los protocolos de enrutamiento.
- Diseñar los escenarios de simulación de una red inalámbrica ad-hoc móvil con variantes de parámetros para obtención de métricas de rendimiento.

- Evaluar los resultados obtenidos para los tres protocolos de enrutamiento escogidos (AODV, OLSR y TORA) utilizados en una MANET.

1.6. Hipótesis.

El propósito del trabajo de titulación es el desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento (proactivos, dinámicos e híbrido) con la finalidad de demostrar la funcionalidad de la herramienta de simulación Opnet Modeler.

1.7. Metodología de Investigación.

En un proceso de investigación debe explicarse detalladamente los principios metodológicos y métodos a utilizar. En esta sección, se incluye, por lo tanto, toda la explicación y fundamentación en lo que se refiere a las opciones metodológicas y al proceso seguido en la simulación. Primeramente, se describe sobre cuestiones metodológicas para fundamentar la estrategia de investigación escogida. Para el capítulo 2, se hace una caracterización del contexto del estudio y en el tercer capítulo se emplea la técnica de modelamiento que se enfoca en una investigación empírica.

CAPÍTULO 2: REDES AD-HOC Y SUS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

2.1. Descripción general

2.2.1. Concepción de MANET.

Ad-hoc es una frase latina que significa "para este propósito". Por lo general, significa una solución diseñada para un problema o tarea específica. La red ad-hoc móvil, conocida como MANET por IETF, es una colección autónoma de usuarios móviles que se comunican a través de enlaces inalámbricos de ancho de banda relativamente restringido. Como los nodos son móviles, la topología de la red puede cambiar rápidamente e impredeciblemente con el tiempo.

La red está descentralizada, donde todas las actividades de la red, incluido el descubrimiento de la topología y la entrega de mensajes, deben ser ejecutadas por los propios nodos, es decir, la funcionalidad de enrutamiento se incorporará en los nodos móviles. (Shahapurkar, 2018)

2.2.1. Características de MANET.

Una MANET consiste en múltiples nodos libres que pueden moverse de forma arbitraria. Es posible que los nodos se encuentren en o en transportes, incluidos aviones, barcos, camiones, automóviles, quizás incluso en personas o dispositivos muy pequeños, y puede haber varios hosts por enrutador. Una MANET es un sistema autónomo de nodos móviles que puede funcionar de forma aislada o puede tener puertas de enlace e interconexión con una red fija.

MANET tiene varias características notables:

1. **Topologías dinámicas:** los nodos son libres de moverse aleatoriamente; por lo tanto, la topología de red que es típicamente multihop (salto múltiple), puede cambiar de forma aleatoria y rápida en momentos impredecibles, y puede consistir en enlaces bidireccionales y unidireccionales.

2. **Operación con energía limitada:** algunos o todos los nodos en una MANET pueden depender de baterías u otros medios agotables para su energía. Para estos nodos, los criterios de diseño del sistema más importantes para la optimización pueden ser la conservación de la energía.
3. **Enlaces con capacidad de ancho de banda y capacidad variable:** los enlaces inalámbricos tendrán una capacidad significativamente menor que sus contrapartes cableados. Además, después de tener en cuenta los efectos de las condiciones de acceso múltiple, desvanecimiento, ruido e interferencia, el rendimiento obtenido de las comunicaciones inalámbricas suele ser mucho menor que la velocidad de transmisión máxima de una radio.
4. **Seguridad física limitada:** las redes inalámbricas móviles generalmente son más propensas a las amenazas de seguridad física que las redes de cable fijo. Es necesario considerar cuidadosamente la posibilidad incrementada de espionaje, suplantación y ataques de denegación de servicio. Las técnicas de seguridad de enlaces existentes a menudo se aplican dentro de redes inalámbricas para reducir las amenazas a la seguridad. Como beneficio, la naturaleza descentralizada del control de red en MANETs proporciona robustez adicional contra los puntos únicos de falla de enfoques más centralizados.

Estas características crean un conjunto de suposiciones subyacentes y preocupaciones de rendimiento para el diseño del protocolo que se distinguen de aquellas que guían el diseño del enrutamiento dentro de la topología de alta velocidad y semiestática de la Internet fija. (Jagadev, Kumar Pattanayak, Singh, & Sahoo, 2018)

2.2.2. Aplicaciones.

Las redes ad-hoc son adecuadas para su uso en situaciones donde una infraestructura no está disponible o para desplegar una, aunque no es rentable. Uno de los muchos usos posibles de las redes móviles ad-hoc es en algunos entornos empresariales, donde la necesidad de informática colaborativa puede ser más importante fuera del entorno de oficina que en el

interior, como en una reunión de negocios fuera de la oficina para informar a los clientes sobre una tarea determinada. (Sati & El-bareg, 2018)

Una red ad-hoc móvil también se puede utilizar para proporcionar aplicaciones de servicios de gestión de riesgos, como en la recuperación de desastres, donde se destruye toda la infraestructura de comunicación y la recuperación rápida de la comunicación es crucial. Al usar una red ad-hoc móvil, una infraestructura podría configurarse en horas en lugar de semanas, como se requiere en el caso de la comunicación por línea cableada. (Jagadev et al., 2018)

Otro ejemplo de aplicación de una red ad-hoc móvil es Bluetooth, que está diseñado para admitir una red de área personal al eliminar la necesidad de cables entre varios dispositivos, como impresoras y asistentes digitales personales. El famoso protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi también es compatible con un sistema de red ad-hoc en ausencia de un punto de acceso inalámbrico.

2.2.3. Problemas de rendimiento del protocolo de enrutamiento.

Los protocolos de enrutamiento de MANET deben cumplir ciertos requisitos de calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*). La siguiente es una lista de propiedades cualitativas deseables de los protocolos de enrutamiento MANET:

1. **Libertad de bucle:** No se requiere a la luz de determinadas medidas cuantitativas, pero generalmente es deseable para evitar problemas tales como fenómenos de peor caso, por ejemplo, una pequeña fracción de paquetes girando en la red durante períodos de tiempo arbitrarios. Las soluciones ad-hoc, como los valores de TTL, pueden resolver el problema, pero generalmente se necesita un enfoque más estructurado y bien formado, ya que generalmente brinda un mejor rendimiento general.
2. **Operación distribuida:** esta es una propiedad esencial de MANET que el protocolo debe poseer.
3. **Operación proactiva:** esta es la otra cara de la operación basada en la demanda. En ciertos contextos, la incursión en la demanda adicional

basada en la demanda puede ser inaceptable. Si el ancho de banda y los recursos energéticos lo permiten, es deseable una operación proactiva en estos contextos.

4. **Operación basada en la demanda:** en lugar de asumir una distribución de tráfico uniforme dentro de la red (y mantener el enrutamiento entre todos los nodos en todo momento), el algoritmo de enrutamiento se adapta al patrón de tráfico en función de la demanda o la necesidad. Si esto se hace de forma inteligente, puede utilizar la energía de red y los recursos de ancho de banda de manera más eficiente, a costa de una mayor demora en el descubrimiento de rutas.
5. **Soporte de enlace unidireccional:** los enlaces bidireccionales se suelen suponer en el diseño de algoritmos de enrutamiento, y muchos algoritmos son incapaces de funcionar correctamente sobre enlaces unidireccionales. Sin embargo, los enlaces unidireccionales pueden ocurrir y ocurren en redes inalámbricas. A menudo, existe un número suficiente de enlaces dúplex, por lo que el uso de enlaces unidireccionales tiene un valor añadido limitado. Sin embargo, en situaciones donde un par de enlaces unidireccionales (en direcciones opuestas) forman la única conexión bidireccional entre dos regiones ad hoc, la capacidad de hacer uso de ellos es valiosa.
6. **Seguridad:** sin alguna forma de seguridad a nivel de red o capa de enlace, un protocolo de enrutamiento MANET es vulnerable a muchas formas de ataque. Puede ser relativamente simple fisgonear transmisiones de reproducción de tráfico de red, manipular encabezados de paquetes y redirigir mensajes de enrutamiento dentro de una red inalámbrica sin las provisiones de seguridad apropiadas. Si bien estas preocupaciones existen dentro de las infraestructuras cableadas y los protocolos de enrutamiento, mantener la seguridad "física" de los medios de transmisión es más difícil en la práctica con los MANET. Se desea una protección de seguridad suficiente para prohibir la interrupción de la modificación del funcionamiento del protocolo. Esto puede ser algo ortogonal a cualquier enfoque de protocolo de enrutamiento particular, p. mediante la aplicación de técnicas de seguridad IP.

7. **Operación de período "de reposo"**: como resultado de la conservación de energía, o de alguna otra necesidad de estar inactivo, los nodos de un MANET pueden dejar de transmitir y / o recibir (incluso recibir requiere energía) durante períodos de tiempo arbitrarios. Un protocolo de enrutamiento debería ser capaz de acomodar dichos periodos de sueño sin consecuencias excesivamente adversas. Esta propiedad puede requerir un acoplamiento cercano con el protocolo de capa de enlace a través de una interfaz estandarizada.

La siguiente es una lista de métricas cuantitativas que se pueden usar para evaluar el rendimiento de cualquier protocolo de enrutamiento.

1. Tiempo de adquisición de ruta: es el tiempo requerido para establecer la ruta cuando se solicita y generalmente se usa para protocolos de enrutamiento bajo demanda.
2. Rendimiento y retardo de datos de extremo a extremo: las medidas estadísticas del rendimiento del enrutamiento de datos (por ejemplo, medias, variaciones, distribuciones) son importantes ya que se pueden usar como medidas de la efectividad de una política de enrutamiento.
3. Eficiencia: para lograr un determinado nivel de rendimiento de enrutamiento de datos, dos políticas diferentes pueden gastar diferentes cantidades de gastos generales, dependiendo de su eficiencia interna. La eficacia del protocolo puede o no afectar directamente el rendimiento del enrutamiento de datos. Si el control y el tráfico de datos deben compartir el mismo canal y la capacidad del canal es limitada, el tráfico de control excesivo a menudo afecta el rendimiento del enrutamiento de datos.
4. Porcentaje de entrega fuera de orden: una medida externa del rendimiento de enrutamiento sin conexión de particular interés para los protocolos de capa de transporte, como TCP, que prefieren la entrega en orden.

2.2.4. Estructura de red ad-hoc.

Una red móvil ad-hoc es una colección de dispositivos móviles equipados con un transmisor y un receptor, conectados en ausencia de una

infraestructura fija. Una red móvil ad-hoc se define con características tales como específicas del propósito, autónomas y dinámicas. En comparación con las redes inalámbricas fijas, no existe una relación maestro-esclavo en una red móvil ad-hoc. Los nodos dependen el uno del otro para la comunicación establecida, por lo tanto, cada nodo actúa como un enrutador. Por lo tanto, en una red ad-hoc móvil, un paquete puede viajar de una fuente a un destino directamente o a través de un conjunto de nodos intermedios de reenvío de paquetes. El control y la gestión de una red móvil ad-hoc se distribuye entre los nodos participantes.

Cada nodo es responsable de reenviar paquetes a otros nodos en las redes. Los nodos también se colaboran para implementar funciones de rutina de red, como la seguridad. Los nodos en una red móvil ad-hoc son altamente móviles lo que hace que la topología de la red cambie rápidamente e impredeciblemente, como se puede ver en la figura 2.1.

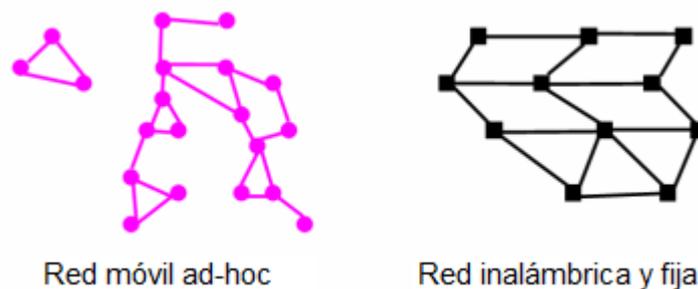


Figura 2. 1: La red móvil ad-hoc de la izquierda se construye a sí misma según sea necesario.

Fuente: (Vásquez R., 2017)

2.3. Introducción de protocolos de enrutamiento ad-hoc.

Los protocolos de enrutamiento de la red ad-hoc móvil tienden a necesitar enfoques diferentes de los protocolos de Internet existentes, ya que la mayoría de los protocolos de Internet existentes se diseñaron para admitir el enrutamiento en una red con estructura fija. Los protocolos de enrutamiento ad-hoc existentes se pueden dividir en dos tipos: protocolos basados en tablas y protocolos de enrutamiento bajo demanda (véase la figura 2.2).

- **Protocolos basados en tablas**

Los protocolos basados en tablas son una de las formas antiguas de adquirir enrutamiento en redes móviles ad-hoc. Estos protocolos mantienen

una visión general coherente de la red. Cada nodo usa tablas de enrutamiento para almacenar la información de ubicación de otros nodos en la red. Esta información se usa para transferir datos entre varios nodos de la red.

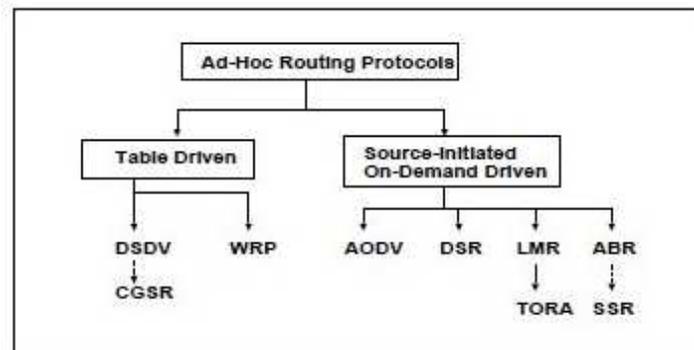


Figura 2. 2: Categorización de protocolos de enrutamiento ad-hoc.
Fuente: (Chamba M., 2017)

Para garantizar la frescura de las tablas de enrutamiento, estos protocolos adoptan diferentes métodos. Uno de los métodos adoptados es transmitir "hola", un mensaje especial que contiene información de dirección, a intervalos de tiempo fijos. Al recibir este mensaje, cada nodo actualiza sus tablas de enrutamiento con información de ubicaciones en tiempo real de otros nodos participantes. El protocolo de enrutamiento vector-distancia secuenciado por destino (*Destination-Sequenced Distance-Vector, DSDV*), el protocolo de enrutamiento inalámbrico (*Wireless Routing Protocol, WRP*) y el enrutamiento de conmutador de puerta de enlace del clúster (*Cluster-head Gateway Switch Routing, CGSR*) son algunos de los populares protocolos basados en tablas para redes ad-hoc móviles.

Los protocolos basados en tablas podrían no ser considerados una solución de enrutamiento efectiva para la red ad-hoc móvil. Los nodos en las redes ad-hoc móviles operan con poca batería y con ancho de banda limitado. La presencia de alta movilidad, grandes tablas de enrutamiento y escasa escalabilidad dan como resultado el consumo de ancho de banda y la duración de la batería de los nodos. Además, las actualizaciones continuas podrían generar una sobrecarga de red innecesaria.

- **Protocolos de enrutamiento bajo demanda.**

Otro miembro de la familia de protocolos de enrutamiento para redes ad-hoc móviles está en los protocolos de enrutamiento bajo demanda. Con los protocolos bajo demanda, si un nodo fuente requiere una ruta al destino para el que no tiene información de ruta, inicia un proceso de descubrimiento de ruta que va de un nodo a otro hasta que llega al destino o un nodo intermedio que tiene una ruta al destino.

Es responsabilidad del nodo receptor de solicitud de ruta responder de nuevo al nodo fuente acerca de la posible ruta al destino. El nodo de origen utiliza esta ruta para la transmisión de datos al nodo de destino. Algunos de los protocolos bajo demanda más conocidos son el enrutamiento de vector de distancia a pedido Ad-hoc (*Ad-hoc On-demand Distance Vector, AODV*), el enrutamiento de fuente dinámica (*Dynamic Source Routing, DSR*) y el algoritmo de enrutamiento de orden temporal (*Temporally Ordered Routing Algorithm, TORA*).

Estos protocolos difieren en el almacenamiento de la información de ruta previamente conocida y en cómo utilizan los datos de ruta establecidos. Nuevamente, en una red con muchos nodos participantes, se puede sufrir el mismo tipo de problemas que se ha visto en los protocolos basados en tablas.

2.4. Protocolo de enrutamiento AODV

2.4.1. Algoritmo AODV

AODV es un algoritmo de adquisición de ruta pura bajo demanda. En otras palabras, los nodos que no se encuentran en rutas activas ni mantienen ninguna información de enrutamiento ni participan en ningún intercambio periódico de tablas de enrutamiento. Además, un nodo no tiene que descubrir y mantener una ruta a otro nodo hasta que los dos necesiten comunicarse a menos que el primer nodo ofrezca servicios como una estación de reenvío intermedia para mantener la conectividad entre otros dos nodos.

Hay tres tipos de mensajes en el algoritmo de enrutamiento AODV que son: **(a)** solicitudes de ruta (*Route REQuest, RREQ*), **(b)** respuestas de ruta

(*Route Replay, RREP*), y **(c)** errores de ruta (RERR). Cuando se necesita una ruta a un nuevo destino, el nodo emite un RREQ para encontrar una ruta al destino. (Kulla et al., 2013)

Se puede determinar una ruta cuando el RREQ llega al destino mismo o un nodo intermedio con una ruta "suficientemente nueva" al destino (una ruta es "suficientemente nueva" cuando el número de secuencia de esta ruta es al menos tan grande como ese contenido en el RREQ). La ruta está disponible mediante la unidifusión de un RREP de vuelta al origen de RREQ. Cada nodo que recibe la solicitud almacena en caché una ruta de regreso al origen de la solicitud, de modo que el RREP puede ser unidifusión desde el destino a lo largo de una ruta a ese origen.

Cuando se detecta una ruptura de enlace en una ruta activa, se utiliza un mensaje RERR para notificar a otros nodos que ha ocurrido la pérdida de ese enlace. Después de recibir el mensaje de error, otros nodos conocerán el error de enrutamiento y encontrarán un nuevo enlace accesible.

2.4.2. Terminología AODV.

A continuación, se muestran las terminologías utilizadas en el protocolo AODV:

- a. **Ruta activa:** es una ruta hacia un destino que tiene una entrada de tabla de enrutamiento que está marcada como válida. Solo las rutas activas pueden usarse para reenviar paquetes de datos.
- b. **Emisión o transmisión:** la emisión significa transmitir a la dirección IP Limited Broadcast, 255.255.255.255. Un paquete de transmisión no puede reenviarse a ciegas, pero la transmisión es útil para permitir la difusión de mensajes AODV en toda la red ad-hoc.
- c. **Destino:** es una dirección IP a la que se transmitirán los paquetes de datos. Es lo mismo que "nodo de destino". Un nodo sabe que es el nodo de destino para un paquete de datos típico cuando su dirección aparece en el campo apropiado del encabezado IP. Las rutas para los nodos de destino se suministran por acción del protocolo AODV, que transporta la

dirección IP del nodo de destino deseado en los mensajes de descubrimiento de ruta.

- d. **Nodo de reenvío:** es un nodo que acepta reenviar paquetes destinados a otro nodo, retransmitiéndolos a un siguiente salto que está más cerca del destino de unidifusión a lo largo de una ruta que se ha configurado utilizando mensajes de control de enrutamiento.
- e. **Ruta por seguir:** Es una ruta establecida para enviar paquetes de datos desde un nodo de origen una operación de descubrimiento de rutas hacia su destino deseado.
- f. **Ruta no válida:** es una ruta que ha expirado, indicada por un estado no válido en la entrada de la tabla de enrutamiento. Se utiliza una ruta no válida para almacenar información de ruta previamente válida durante un período de tiempo prolongado. Una ruta inválida no puede usarse para reenviar paquetes de datos, pero puede proporcionar información útil para reparaciones de ruta, y también para futuros mensajes RREQ.
- g. **Nodo de origen:** es un nodo que inicia un mensaje de descubrimiento de ruta AODV para ser procesado y posiblemente retransmitido por otros nodos en la red ad hoc. Por ejemplo, el nodo que inicia un proceso de Descubrimiento de Ruta y difunde el mensaje RREQ recibe el nombre de nodo de origen del mensaje RREQ.
- h. **Ruta inversa:** es una ruta configurada para reenviar un paquete de respuesta (RREP) al origen desde el destino o desde un nodo intermedio que tiene una ruta al destino.
- i. **Número de secuencia:** es un número creciente monótonamente mantenido por cada nodo de origen. En los mensajes del protocolo de enrutamiento AODV, es utilizado por otros nodos para determinar la frescura de la información contenida en el nodo de origen.

2.4.3. Formato de mensaje.

En la figura 2.3 se muestra el formato de mensaje RREQ. A continuación, se describen cada uno de los elementos del formato de mensaje RREQ:

Tipo: 7.

Número de saltos: la cantidad de saltos desde la dirección IP del origen hasta el nodo que maneja la solicitud.

TTL: tiempo de vida del mensaje.

G: bandera de RREP gratuita; indica si un RREP gratuito debe ser unicast para el nodo especificado en el campo de la dirección IP de destino.

SrcSeqNb: el número de secuencia actual que se utilizará en la entrada de ruta apuntando hacia el originador de la solicitud de ruta.

DEST: la dirección IP del destino para el que se desea una ruta.

DestSeqNb: el último número de secuencia recibido en el pasado por el autor para cualquier ruta hacia el destino.

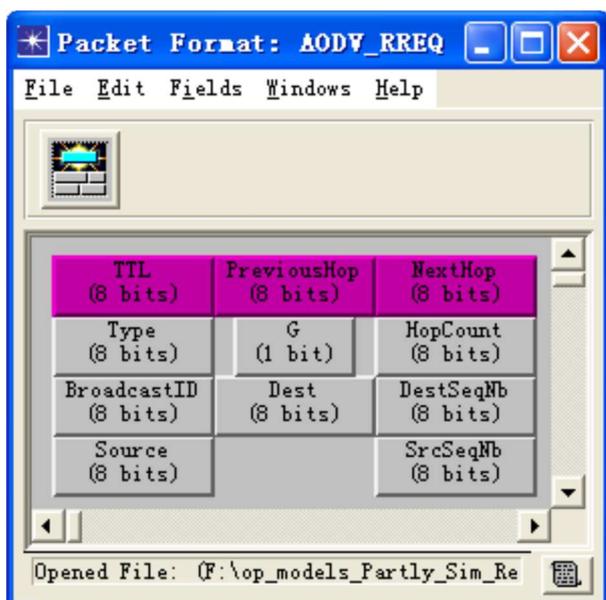


Figura 2. 3: Formato de mensaje RREQ.

Elaborador por: Autor.

En la figura 2.4 se muestra el formato de mensaje RREP. A continuación, se describen cada uno de los elementos del formato de mensaje RREP:

Tipo: 11

A: se requiere acuse de recibo

Generando nodo: el nodo que genera la respuesta de ruta.

Origen: la dirección IP del nodo que originó el RREQ para el que se suministra la ruta.

DEST: la dirección IP del destino para el que se desea una ruta.

Lifetime (vida útil): tiempo en milisegundos para el cual los nodos que reciben el RREP consideran que la ruta es válida.

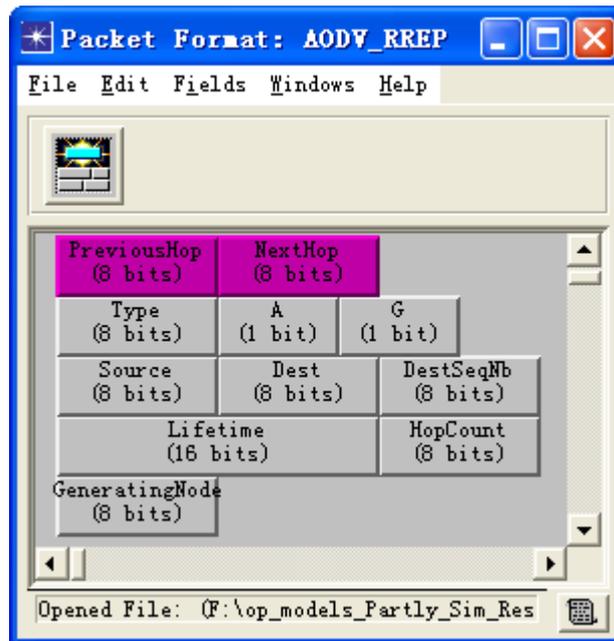


Figura 2. 4: Formato de mensaje RREP
Elaborador por: Autor.

En la figura 2.5 se muestra el formato de mensaje RRER. A continuación, se describen cada uno de los elementos del formato de mensaje RRER:

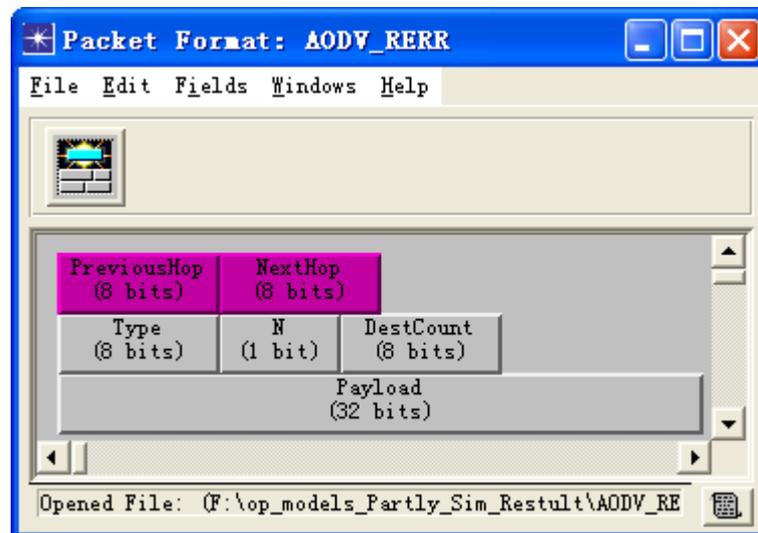


Figura 2. 5: Formato de mensaje RERR
Elaborador por: Autor.

Tipo: 13

N: sin indicador de eliminación; se establece cuando un nodo ha realizado una reparación local de un enlace, y los nodos ascendentes no deben eliminar la ruta.

DestCount: la cantidad de destinos inalcanzables incluidos en el mensaje; debe ser al menos 1.

2.4.4. Operaciones.

1) Procesamiento de solicitud de ruta.

Cuando un nodo de origen desea enviar un mensaje a un nodo de destino y no tiene una ruta válida hasta ese destino, inicia un proceso de descubrimiento de ruta para localizar el otro nodo. Transmite un paquete de solicitud de ruta (RREQ) a sus vecinos, que luego reenvían la solicitud a sus vecinos, y así sucesivamente, hasta que se encuentra el destino o un nodo intermedio con una ruta "lo suficientemente reciente" hacia el destino.

La figura 2.6 (a) ilustra la propagación de los RREQ de difusión a través de la red. AODV utiliza números de secuencia de destino para garantizar que todas las rutas estén libres de bucle y contengan la información de ruta más reciente. Cada nodo mantiene su propio número de secuencia, así como una identificación de difusión.

La ID de difusión se incrementa para cada RREQ que inicia el nodo, y junto con la dirección IP del nodo, identifica de manera única un RREQ. Junto con su propio número de secuencia y la ID de difusión, el nodo fuente incluye en el RREQ el número de secuencia más reciente que tiene para el destino. Los nodos intermedios pueden responder al RREQ solo si tienen una ruta al destino cuyo número de secuencia de destino correspondiente es mayor o igual que el contenido en el RREQ.

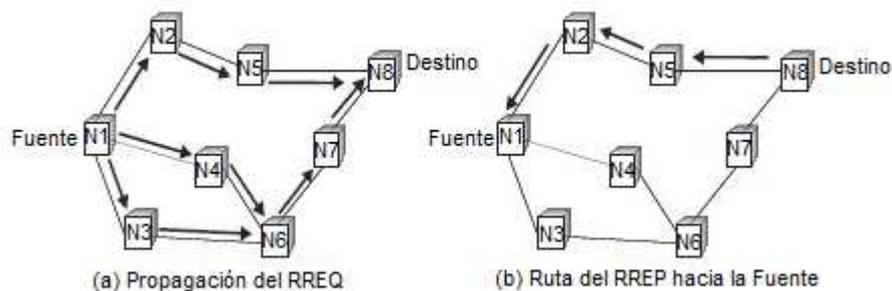


Figura 2. 6: Descubrimiento de ruta AODV.

Fuente: (Panda & Pattanayak, 2018)

Durante el proceso de reenvío del RREQ, los nodos intermedios registran en sus tablas de ruta la dirección del vecino desde el que se recibe la primera copia del paquete de difusión, estableciendo así una ruta inversa. Si luego se reciben copias adicionales del mismo RREQ, estos paquetes se descartan.

2) Procesamiento de respuesta de ruta.

Una vez que el RREQ llega al destino o un nodo intermedio con una ruta bastante fresco, el destino/nodo intermedio responde mediante la unidifusión de un paquete de respuesta de ruta (RREP) de vuelta al vecino de la que recibió primero el RREQ (véase la figura 2.6(b)). Como el RREP se enruta a lo largo de la ruta inversa, los nodos a lo largo de esta ruta configuran entradas de ruta hacia adelante en sus tablas de ruta que apuntan al nodo del que procede el RREP.

Estas entradas de ruta hacia adelante indican la ruta hacia adelante activa. Asociado con cada entrada de ruta hay un temporizador de ruta que causará la eliminación de la entrada si no se utiliza dentro del tiempo de vida especificado. Debido a que el RREP se reenvía a lo largo de la ruta establecida por el RREQ, AODV solo admite el uso de enlaces simétricos.

3) Gestión y mantenimiento de conexiones.

Las rutas se mantienen de la siguiente manera. Si un nodo fuente se mueve, puede reiniciar el protocolo de descubrimiento de ruta para encontrar una nueva ruta al destino. Si un nodo a lo largo de la ruta se mueve, su vecino ascendente nota el movimiento y propaga un mensaje de notificación de falla de enlace (un RREP con métrica infinita) a cada uno de sus vecinos ascendentes activos para informarles del borrado de esa parte de la ruta.

Estos nodos a su vez propagan la notificación de falla de enlace a sus vecinos en sentido ascendente, y así sucesivamente hasta que se alcanza el nodo de origen. El nodo fuente puede entonces elegir reiniciar el descubrimiento de la ruta para ese destino si todavía se desea una ruta.

Un aspecto adicional del protocolo es el uso de mensajes Hello, transmisiones locales periódicas por un nodo para informar a cada nodo móvil de otros nodos en su vecindad. Los mensajes Hello se pueden usar para mantener la conectividad local de un nodo. Sin embargo, el uso de mensajes de saludo no es obligatorio. Los nodos escuchan la retransmisión de los paquetes de datos para garantizar que el siguiente salto esté todavía al alcance.

Si no se escucha dicha retransmisión, el nodo puede usar cualquiera de una serie de técnicas, incluida la recepción de mensajes de saludo, para determinar si el siguiente salto está dentro del alcance de comunicación. Los mensajes de saludo pueden enumerar los otros nodos desde los cuales un móvil ha escuchado, lo que permite un mayor conocimiento de la conectividad de la red.

2.5. Protocolo de enrutamiento DSR.

Del mismo modo, DSR y TORA son tipos de protocolos de enrutamiento bajo demanda. Una breve introducción de DSR y TORA se dará en los siguientes párrafos. La versión básica de DSR utiliza un "enrutamiento de origen" explícito, en el que cada paquete de datos enviado lleva en su encabezado la lista ordenada completa de nodos por los que pasará el paquete. Este uso de enrutamiento de origen explícito permite al remitente seleccionar y controlar las rutas utilizadas para sus propios paquetes, admite el uso de rutas múltiples a cualquier destino (por ejemplo, para el equilibrio de carga) y permite una garantía simple de que las rutas utilizadas son bucles libres.

Al incluir esta ruta de origen en el encabezado de cada paquete de datos, otros nodos que reenvían o escuchan cualquiera de estos paquetes también pueden almacenar fácilmente esta información de enrutamiento para usarla en el futuro. Las operaciones básicas de DSR incluyen descubrimiento de rutas y mantenimiento de rutas. El proceso de descubrimiento de ruta principalmente ayuda al nodo fuente a obtener la ruta al nodo de destino. Cuando el nodo no puede garantizar que se llegue al nodo de destino debido

a movimiento, apagado u otras razones, el viaje actual ya no es válido. El objetivo del mantenimiento de ruta es monitorear la disponibilidad de la ruta actual. Cuando se produce una falla de enrutamiento, se llamará a una nueva ronda de descubrimiento de ruta.

2.5.1. Descubrimiento de enrutamiento o ruta.

Cuando un nodo fuente origina un nuevo paquete dirigido a un nodo de destino, el nodo fuente coloca en el encabezado del paquete una "ruta fuente" que da la secuencia de saltos que el paquete debe seguir en su camino hacia el destino. Normalmente, el emisor obtendrá una ruta de origen adecuada buscando en su "Caché de ruta" rutas previamente aprendidas; si no se encuentra ninguna ruta en su caché, iniciará el protocolo de descubrimiento de ruta para encontrar dinámicamente una nueva ruta a este nodo de destino. En este caso, se llama al nodo de origen el "inicio" y el nodo de destino al "destino" de descubrimiento de ruta.

Para iniciar el descubrimiento de ruta, el nodo de origen transmite una "solicitud de ruta" como un único paquete de difusión local, que es recibido por todos los nodos actualmente dentro del rango de transmisión inalámbrica de sí mismo. Cada solicitud de ruta identifica el iniciador y el objetivo del descubrimiento de ruta, y también contiene una identificación de solicitud única, determinada por el iniciador de la solicitud. Cada solicitud de ruta también contiene un registro que enumera la dirección de cada nodo intermedio a través del cual se reenvió esta copia particular de la solicitud de ruta.

Cuando otro nodo recibe esta solicitud de ruta, si es el objetivo del descubrimiento de ruta, devuelve un "retransmisor de ruta" al iniciador del descubrimiento de ruta, dando una copia del registro de ruta acumulada de la solicitud de ruta; cuando el iniciador recibe esta respuesta de ruta, almacena en caché esta ruta en la memoria caché de ruta para utilizarla en el envío de paquetes subsiguientes a este destino.

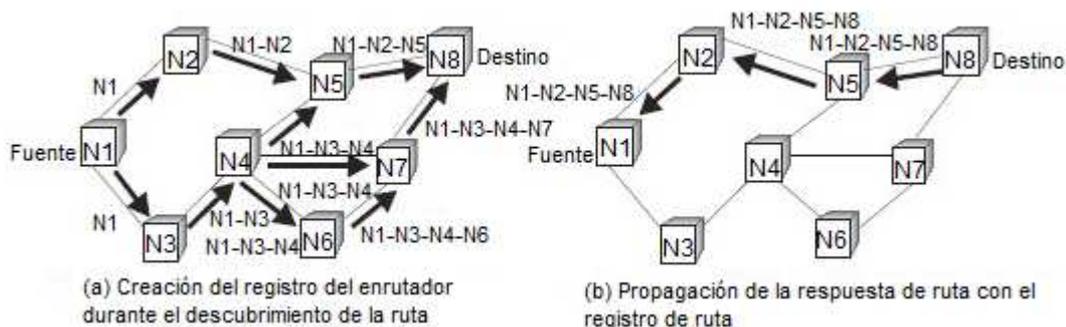


Figura 2. 7: Protocolo de descubrimiento de enrutamiento o ruta (DSR).
Fuente: (Panda & Pattanayak, 2018)

2.5.2. Mantenimiento de enrutamiento o ruta.

Al originar o reenviar un paquete utilizando una ruta de origen, cada nodo que transmite el paquete es responsable de confirmar que los datos pueden fluir a través del enlace desde ese nodo hasta el próximo salto. Un acuse de recibo puede proporcionar la confirmación de que un enlace es capaz de transportar datos, y en las redes inalámbricas, los acuses de recibo se proporcionan a menudo sin costo, ya sea como parte estándar existente del protocolo MAC en uso, o por un "acuse de recibo".

Esto significa que, si el mecanismo de acuse de recibo existente no está disponible, el nodo que transmite el paquete puede solicitar explícitamente que el próximo nodo a lo largo de la ruta devuelva un acuse de recibo de software específico de DSR. Este acuse de recibo del software normalmente se transmitirá directamente al nodo remitente, pero si el enlace entre estos dos nodos es unidireccional, este acuse de recibo del software podría viajar a través de una ruta diferente de múltiples saltos.

Después de que la solicitud de acuse de recibo haya sido retransmitida el número máximo de veces y si no se ha recibido acuse de recibo, el remitente considera que el enlace a este destino de siguiente salto está "roto" actualmente. El remitente debe eliminar este enlace de su caché de ruta y debe devolver un "error de ruta" a cada nodo que haya enviado un paquete enrutado sobre ese enlace desde la última vez que se recibió un acuse de recibo.

2.6. Protocolo de enrutamiento TORA.

El algoritmo de enrutamiento de orden temporal (TORA) es un algoritmo de enrutamiento distribuido sin bucles altamente adaptable basado en el concepto de inversión de enlace. Se propone que TORA opere en un entorno de red móvil altamente dinámico. Está iniciado por la fuente y proporciona múltiples rutas para cualquier par fuente/destino deseado.

El concepto clave de diseño de TORA es la localización de mensajes de control en un conjunto muy pequeño de nodos cerca de la ocurrencia de un cambio topológico. Para lograr esto, los nodos necesitan mantener la información de enrutamiento sobre los nodos adyacentes (one-hop). El protocolo realiza tres funciones básicas: (a) creación de ruta, (b) mantenimiento de ruta, y (c) borrado de ruta.

Durante las fases de creación y mantenimiento de ruta, los nodos utilizan una métrica de "altura" para establecer un grafo acíclico dirigido (*Directed Acyclic Graph, DAG*) enraizado en el destino. A partir de entonces, los enlaces se asignan a una dirección (ascendente o descendente) en función de la métrica de altura relativa de los nodos vecinos (véase la figura 2.8).

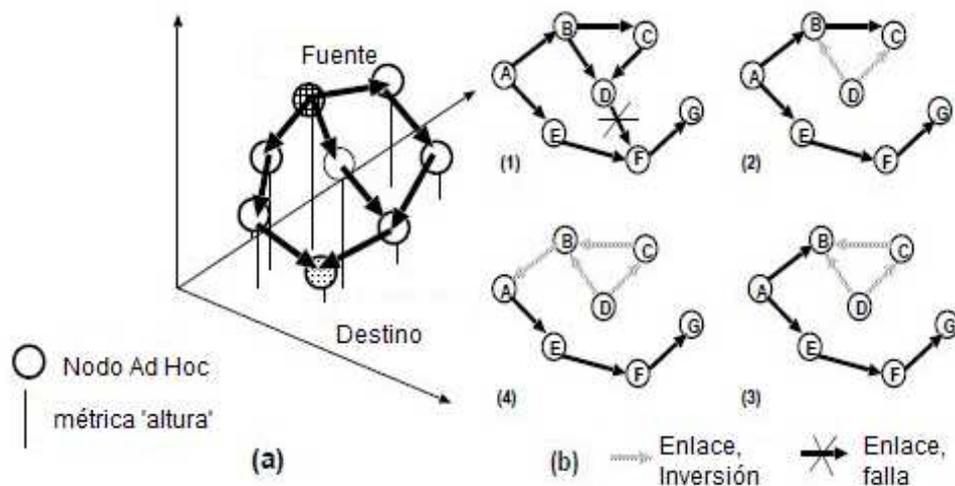


Figura 2. 8: Establecer un grafo acíclico dirigido (DAG).
Fuente: (Panda & Pattanayak, 2018)

Este proceso de establecer un DAG es similar al proceso de consulta/respuesta propuesto en el enrutamiento móvil ligero (*Lightweight*

Mobile Routing, LMR). En tiempos de movilidad de nodos, la ruta DAG está rota, y el mantenimiento de ruta es necesario para restablecer un DAG enraizado en el mismo destino.

Como se muestra en la figura 2.8, ante la falla del último enlace descendente, un nodo genera un nuevo nivel de referencia que da como resultado la propagación de ese nivel de referencia por los nodos vecinos, coordinando eficazmente una reacción estructurada al fallo. Los enlaces se invierten para reflejar el cambio en la adaptación al nuevo nivel de referencia. Esto tiene el mismo efecto que invertir la dirección de uno o más enlaces cuando un nodo no tiene enlaces en sentido descendente.

Un factor importante para TORA es el tiempo, porque la métrica de "altura" depende del tiempo lógico de una falla del enlace; TORA supone que todos los nodos tienen relojes sincronizados. La métrica de TORA incluye cinco elementos, a saber:

- Tiempo lógico de una falla de enlace.
- El ID único del nodo que definió el nuevo nivel de referencia.
- Un bit de indicador de reflexión.
- Un parámetro de orden de propagación.
- La identificación única del nodo.

En TORA existe la posibilidad de que se produzcan oscilaciones, especialmente cuando varios conjuntos de nodos de coordinación detectan al mismo tiempo particiones, borran rutas y construyen nuevas rutas en función de las demás. Debido a que TORA utiliza la coordinación intermodal, su problema de inestabilidad es similar al problema de "recuento hasta el infinito" en los protocolos de enrutamiento vector distancia, excepto que tales oscilaciones son temporales y la convergencia de ruta ocurrirá en última instancia.

CAPÍTULO 3: MODELADO DE MANET EN OPNET, SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se definen las métricas de rendimiento seleccionadas, la configuración de simulación y el modelado de protocolos de red con parámetros predeterminados que utilizan un modelo de red ad-hoc móvil (MANET) sobre Opnet Modeler 17.1. Además, se explican los escenarios de red y se comparan los resultados de simulación.

3.1. Métricas de rendimiento.

El rendimiento de los protocolos de enrutamiento se analizó utilizando métricas de rendimiento, rendimiento medio de la red, retardo promedio de extremo a extremo y carga de red promedio. A continuación, se describen cada una de las métricas:

Promedio de rendimiento: es la cantidad total de paquetes soportados en caso de pérdida de datos que es recibida por un nodo de destino. Siempre se espera un alto rendimiento para cualquier protocolo de enrutamiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{número de bits contenidos en el paquete aceptado}}{\text{tiempo de simulación}}$$

Retardo promedio de extremo a extremo: es el retardo promedio del descubrimiento de enrutamiento, la espera de paquetes en las colas de interfaz y la transmisión de los paquetes de datos de capa MAC desde el origen hasta el destino. También se llama latencia de datos. Se mide por las diferencias de tiempo tomadas entre la generación de un paquete de datos y el último bit de llegada al destino.

Carga promedio de la red: representa la carga total (en bps) enviada a la capa WLAN MAC por todas las capas superiores en todos los nodos WLAN de la red. Todo el tráfico de datos se recibe (en bits / seg) por todos los MAC de WLAN compatibles con 802.11e en la red desde capas superiores para cada categoría de acceso. Los paquetes de datos de capa superior se asignan a las categorías de acceso según sus valores de prioridad de usuario (Tipo de servicio (ToS)).

La carga de red ocurre cuando hay más tráfico en la red, y es difícil para la red manejar todo este tráfico. La red eficiente puede hacer frente fácilmente al gran tráfico entrante. La alta carga de red afecta los paquetes de enrutamiento MANET y ralentiza la entrega de paquetes para llegar al canal, y da como resultado el aumento de las colisiones de estos paquetes de control. Por lo tanto, los paquetes de enrutamiento pueden demorarse en estabilizarse.

3.2. Modelado de MANETs en OPNET y configuración de simulación.

Para simular una red MANET, es necesario diseñar un entorno de red virtual en la plataforma de simulación Opnet Modeler. En este estudio, se utiliza Opnet Modeler versión 17.1 que admite protocolos de enrutamiento AODV, DSR, GRP, OLSR y TORA en total. Todos los dispositivos con la dirección IP versión 4 (IPv4) se configuraron automáticamente.

Para completar el proyecto, se diseñaron un total de 60 conjuntos de simulaciones. Para recopilar datos estadísticos, todos los escenarios se ejecutaron durante 300 segundos. Para diseñar un MANET con un protocolo de enrutamiento, se deben seguir los pasos a continuación:

1. File => Nombre del proyecto: AODV

Nombre del escenario: se debe dar un nombre para cada conjunto de simulación (por ejemplo: 20 nodos con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad máxima de 5 m/s en AODV).

Crear escenario vacío

Escala de red: Campus

Especifique el tamaño: X span: 1000, Y span: 1000 y unidades: metros

Familia de modelos: MANET

La figura 3.1 muestra una revisión de estas configuraciones.

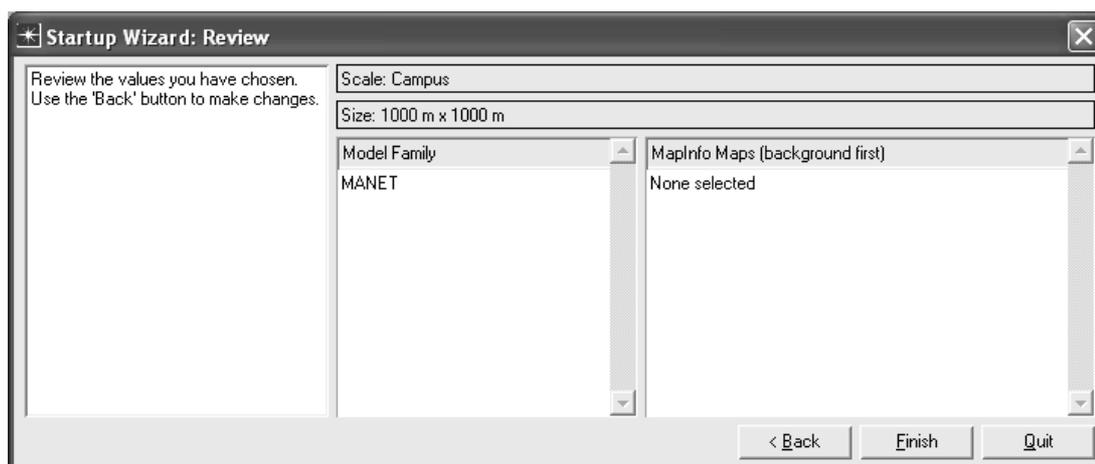


Figura 3. 1: Revisión del asistente de inicio

Elaborado por: Autor.

2. Configuración de la aplicación: la paleta de objetos del formulario de configuración de la aplicación se elige e inserta en la red del campus tal como se muestra en la figura 3.2.

Editar atributo => Nombre: App Conf

Definición de la aplicación => Número de filas: 1 (Número de aplicaciones durante simulación, solo se usa FTP)

Nombre de la aplicación: FTP.APP

Descripción: FTP con configuración de carga media

Tiempo entre solicitudes (segundos): exponencial (720)

Tamaño del archivo: 512 bytes

Esta configuración es válida para todas las fuentes en el sistema.

Aplicación FTP: es un protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*) utilizado por las aplicaciones FTP para realizar una gran transferencia de datos desde el servidor a los agentes de usuario. Los objetos principales de FTP incluyen la promoción de uso compartido de archivos entre computadoras, el uso de sistemas remotos a través de algunas aplicaciones; transferencias de datos de manera eficiente y confiable; están diseñados específicamente para programas de aplicación para su utilización. El cliente siempre descarga un archivo por sesión en el que el servidor puede cambiar para cada sesión.

Tiempo entre solicitudes: el tiempo entre solicitudes define la cantidad de tiempo entre transferencias de archivos. La hora de inicio de una sesión de transferencia de archivos se calcula sumando el tiempo de la visita al momento en que comenzó la transferencia del archivo anterior.

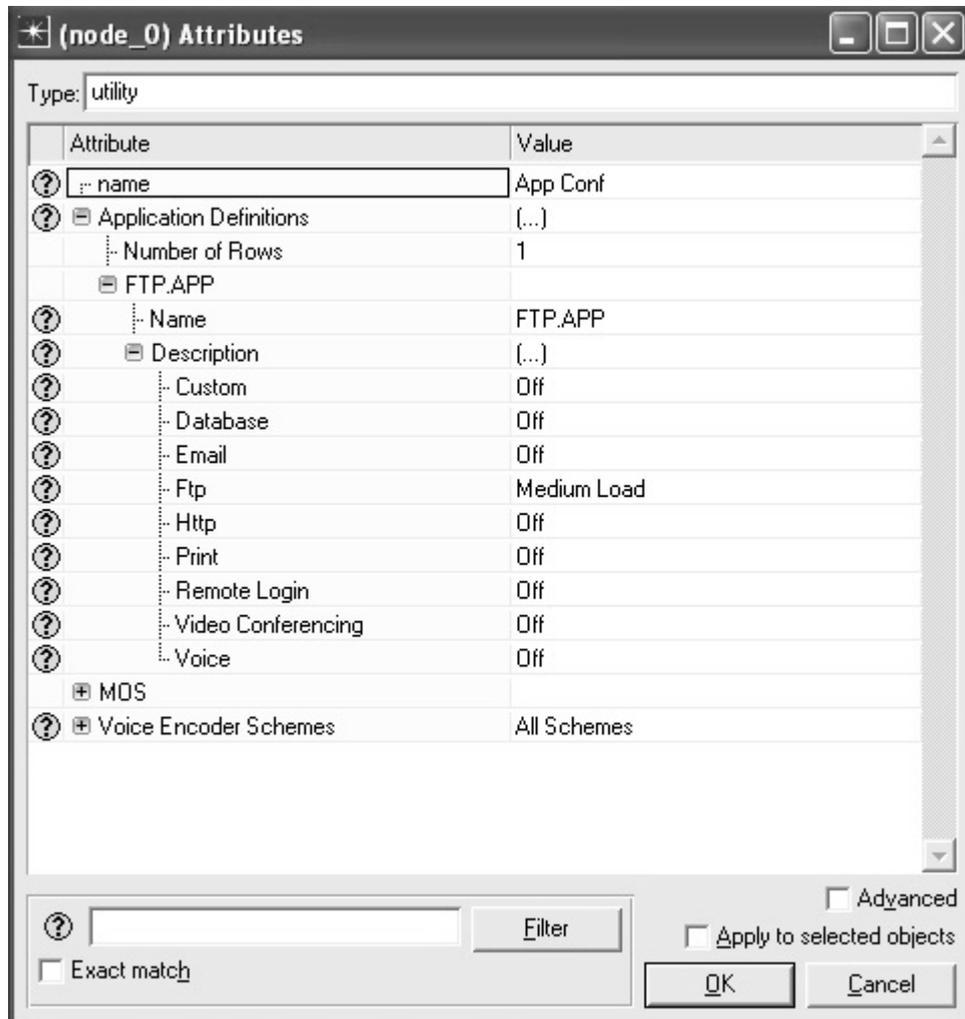


Figura 3. 2: Atributo de configuración de la aplicación
Elaborado por: Autor.

Si se establece el atributo entre tiempo de solicitud (segundos) a exponencial (720) y el tamaño de archivo (bytes) a constante (512), en nuestra aplicación de FTP, significa que se está transfiriendo 512 bytes cada 720 segundos. Como nuestro tiempo de simulación es de 300 segundos, cada fuente solo puede transferir un archivo de 512 bytes.

En Opnet Modeler se simuló 19 minutos y 25 segundos de tiempo de red. Toda la simulación debe tomar menos de un minuto para completarse; el tiempo transcurrido varía según la velocidad de la computadora. Por ejemplo,

en uno de nuestros casos, para simular el protocolo AODV con 20 nodos, 512 bytes y con otros parámetros fijos, el tiempo transcurrido (real) medido fue como 2 segundos, tal como se muestra en la figura 3.3.

The screenshot shows the 'DES Execution Manager: ZAINAB' window. On the left, there is a tree view listing various simulation runs with parameters like 'ADDV 100 NODES 512 PACKET SIZE 5 SPEED'. The main area is a table with columns: Status, Hostname, Sim Duration, Sim Time Elapsed, Time Elapsed, Time Remaining, Num Events, Total Memory, Avg Ev/s, Cur Ev/s, Num Log Entry, and Output Suffix. The table contains multiple rows of data for different simulation runs, showing completion status and performance metrics.

Figura 3. 3: Administrador de ejecución de simulación de eventos discretos (Discrete Event Simulation, DES).
Elaborado por: Autor.

A partir de los resultados de la figura 3.3, se observa que el tiempo transcurrido aumenta cuando la cantidad de nodos aumenta, pero disminuye ligeramente cuando aumenta el tamaño del archivo para un número fijo de nodos.

3. Configuración de perfil: la paleta de objetos de formulario de configuración de perfil se elige e inserta en la red del campus como se muestra en la figura 3.4.

Editar atributos: Nombre: Pro Def

Definición del perfil: Número de filas: 1

Nombre del perfil: Pro FTP

Aplicación: Número de filas: 1 (solo FTP)

Nombre del perfil: FTP APP

Compensación del tiempo de inicio (segundos): Constante (0)

Hora de inicio (segundos): Uniforme (100,300) - comienza a recoger

estadísticas después de 100 segundos hasta el final de la simulación.

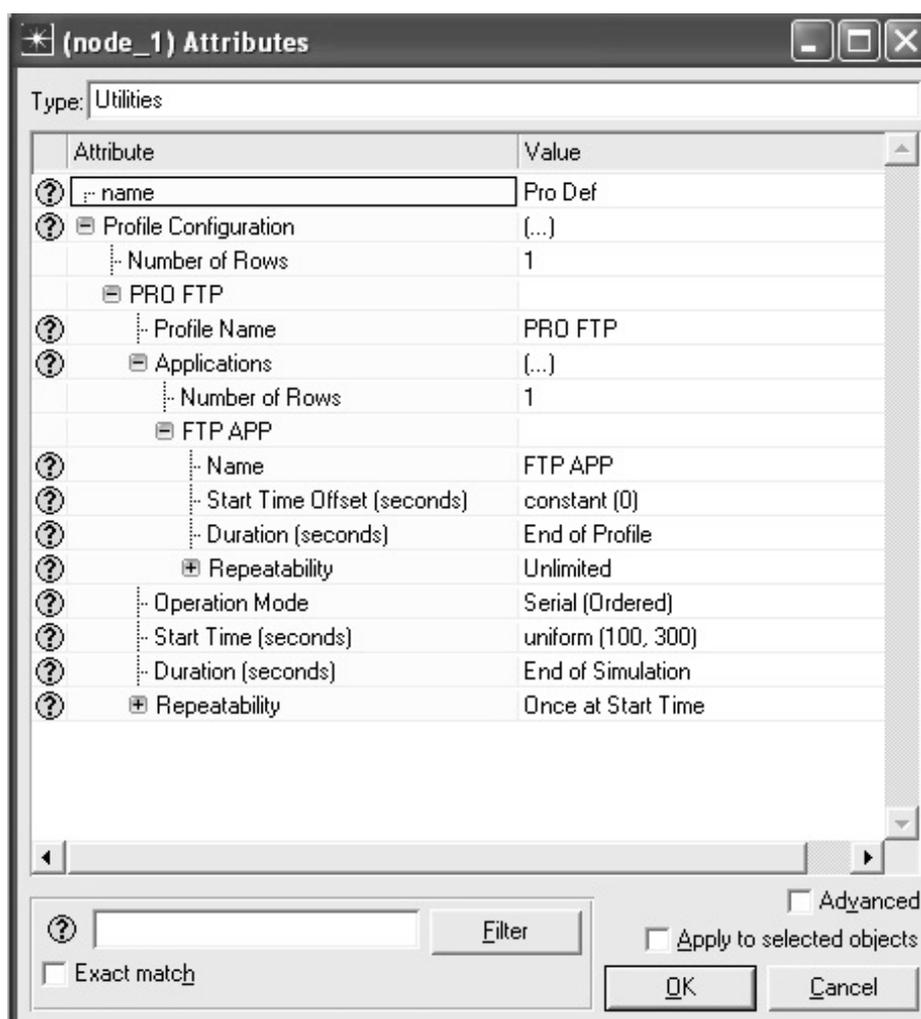


Figura 3. 4: Atributo de configuración de perfil.

Elaborado por: Autor.

Un perfil describe la actividad del usuario durante un período de tiempo. Un perfil consiste en muchas aplicaciones diferentes. Por ejemplo, un perfil de usuario de "Recursos humanos" puede contener "Correo electrónico", "Web" y "Base de datos".

Se pueden especificar diversas características de carga para las diferentes aplicaciones en este perfil. Cada aplicación se describe en detalle dentro del objeto de configuración de la aplicación. Los perfiles creados en este objeto serán referenciados por las estaciones de trabajo individuales para generar tráfico.

4. Configuración de movilidad: el perfil de movilidad definido en la configuración de movilidad puede especificarse para modelar la movilidad sobre los nodos. En este diseño particular, se ha especificado un modelo de movilidad de punto de ruta aleatorio. Generalmente, los nodos móviles que participan en una red se mueven aleatoriamente y toman destinos aleatorios. Además, el modelo de movilidad aleatoria es más apropiado para los estudios de simulación. Por lo tanto, la paleta de objetos de la configuración de movilidad se elige e inserta en la red del campus, tal como se muestra en la figura 3.5.

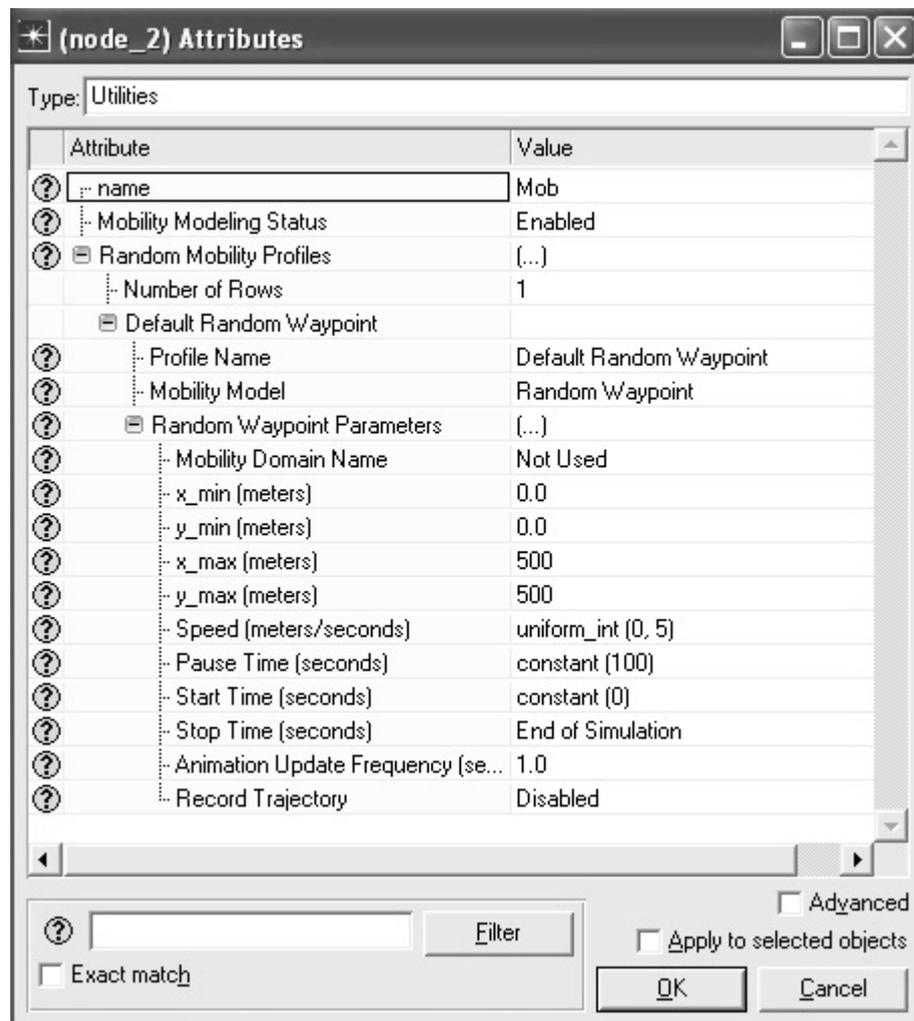


Figura 3. 5: Atributos de configuración de movilidad
Elaborado por: Autor.

Editar atributos => Nombre: Mob

Perfiles de movilidad aleatoria => Número de filas: 1

Parámetros aleatorios de Waypoint: eje X e Y (metros): (min: 0, max:

500)

Velocidad (metros/segundos): uniforme (0, 5)

Tiempo de pausa (segundos): constante (100)

Hora de inicio (segundos): constante (0)

5. Estación de trabajo LAN inalámbrica (nodo móvil): se selecciona la paleta de objetos de formulario Wlan wkstn (por ejemplo, 20 de ellos se insertan en la red del campus, tal como se muestra en la figura 3.6).

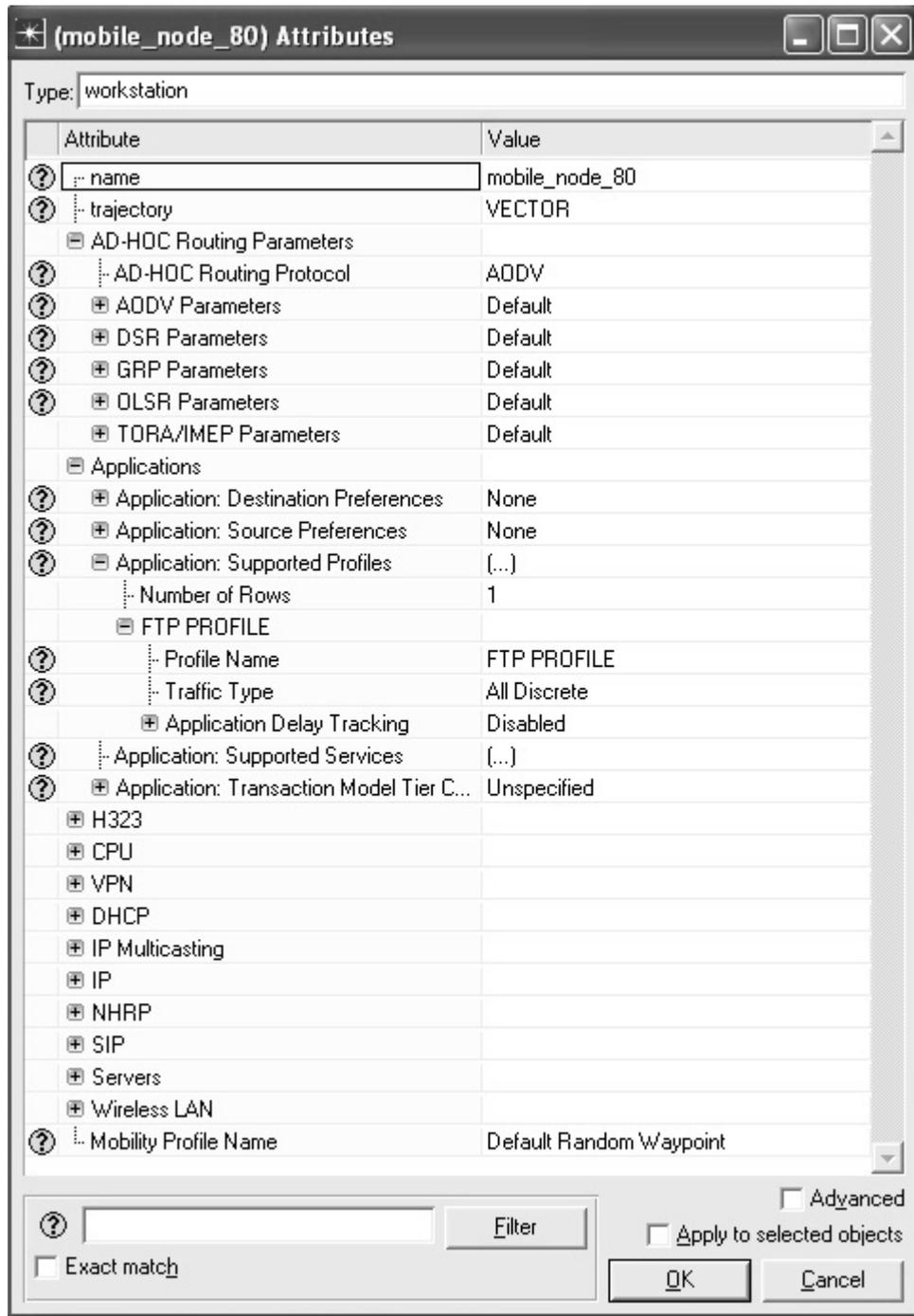


Figura 3. 6: Atributo de estación de trabajo LAN inalámbrica
Elaborado por:

Editar atributos => Trayectoria: Vector

Protocolo de enrutamiento Ad-Hoc: AODV

Parámetros de enrutamiento: Predeterminado (vea la Fig. 20 en el Apéndice B)

Aplicaciones: Preferencias de destino: ninguna

Preferencias de fuente: ninguna

Perfil admitido: Perfil de FTP

Tipo de tráfico: todo discreto

Preferencias de destino: proporcionan asignaciones entre los nombres de destino simbólicos especificados en los objetos de definición de aplicación (Application Definition) o definición de tarea (Task Definition) y los nombres reales especificados en el cuadro de diálogo despliegue de aplicación (Deploy Application) con los botones Origen (Source) y Servidor (Server) para cada nodo.

Cada destino simbólico se puede asignar a un conjunto de destinos reales, en cuyo caso se elegirá un destino en función de su peso relativo. Lo siguiente se aplica solo a las aplicaciones estándar y no a aplicaciones personalizadas:

- a) Si las preferencias de destino (Destination Preferences) están configuradas como "None" (ninguno), se elegirá un destino aleatorio (servidor) entre el número existente de nodos que admite la aplicación de interés. El peso de selección especificado en los atributos de servicios soportados (Supported Services) en el destino determinará la probabilidad con la que se elegirá el destino. De modo que aquí ninguno ha seleccionado como actuaciones de destino (Destination Performances) para seleccionar un destino aleatorio entre los destinos.
- b) Si las preferencias de origen (Source Preferences) se establece en "None" (Ninguno), entonces se puede seleccionar un número de cliente (fuente) entre el número existente de nodos -1 que admite la aplicación de interés. En la simulación desarrollada, si hay "n" nodos en el sistema, se selecciona los nodos "n-1" restantes como nodo de origen. Por ejemplo; si hay 20 nodos en el sistema, uno de ellos se seleccionará

aleatoriamente como nodo servidor y el resto se utilizará como nodo fuente.

Perfil admitido: especifica los nombres de todos los perfiles habilitados en este nodo. Cada perfil se define en detalle en el objeto de configuración de perfil que se puede encontrar en la paleta de "utilidades". Un perfil describe el comportamiento del usuario en términos de qué aplicaciones se utilizan y la cantidad de tráfico que genera cada aplicación. Los perfiles pueden repetirse según un "patrón de repetibilidad". También puede ejecutar más de un perfil en un dispositivo en particular.

Tipo de tráfico: especifica el tipo de tráfico que se generará para este perfil. Si está configurado como todo discreto (All Discrete), se generarán paquetes de datos discretos para la aplicación contenida como parte de este perfil. Este atributo no se puede configurar directamente. Para cambiar el valor de este atributo, use la utilidad, "Protocols/Applications/Deploy Defined Applications". El cuadro de diálogo implementación de aplicaciones (Application Deployment) ayuda a implementar la aplicación en la red. Para configurar los nodos para el servidor, selecciónelos en el árbol de la red en el lado izquierdo de la ventana y luego asígnelos al nivel seleccionado en el lado derecho, de modo que, a partir del número de servidores, uno de ellos podría seleccionarse aleatoriamente como servidor principal (véase la figura 3.7).

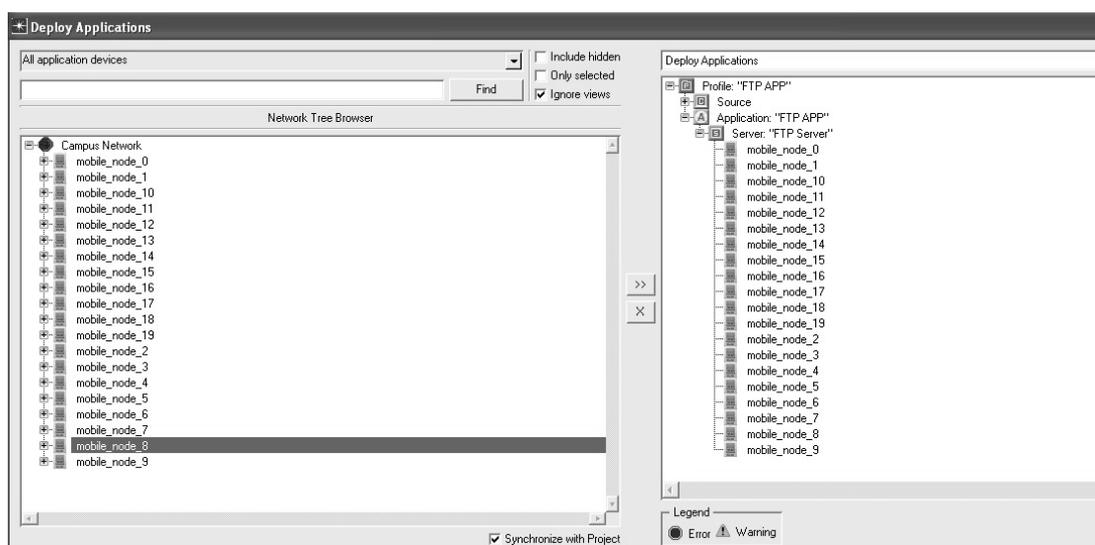


Figura 3. 7: Implementar la configuración de la aplicación

Elaborado por: Autor.

De forma similar, para configurar los nodos como fuente, selecciónelos en el árbol de la red en el lado izquierdo de la ventana y luego asígnelos al nivel seleccionado en el lado derecho debajo del botón de origen.

3.3. Simulación con diferentes escenarios de red ad-hoc y resultados.

Los resultados obtenidos durante la simulación se representan a través de una serie de escenarios. En el presente estudio de simulación, hay tres tipos de escenarios diferentes basados en la cantidad de nodos, diferentes tamaños de archivos (datos) y velocidades que se realizan con el rendimiento promedio de las métricas de rendimiento, el promedio de retardo de extremo a extremo y la carga de red promedio para los protocolos de enrutamiento AODV, OLSR y TORA.

Cada escenario se analiza por separado a fin de proporcionar un análisis detallado.

3.3.1. Investigación de diferente número de nodos.

En el primer escenario se prepararon nodos móviles en el que había 20, 40, 60, 80 y 100 desde la ventana de paleta de objetos de OPNET Modeler 17.1 y se pegaron todos en la ventana del espacio de trabajo y los protocolos de enrutamiento AODV, OLSR y TORA se utilizaron individualmente en la ejecución de la simulación. Después de los procesos de inserción de la configuración de la aplicación y la configuración del perfil desde la paleta de objetos a la ventana del espacio de trabajo, la configuración debía realizarse de acuerdo con los requisitos.

El FTP se seleccionó como tráfico con carga media; Tamaño del archivo FTP configurado en 512 bytes. La configuración de movilidad también se insertó en la ventana del espacio de trabajo. En el primer escenario, la velocidad máxima del nodo se estableció en 5 m/s y luego se estableció el modelo de movilidad de Waypoint aleatorio en MANET como perfil. Todos estos atributos se ilustran en la tabla 3.1:

Tabla 3. 1 Atributos generales para el escenario 1

Atributos	Valor
Número de nodos	20,40,60,80,100
Tamaño de archivo (datos)	512 Byte
Protocolos	AODV, OLSR, TORA
Tiempo de ejecución de simulación	300 segundos
Área de simulación	1000 m * 1000 m

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2 Atributos de movilidad para el escenario 1

Movilidad	Velocidad (segundos)	Uniforme (0,5)
	Tiempo de pausa (segundos)	Constante (100)
	Hora de inicio (segundos)	Constante (0)

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 3 Atributos de configuración de la aplicación para el escenario 1

Configuración de la aplicación	FTP (carga media)	Tiempo de solicitud inter (segundos)	Exponencial (720)
---------------------------------------	----------------------	---	----------------------

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 4 Atributos de configuración de perfil para el escenario 1

Configuración del perfil	Compensación de inicio	Constante (0)
	Duración	Fin del perfil
	Hora de inicio (segundos)	Uniforme (100,300)
	Duración	Final de la simulación

Elaborado por: Autor.

Se realizó un conjunto de simulaciones para cada protocolo por varios nodos. Los resultados se obtuvieron en forma de gráficos y todos los gráficos se visualizan como muestra promedio de 5 corridas (ejecuciones). Los resultados de simulación para diferentes métricas de rendimiento se muestran en las tablas 3.5 a 3.8 y en las figuras 3.8 a 3.11.

Tabla 3. 5: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con un tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Protocolo	Número de nodos				
	20	40	60	80	100
AODV	0.17	0.32	0.45	0.61	0.85
OLSR	0.22	0.27	0.33	0.39	0.45
TORA	3.55	31.21	275.82	22724.21	36144.81

Elaborado por: Autor.

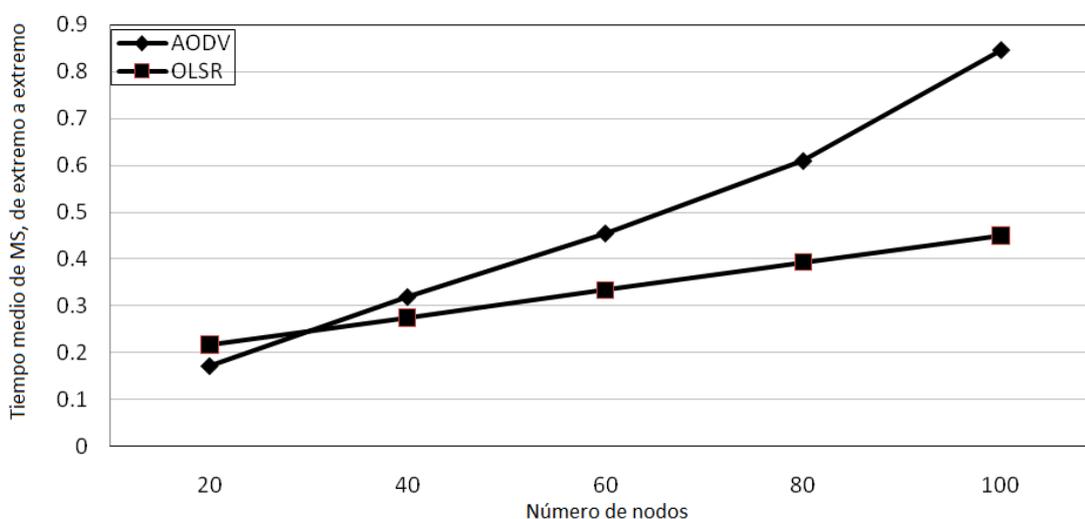


Figura 3. 8: Retardo promedio de extremo a extremo versus número de nodos con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Debe observarse en la tabla 3.5 que, a partir de 20 nodos, el protocolo TORA tiene demasiado retardo de extremo a extremo, por lo que el resultado TORA no se muestra en la figura 3.8. Para investigar el comportamiento de TORA con más detalle, se realizó una serie de simulaciones hecho con 5, 10 y 15 nodos. Los resultados se muestran en la tabla 3.6 y figura 3.9.

Tabla 3. 6: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con un tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s con el protocolo TORA.

Protocolo	Número de nodos				
	5	10	15	20	40
TORA	0.68	1.36	2.41	3.55	31.21

Elaborado por: Autor.

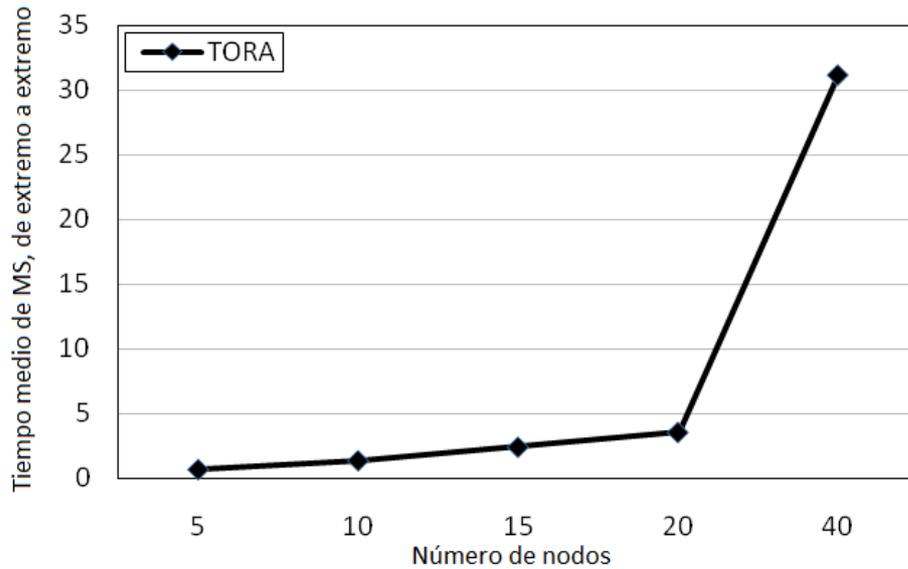


Figura 3. 9: Retardo promedio de extremo a extremo versus número de nodos con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s con protocolo TORA.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 7: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Protocolo	Número de nodos				
	20	40	60	80	100
AODV	2.10	6.64	11.66	18.86	27.31
OLSR	11.20	34.71	71.19	119.72	179.87
TORA	11.66	225.52	226.17	359.98	386.33

Elaborado por: Autor.

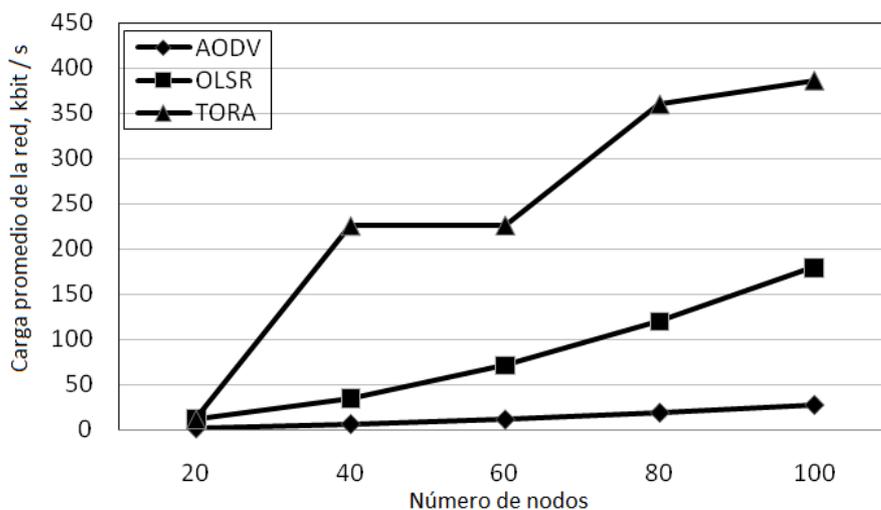


Figura 3. 10: Carga de red promedio en comparación con la cantidad de nodos con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad máxima de nodo de 5 m / s

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 8: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con tamaño de archivo de 512 bytes y velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Protocolo	Número de nodos				
	20	40	60	80	100
AODV	24.02	183.25	463.39	971.74	1603.08
OLSR	196.68	1289.70	4040.24	9136.39	17023.76
TORA	21.38	486.05	561.31	698.80	770.38

Elaborado por: Autor.

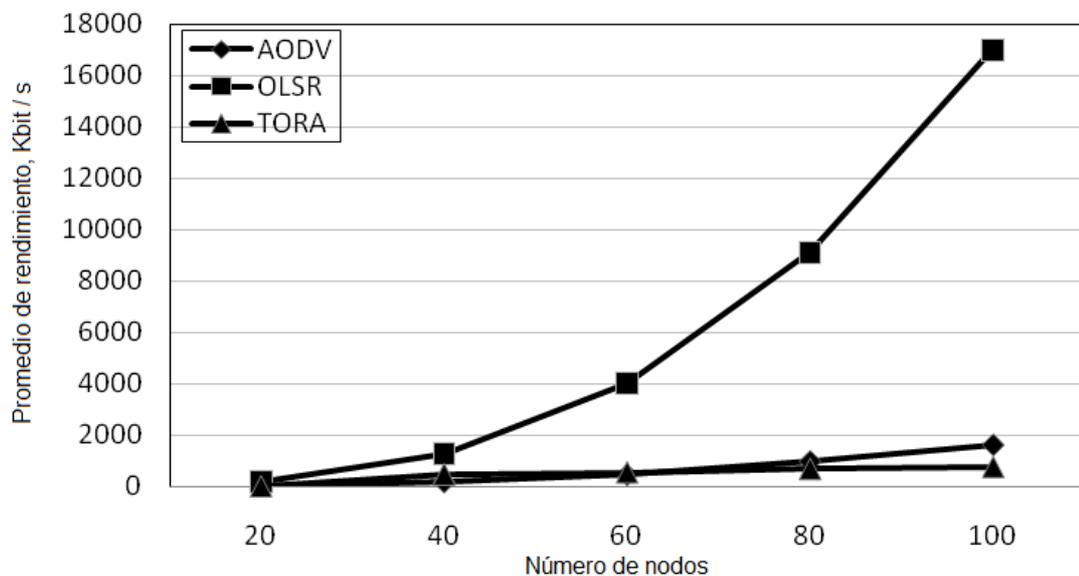


Figura 3. 11: Rendimiento medio frente a la cantidad de nodos con un tamaño de archivo de 512 bytes y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Los protocolos reactivos tienen mucho retardo de extremo a extremo debido a que transmiten la solicitud de enrutamiento por nodos de origen para toda la red y los mantienen esperando respuestas. Como se muestran en las figuras 3.8 y 3.9, y las tablas 3.5 y 3.6; el protocolo TORA tiene el mayor retardo promedio de extremo a extremo. TORA no usa la teoría de ruta más corta. Cuando la cantidad de nodos móviles aumenta, los datos deben pasar desde la unidad de muchos nodos móviles hasta el destino exacto. A parte de eso, aumenta el retardo promedio de extremo a extremo y lo hace inmoderado en TORA. Es decir, que TORA tiene la mayor demora en comparación con los protocolos OLSR y AODV, tal como muestra en las figuras 3.8 y 3.9.

AODV siempre está buscando nuevas rutas cuando lo necesita (método bajo demanda), por lo que no guarda rutas completas en la red y tampoco puede preservar las rutas no utilizadas en la red. El beneficio de esta estrategia es el bajo tráfico controlado. Sin embargo, el promedio general de demora de extremo a extremo aumenta en la red porque los archivos están esperando en el búfer, hasta que se enviarán por nuevas rutas. Además, AODV mantiene solo una ruta por destino en su tabla de enrutamiento.

El protocolo OLSR tiene el menor retardo de extremo a extremo debido a varias razones; utilizando latencia baja del proceso de descubrimiento de ruta, manteniendo tablas vecinas completas y manteniendo un seguimiento de otros nodos disponibles a través de ellas, y no mostrando el enlace de falla hasta que los relés multipuntos (*Multi-Point Relays, MPR*) asociado transfiera su información de topología a otros nodos a través de la red.

Se basa en estas razones OLSR ya funciona de manera eficiente cuando aumenta el número de nodos. El protocolo OLSR mantiene y actualiza regularmente las tablas de enrutamiento; es eficiente y tiene baja latencia. Como resultado, OLSR tiene el menor retardo de extremo a extremo entre los tres protocolos de enrutamiento.

TORA logró la mayor carga de red, tal como se muestra en la tabla 3.7 y en la figura 3.10; cuando la cantidad de nodos aumenta, la carga de la red empeora. El rendimiento de TORA depende de la cantidad de nodos activados donde se estaban activando en la configuración inicial. En TORA, cada nodo intermedio envía una respuesta de solicitud de ruta al nodo de origen, de modo que la sobrecarga de control aumenta debido a las múltiples respuestas de ruta a los paquetes de solicitud de ruta única.

Además, debido a la falta de múltiples rutas para usar como rutas alternativas para el tráfico, un mensaje de error de ruta se propagará a todos sus vecinos cuando falla un único nodo en la ruta. Esto inicia el proceso de redescubrimiento de la ruta y, en consecuencia, aumenta la carga de la red.

El protocolo AODV no mantiene ninguna ruta de caché. Cuando la topología de red cambia en AODV, configura nuevas rutas según las solicitudes. Esto ayudará al protocolo AODV a evitar la pérdida de archivos y hacer que la carga promedio de la red sea baja (comparando los protocolos OLSR y TORA).

Dado que el protocolo OLSR siempre mantiene y actualiza su tabla de enrutamiento (método proactivo); ayuda al protocolo OLSR a seguir su tráfico de enrutamiento hasta el destino, aunque hay un aumento en la carga de la red. En OLSR debido a la ventaja de MPR al permitir el reenvío de los mensajes de control a otros nodos, la carga de la red se minimiza y el rendimiento se maximiza.

3.3.2. Investigación de diferentes tamaños de archivos.

En el segundo escenario de simulaciones, los números de nodos se fijaron con 40 y 100, donde el tamaño del archivo se modificó como 1024, 2048 y 4096 bytes. Todos los demás parámetros permanecen igual que el primer escenario. La tabla 3.9 presenta los atributos del segundo escenario.

Tabla 3. 9 Atributos generales para el segundo escenario.

Atributos	Valor
Número de nodos	40, 100
Tamaño de archivo (datos)	512, 1024, 2048, 4096 bytes
Protocolos	AODV, OLSR, TORA
Tiempo de ejecución de simulación	300 segundos
Área de simulación	1000 m * 1000 m

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 10: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	0.85	0.81	0.79	0.56
OLSR	0.45	0.45	4040.24	9136.39
TORA	36144.81	36144.81	36144.81	36144.81

Elaborado por: Autor.

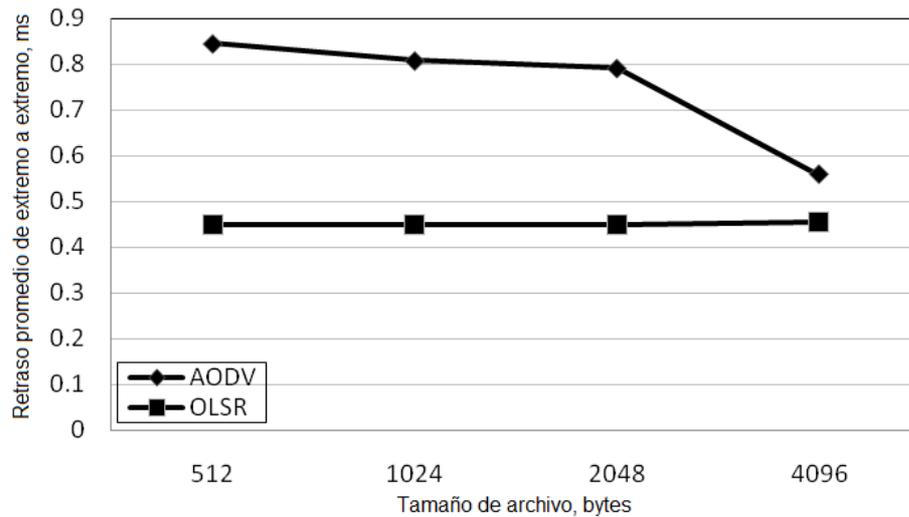


Figura 3. 12: Retardo promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo diferente con 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por:

Debería señalarse aquí que, dado que el protocolo TORA tiene un alto retardo de extremo a extremo, los resultados no se muestran en la figura.

Tabla 3. 11: Resultados de simulación de un retardo promedio de extremo a extremo en ms con 40 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	0.32	0.34	0.35	0.22
OLSR	0.27	0.27	0.28	0.28
TORA	31.21	26.54	24.46	31.17

Elaborado por: Autor.

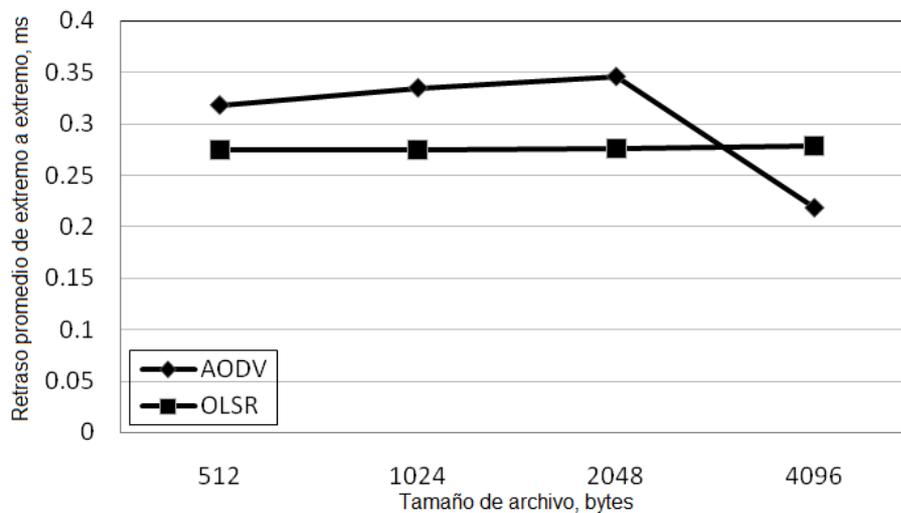


Figura 3. 13: Retardo promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo diferente con 40 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 12: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima de nodo 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	0.64	7.43	8.74	10.50
OLSR	34.71	35.36	36.77	39.44
TORA	22552	200.89	186.95	225.38

Elaborado por: Autor.

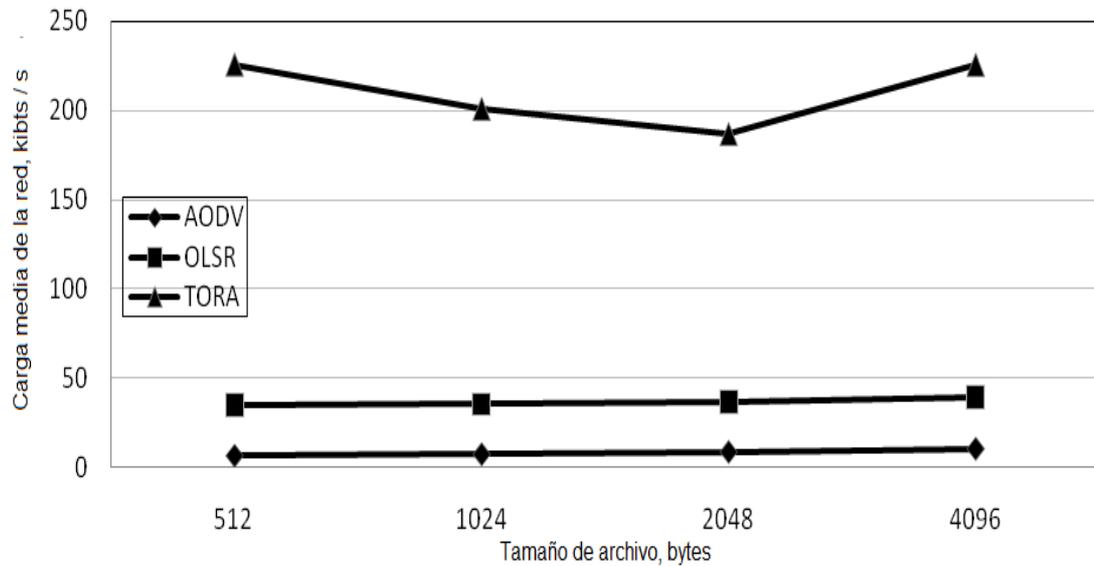


Figura 3. 14: Carga media de la red frente a un tamaño de archivo diferente con 40 nodos y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 13: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 100 nodos y velocidad máxima de nodo 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	27.31	29.04	30.40	34.58
OLSR	179.87	181.31	184.20	190.79
TORA	386.33	386.33	386.33	386.33

Elaborado por: Autor.

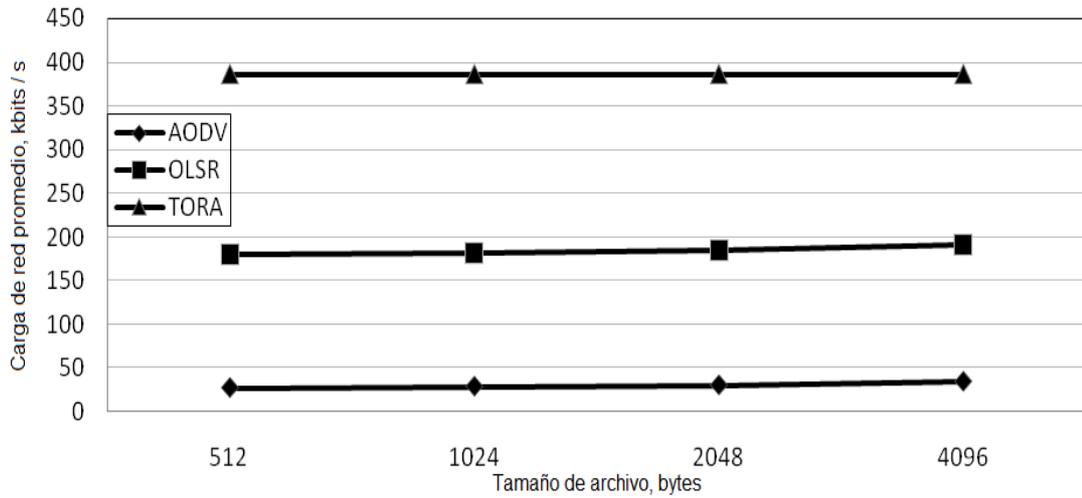


Figura 3. 15: Carga de red promedio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m / s
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 14: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima del nodo 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	183.25	189.93	189.19	192.89
OLSR	1289.70	1291.64	1293.59	1293.74
TORA	770.38	770.38	770.38	770.38

Elaborado por: Autor.

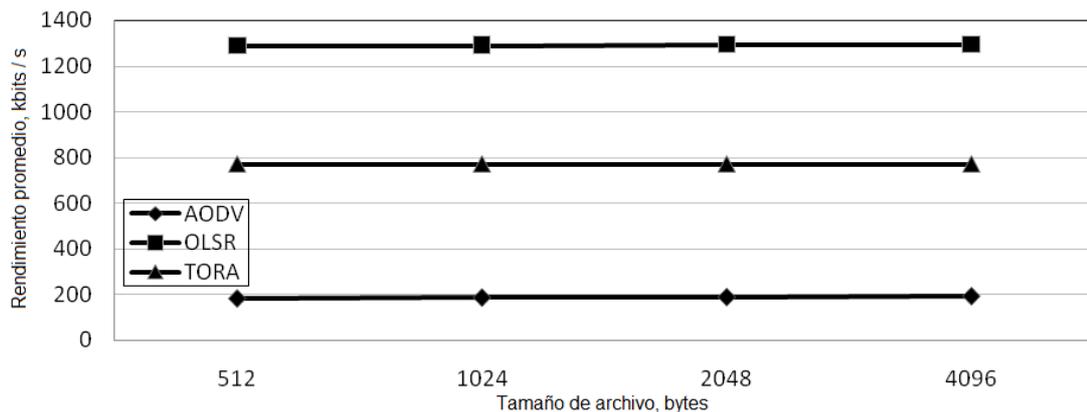


Figura 3. 16: Carga de red promedio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 15: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 nodos y velocidad máxima del nodo 5 m/s.

Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
	512	1024	2048	4096
AODV	183.25	189.93	189.19	192.89
OLSR	1289.70	1291.64	1293.59	1293.74
TORA	770.38	770.38	770.38	770.38

Elaborado por: Autor.

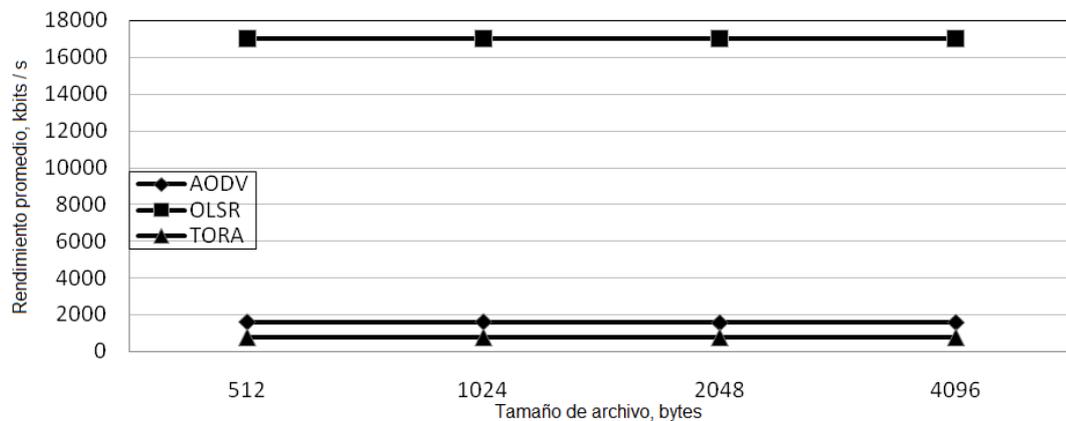


Figura 3. 17: Rendimiento medio frente a un tamaño de archivo diferente con 100 nodos y una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

En MANET puede haber diferentes problemas de condición variable, como congestión, terminal oculto y degradación de la red. Estos problemas se vuelven más efectivos cuando aumenta el número de fuentes de tráfico. Por lo tanto, el retardo se convierte en un factor importante que lo determina la red. Las figuras 3.12 y 3.13 y también las tablas 3.10 y 3.11 para el retardo promedio de extremo a extremo revelan que, normalmente en el protocolo ODV; no hay muchos paquetes en el búfer que deben esperar la transmisión en la ruta, pero la tasa de pérdida del paquete aumenta con el aumento del tamaño del archivo porque se enviaron en las rutas anteriores y se necesita más tiempo para enviar el archivo con talla grande.

Por lo tanto, AODV requiere una actualización periódica de la información, pero presenta un retardo promedio razonable de extremo a extremo. En la figura 3.12, debido a la característica AODV (mecanismo de

enrutamiento salto-por-salto (hop-by-hop) utilizado y elimina la sobrecarga de enrutamiento de origen en la red) cuando el tamaño del archivo aumenta, el retardo promedio extremo-a-extremo disminuirá. Resulta que mostrar esto afecta más cuando el tamaño del archivo se vuelve más grande. OLSR logra demoras más cortas cuando se corresponde con el protocolo AODV, ya que es un protocolo de enrutamiento proactivo donde cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento con posibles destinos y el número de saltos a cada destino. Cuando un paquete llega a un nodo; se envía de inmediato o se deja.

Las figuras 3.14 y 3.15 también las tablas 3.12 y 3.13 presentan la carga de red promedio para los protocolos. En el caso de cambios topológicos, TORA realiza la actualización de la información de ruta y el establecimiento de la ruta que aumenta la carga promedio de la red y disminuye el rendimiento en TORA en comparación con otros protocolos. Las figuras 3.16 y 3.17, también las tablas 3.14 y 3.15 para el rendimiento promedio, revelan que, entre los tres protocolos de enrutamiento existentes propuestos, se muestra que el protocolo OLSR es el más efectivo. En OLSR con la ayuda de MPR, continúa el mantenimiento de la información y la actualización del enrutamiento, como resultado la reducción de la sobrecarga de enrutamiento. Esto hace que el protocolo OLSR sea independiente en el tráfico de red al recibir más paquetes de datos.

AODV es admirable, cuando el objetivo es lograr un mayor rendimiento independientemente del tamaño de archivo incremental. AODV se utilizó el mecanismo de enrutamiento hop-by-hop y elimina la sobrecarga de enrutamiento de origen en la red. Además de eso, la disponibilidad de información de ruta múltiple en AODV hace que sea más fácil producir la mayor cantidad de rendimiento en la red. En los cuadros 3.10 a 3.15 y figuras 3.12 a 3.17, se observa que cambiar el tamaño del archivo afecta levemente las métricas en los protocolos OLSR y AODV. También se muestra que casi no hay efecto en el protocolo TORA.

Para mayor claridad del segundo escenario en las figuras 3.18 a 3.25 y tablas 3.16 a 3.18, los resultados de 40 nodos y 100 nodos se compararon

con diferentes métricas de rendimiento. Las diferencias entre ellos se ilustran a continuación:

Tabla 3. 16: Resultados de simulación de un retraso promedio de extremo a extremo en ms con 40 y 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

No de nodos	Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
		512	1024	2048	4096
40	AODV	0.32	0.34	0.35	0.22
	OLSR	0.27	0.27	0.28	0.28
	TORA	31.21	26.54	24.46	31.17
100	AODV	0.85	0.81	0.79	0.56
	OLSR	0.45	0.45	0.45	0.46
	TORA	36144.81	36144.81	36144.81	36144.81

Elaborado por: Autor.

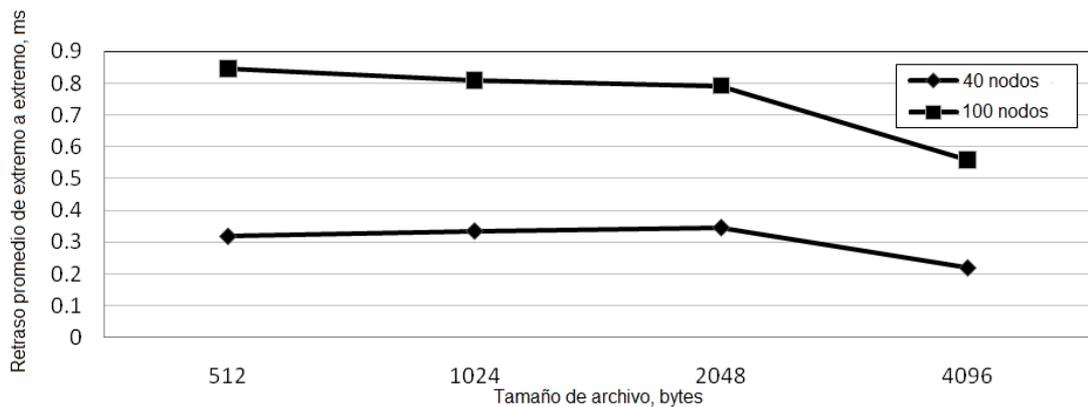


Figura 3. 18: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo para AODV con una velocidad de nodo máxima de 5 m / s

Elaborado por: Autor.

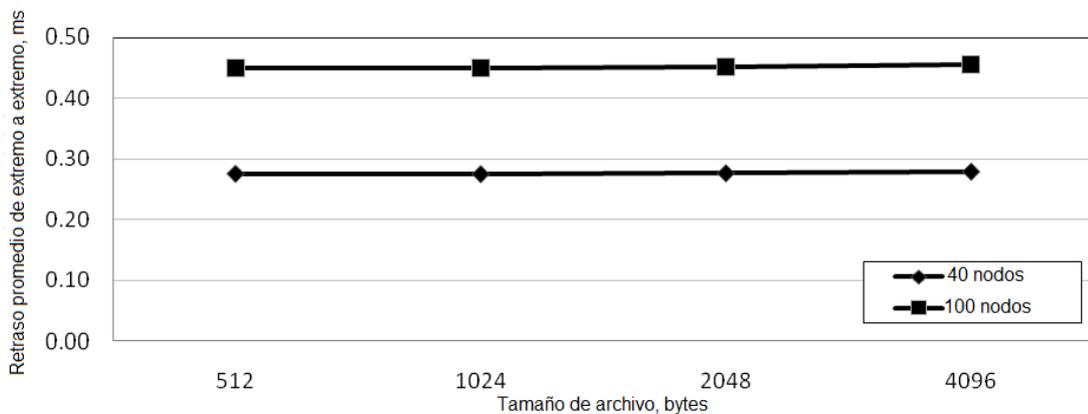


Figura 3. 19: Retraso promedio de extremo a extremo frente a tamaño de archivo para OLSR con velocidad de nodo máxima de 5 m / s

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 17: Resultados de simulación de carga de red promedio en Kbps con 40 y 100 nodos y velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

No de nodos	Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
		512	1024	2048	4096
40	AODV	6.64	7.43	8.74	10.50
	OLSR	34.71	35.36	36.77	39.44
	TORA	225.52	200.89	186.95	225.38
100	AODV	27.31	29.04	30.40	34.58
	OLSR	179.87	181.31	184.20	190.79
	TORA	386.33	386.33	386.33	386.33

Elaborado por: Autor.

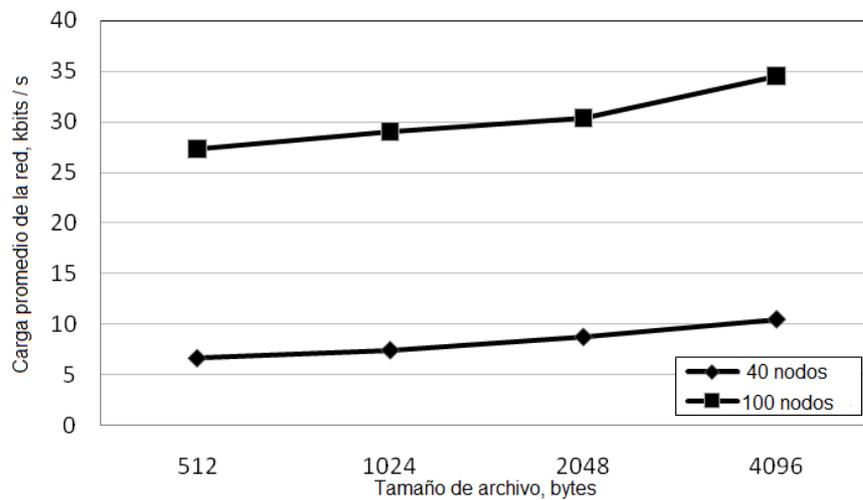


Figura 3. 20: Carga media de la red frente a tamaño de archivo para AODV con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

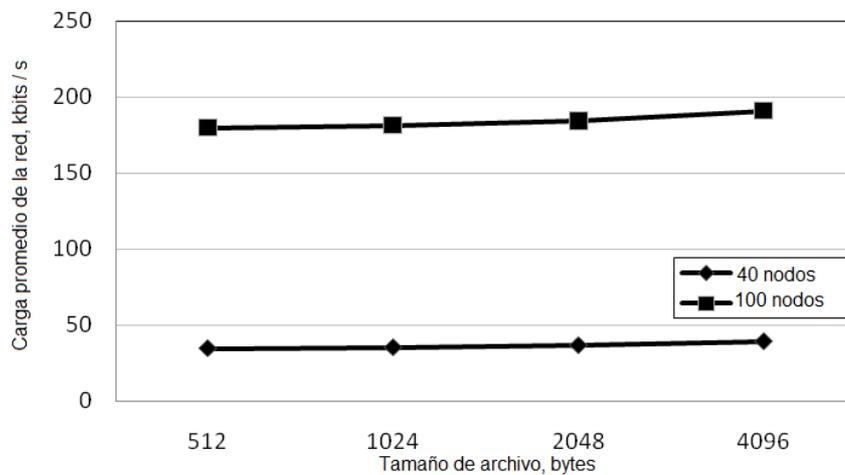


Figura 3. 21: Carga de red promedio frente a tamaño de archivo para OLSR con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

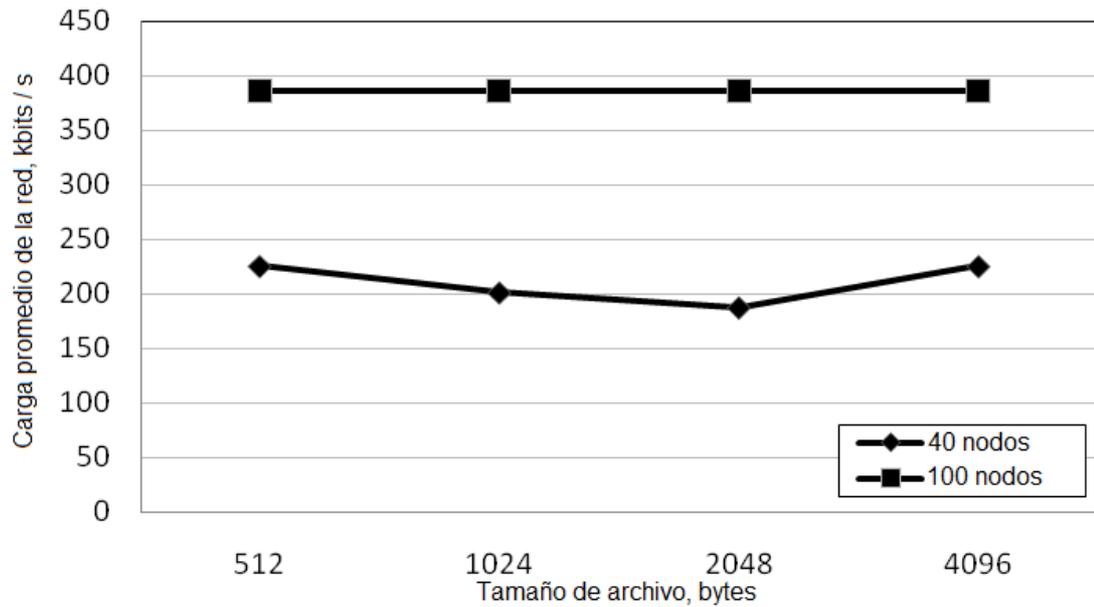


Figura 3. 22: Carga de red media frente al tamaño de archivo para TORA con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 18: Resultados de simulación del rendimiento medio en Kbps con 40 y 100 nodos con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

No de nodos	Protocolo	Tamaño de archivo, bytes			
		512	1024	2048	4096
40	AODV	183.25	189.93	189.19	192.89
	OLSR	1289.70	1291.64	1293.59	1293.74
	TORA	486.05	429.11	396.57	481.56
100	AODV	1603.08	1609.12	1555.19	1576.14
	OLSR	17023.76	17013.43	16997.27	17002.14
	TORA	770.38	770.38	770.38	770.38

Elaborado por: Autor.

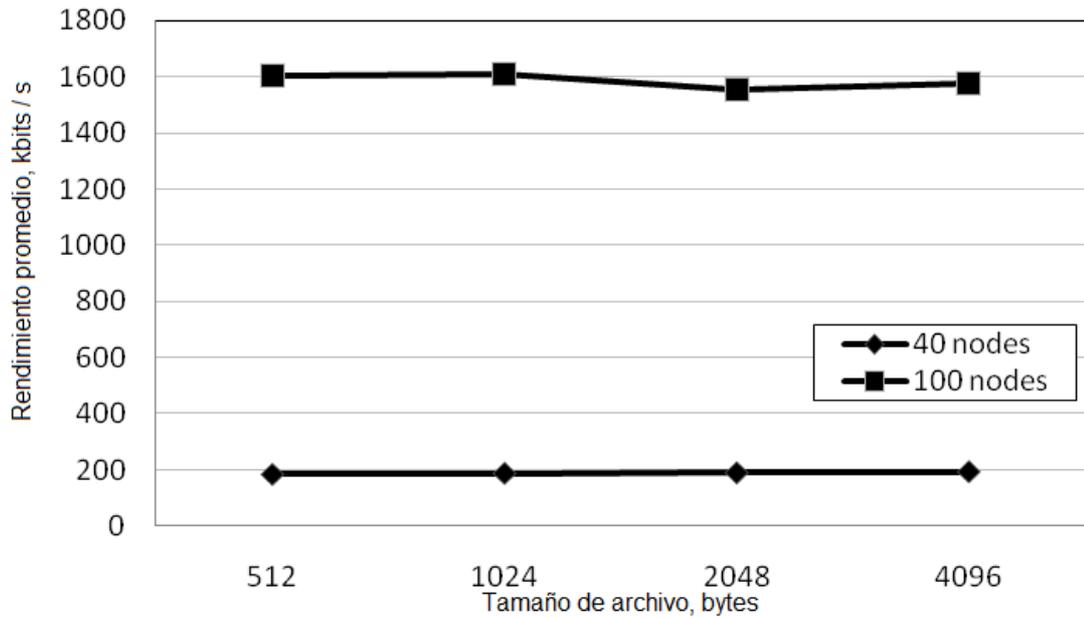


Figura 3. 23: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo para AODV con una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.
Elaborado por: Autor.

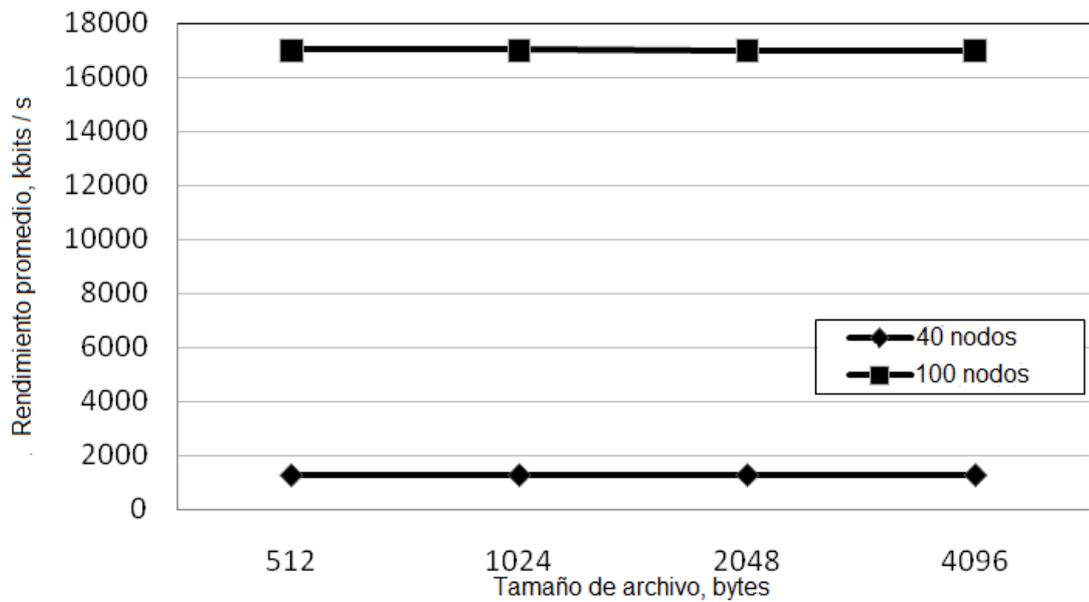


Figura 3. 24: Rendimiento promedio frente a tamaño de archivo para OLSR con una velocidad máxima de nodo de 5 m/s.
Elaborado por: Autor.

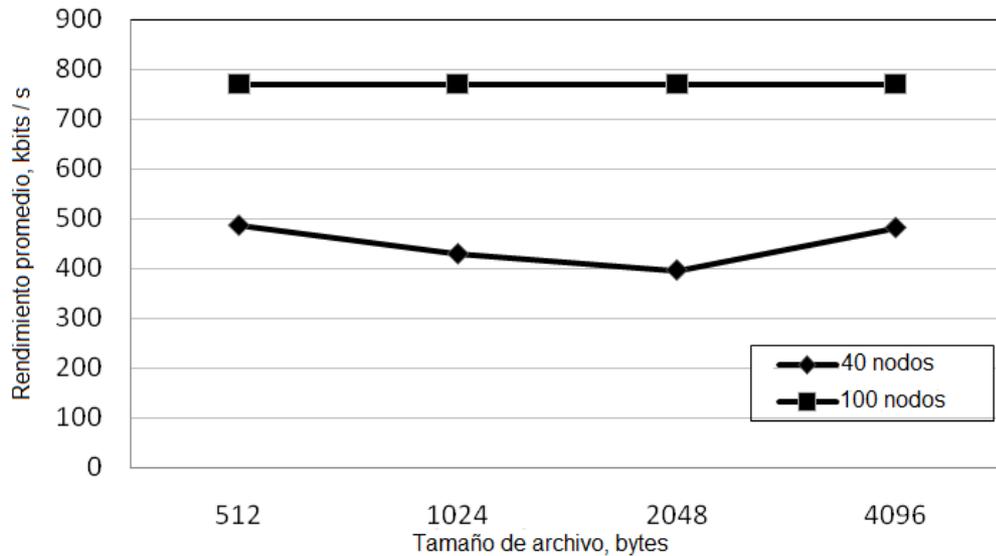


Figura 3. 25: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo para TORA con una velocidad de nodo máxima de 5 m/s.

Elaborado por: Autor.

Debe señalarse aquí cuando el número de nodos cambió de 40 a 100 nodos, todos los resultados se incrementaron.

3.3.3. Investigación de diferentes velocidades de nodo

En este conjunto de simulaciones, se observó el efecto de diferentes velocidades de nodo (5 m/s, 30 m/s y 50 m/s) para los protocolos de enrutamiento con número fijo de nodos (100). Todos los parámetros restantes son los mismos que en el escenario anterior.

Tabla 3. 19: Resultados de rendimiento AODV para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo.

Métricas de rendimiento	Velocidad (m/s)	Tamaño de archivo, byte			
		512	1024	2048	4096
Retraso promedio de extremo a extremo, ms	5	0.85	0.81	0.79	0.56
	30	0.58	0.64	0.78	0.78
	50	0.51	0.40	0.39	0.60
Carga promedio de la red, Kbits / s	5	27.31	29.04	30.40	34.58
	30	25.14	28.91	32.21	38.73
	50	24.64	26.98	29.91	37.58
Rendimiento medio de la red, Kbits / s	5	1603.08	1609.00	1555.19	1576.05
	30	1658.37	1699.00	1619.32	1639.46
	50	1658.37	1795.37	1804.02	1693.97

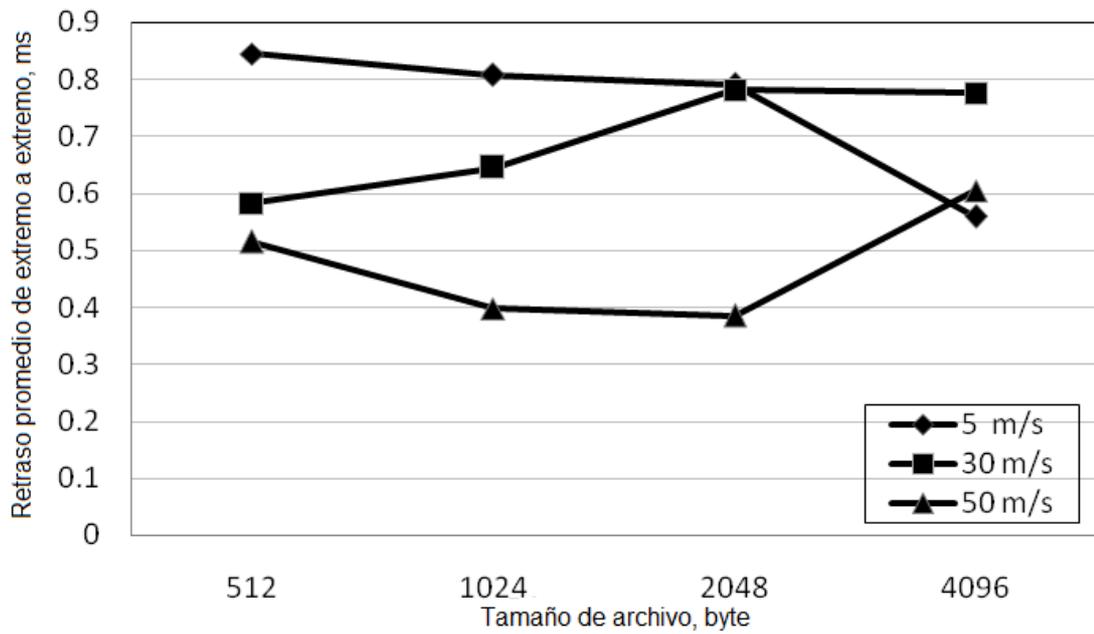


Figura 3. 26: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para el protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

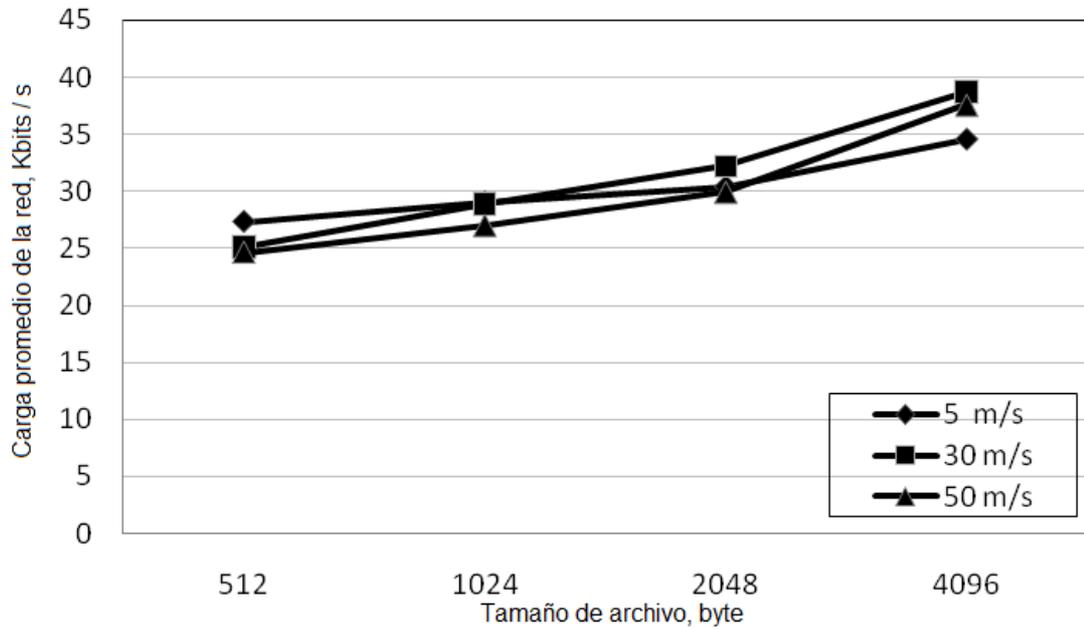


Figura 3. 27: Carga de red promedio frente a tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

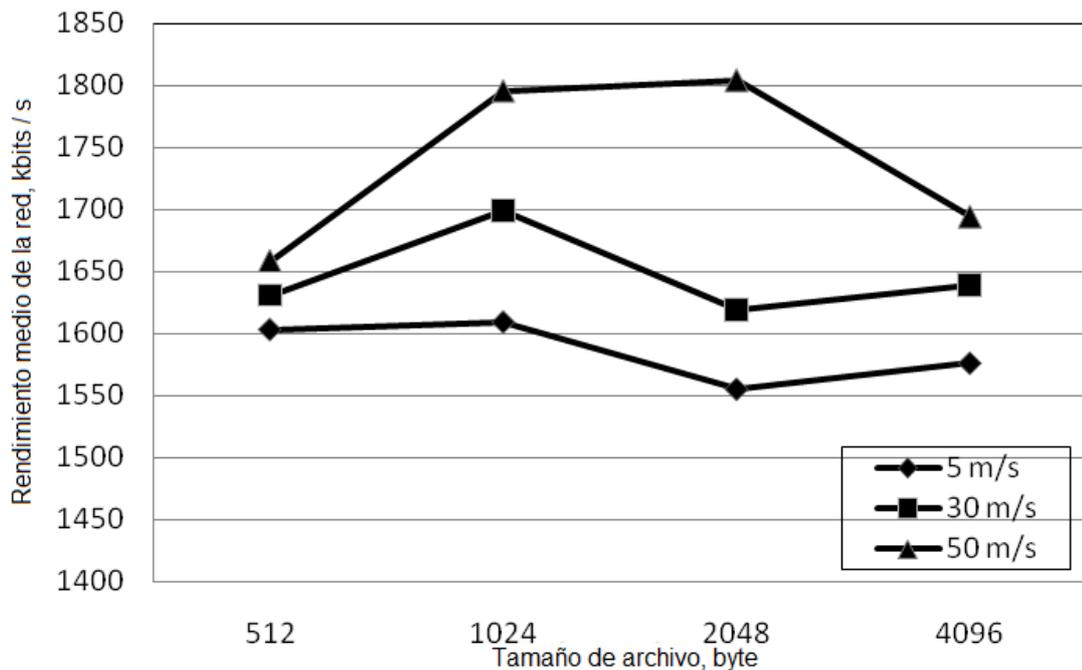


Figura 3. 28: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para el protocolo AODV con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

La velocidad de los nodos se juega un papel importante en la determinación de las métricas de rendimiento de los protocolos de enrutamiento. Cabe señalar que, cuando la velocidad de los nodos aumenta, se eliminan más paquetes debido a rutas no disponibles.

La tabla 3.19 y las figuras 3.26 y 327 se muestran con la incidencia de una mayor velocidad de movilidad. Se encuentra que el rendimiento de AODV aumenta a medida que la topología de red se mantiene constante para una red de baja velocidad con la menor tasa de movilidad. Incluso cuando la velocidad aumenta, AODV se ve ligeramente afectado.

Las tablas de enrutamiento se actualizan con más frecuencia en respuesta a los cambios de topología en la red que se muestran en menos caídas de paquetes y menos degradación del rendimiento.

AODV opera la estrategia de enrutamiento bajo demanda. No puede mantener las rutas no utilizadas en la red. En cambio, AODV siempre está buscando nuevas rutas cuando lo necesita (método bajo demanda), por lo que

no guarda rutas enteras en la red y tampoco puede preservar las rutas no utilizadas en la red. Esta estrategia generalmente genera menos tráfico de control. Sin embargo, el retardo general de extremo a extremo aumenta en la red porque los archivos están esperando en el búfer, hasta que se enviarán por nuevas rutas.

Tabla 3. 20: Resultados de rendimiento de OLSR para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo

Métricas de rendimiento	Velocidad (m/s)	Tamaño de archivo, byte			
		512	1024	2048	4096
Retraso promedio de extremo a extremo, ms	5	0.4496	0.4497	0.4508	0.4552
	30	0.4507	0.4517	0.4501	0.4524
	50	0.4533	0.4544	0.4544	0.4566
Carga promedio de la red, Kbits / s	5	179.87	181.31	184.20	190.79
	30	180.98	183.08	184.46	191.26
	50	180.31	181.89	184.46	191.26
Rendimiento medio de la red, Kbits / s	5	17023.76	17013.43	16997.27	17002.14
	30	17410.80	17473.68	17426.61	17423.62
	50	17392.23	17383.44	17369.93	17367.78

Elaborado por: Autor.

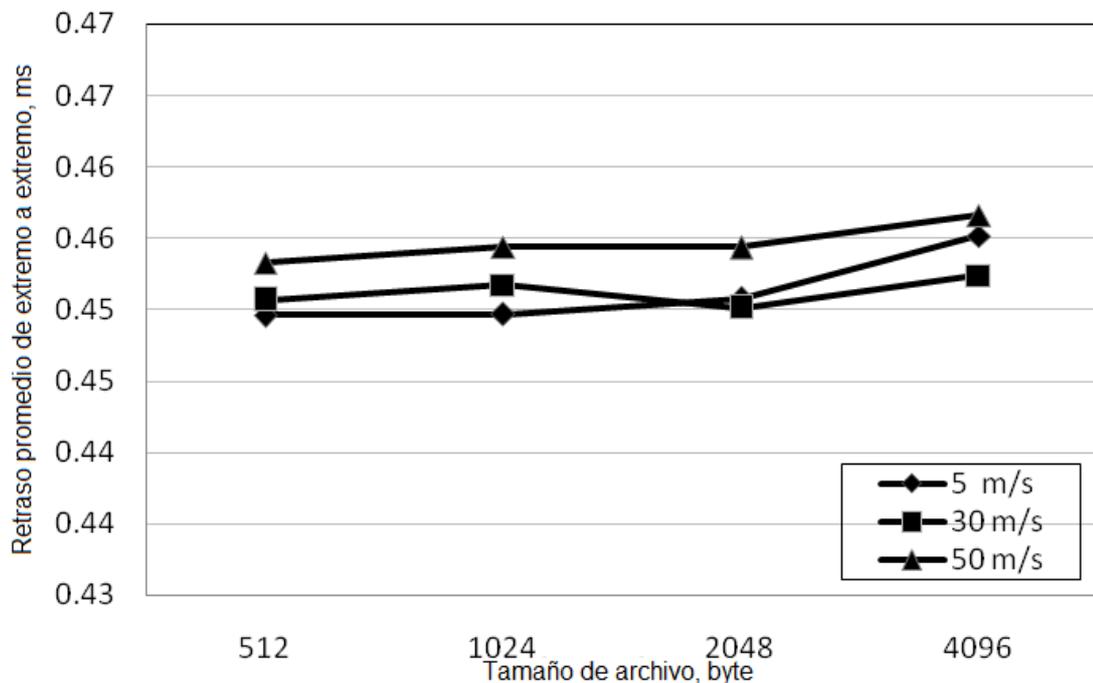


Figura 3. 29: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo

Elaborado por: Autor.

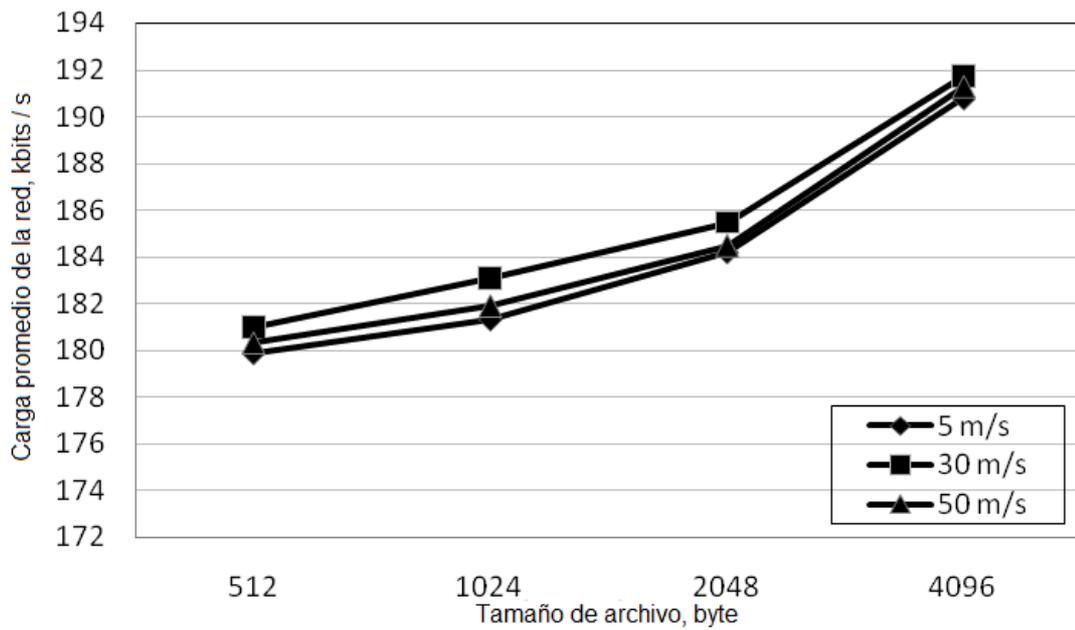


Figura 3. 30: Carga de red promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

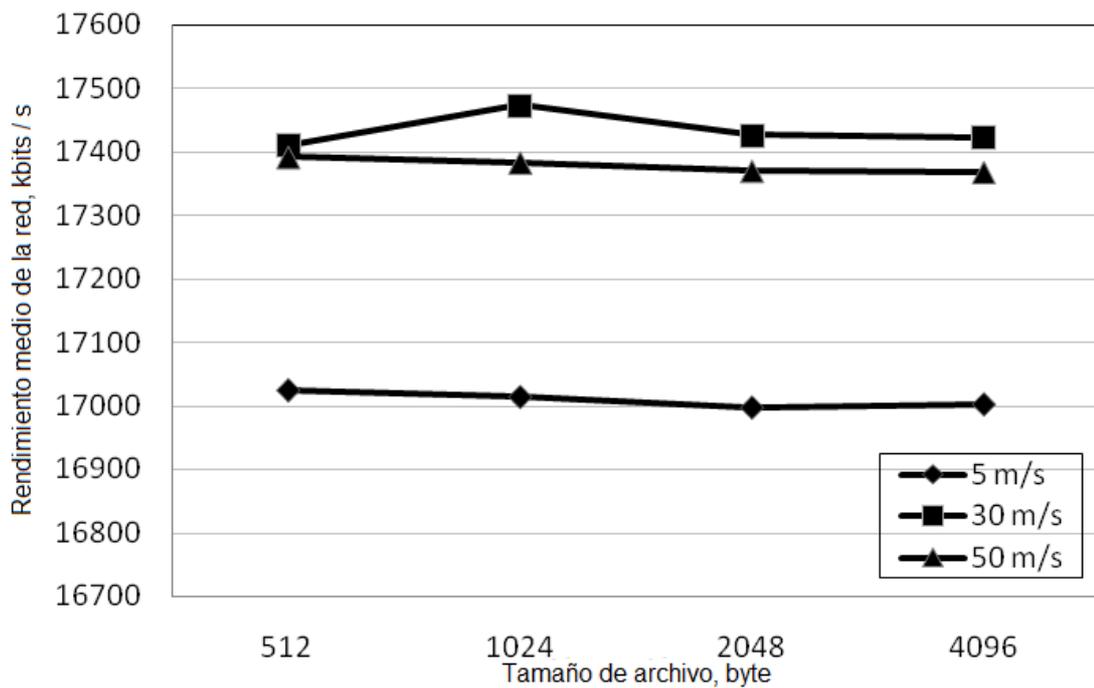


Figura 3. 31: Rendimiento promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo OLSR con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

De la tabla 3.20 y las figuras 3.29 a 3.31, el protocolo OLSR para mantener rutas consistentes, actualiza su tabla de enrutamiento con frecuencia. Por lo tanto, la movilidad de los nodos muestra un menor impacto

sobre el rendimiento del protocolo OLSR. OLSR puede detectar fallas de enlace antes que los protocolos AODV y TORA, por lo que se pierden menos paquetes cuando aumenta la velocidad. Mediante el intercambio de actualizaciones de enrutamiento periódico entre nodos incluso en ausencia de datos, OLSR muestra el rendimiento de red promedio más alto.

Tabla 3. 21: Resultados de rendimiento de TORA para 100 nodos con diferentes velocidades y tamaños de archivo.

Métricas de rendimiento	Velocidad (m / s)	Tamaño de archivo, byte			
		512	1024	2048	4096
Retraso promedio de extremo a extremo, ms	5	36144.81	36144.81	36144.81	36144.81
	30	41687.44	41687.44	41687.44	41687.44
	50	39838.19	39838.19	39838.19	39838.19
Carga promedio de la red, Kbits / s	5	386.33	386.33	386.33	386.33
	30	387.49	387.49	387.49	387.49
	50	380.99	380.99	380.99	380.99
Rendimiento medio de la red, Kbits / s	5	770.38	770.38	770.38	770.38
	30	762.02	762.02	762.02	762.02
	50	741.94	741.94	741.94	741.94

Elaborado por: Autor.

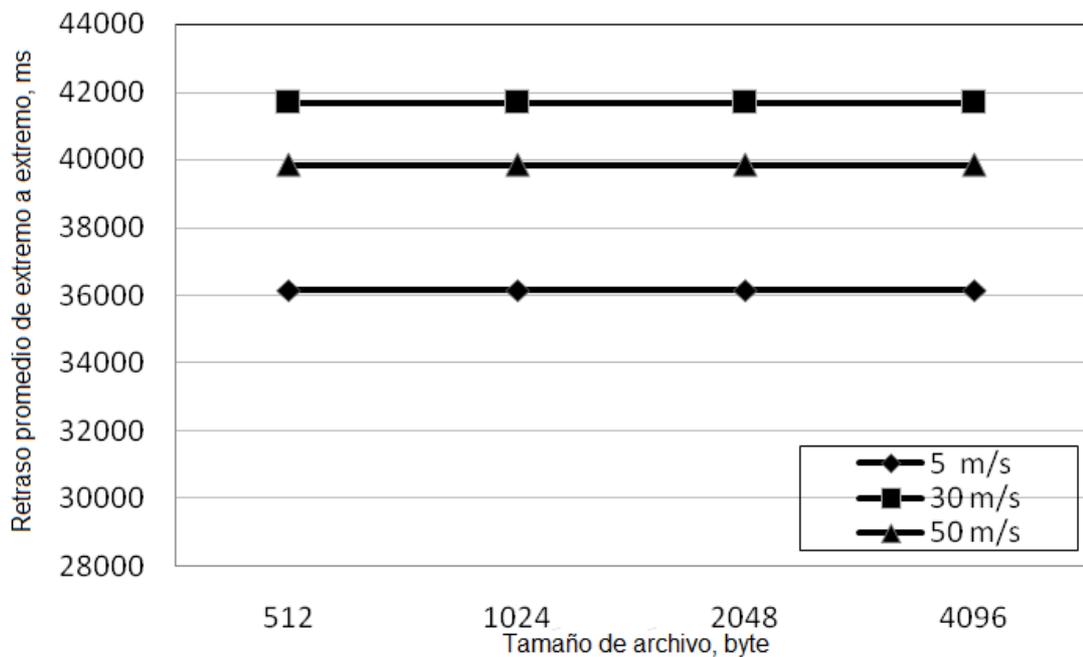


Figura 3. 32: Retraso promedio de extremo a extremo versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo

Elaborado por: Autor.

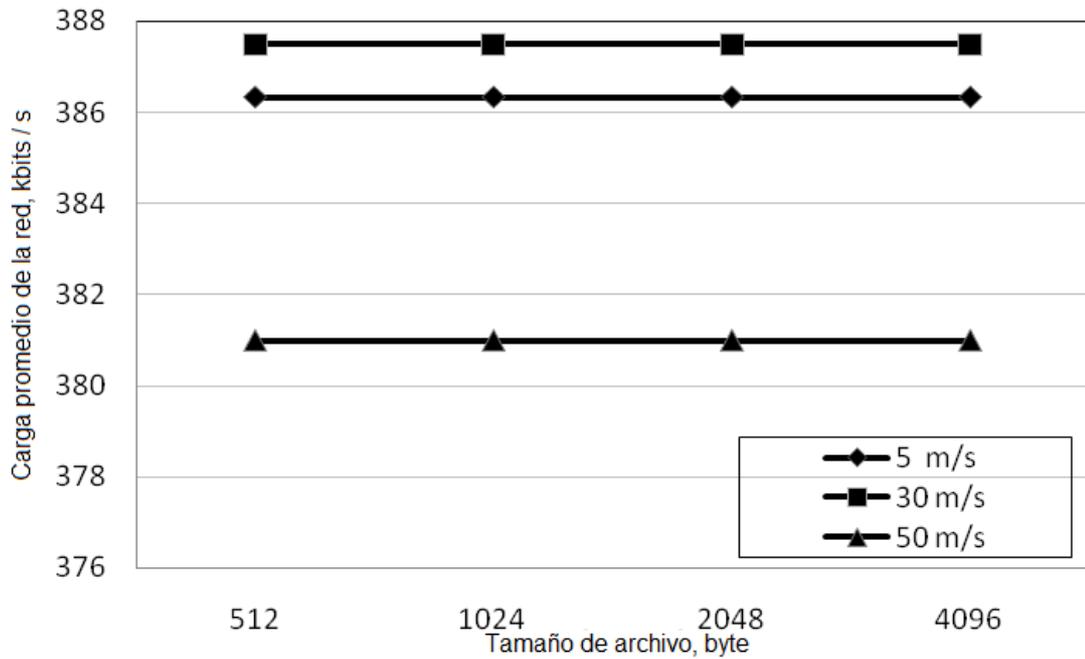


Figura 3. 33: Carga de red promedio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

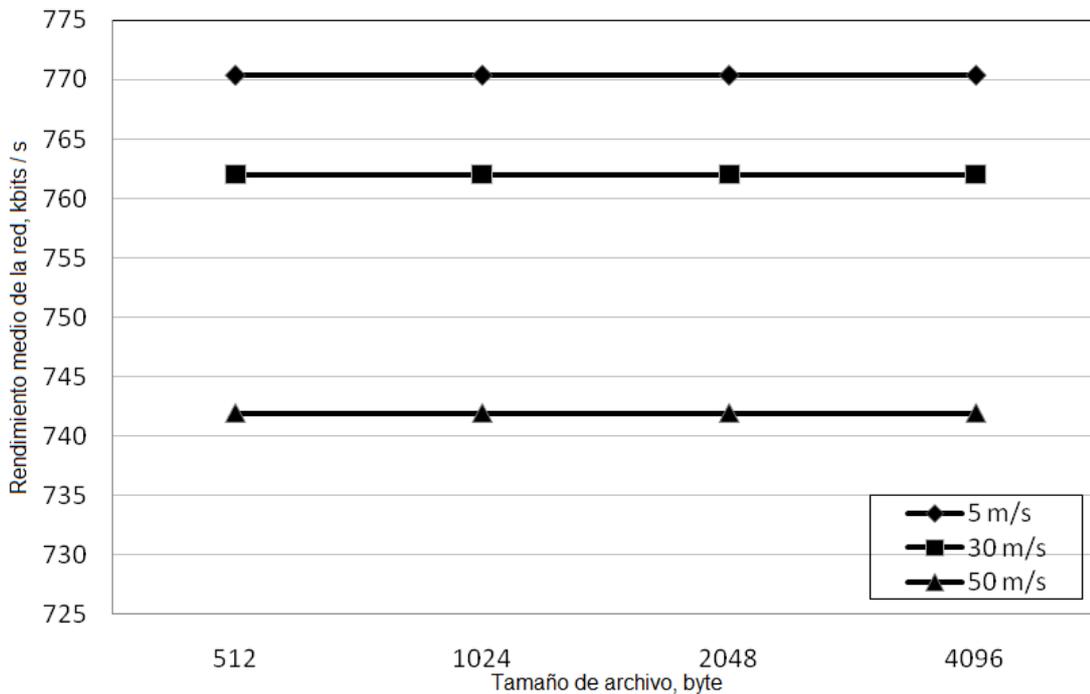


Figura 3. 34: Rendimiento medio versus tamaño de archivo con 100 nodos para protocolo TORA con diferentes velocidades de nodo
Elaborado por: Autor.

En la capa de red de los protocolos de enrutamiento reactivo, se prescinde de eliminar más paquetes mientras el protocolo de enrutamiento todavía está calculando la ruta hacia el destino, también hay más

posibilidades de desbordamiento de búfer. Debido a estos atributos, los malos rendimientos se muestran en el protocolo TORA en la tabla 3.21 y las figuras 3.32 a 3.34.

Debido a que el mecanismo de descubrimiento de ruta inicial en el rendimiento de TORA tarda más tiempo, el rendimiento de TORA podría verse afectado en la partición de la red debido a la alta movilidad. Aparte de eso, la pérdida de información a distancia debido a la falla del enlace en una red de movilidad también hace que TORA tenga una demora promedio pobre de extremo a extremo en la red.

En correspondencia con la alta movilidad y la respuesta a los cambios topológicos, TORA sigue un método adaptativo que aumenta la carga de la red y disminuye los rendimientos para actualizar la información de ruta.

3.4. Resultados de simulación y discusiones

El análisis de cada parámetro diferente produce resultados diferentes. Para encontrar el rendimiento más alto, el menor retardo de extremo a extremo y la carga de red entre los nodos de origen y de destino, se realizaron algunos escenarios en la parte anterior del presente trabajo de titulación.

Al considerar las primeras tablas y figuras de escenarios que se fijaron en un tamaño de archivo de 512 bytes, 5 m/s de velocidad máxima para cada nodo y diferente número de nodos; TORA ha demostrado un mayor retardo de extremo a extremo en comparación con AODV y OLSR. El resultado experimental también muestra que TORA tiene un rendimiento más bajo en comparación con AODV y OLSR. AODV y OLSR tienen el menor promedio de retardo de extremo a extremo donde, como en el caso de TORA, el promedio de retardo de extremo a extremo es significativamente alto.

Cuando la cantidad de nodos móviles aumenta, los datos que se necesitan para llegar al destino específico deben pasar de muchos dispositivos móviles, por lo que aumenta el retardo de extremo a extremo en TORA y lo hace excesivo, y también cuando el número de nodos con alto el

tráfico aumenta, el caché de rutas hace que el retardo de extremo a extremo empeore.

En el entorno de tráfico medio, observar las tablas y figuras del segundo escenario donde el tamaño del archivo se modificó a 1028, 2048 y 4096 bytes, donde el protocolo OLSR muestra un mejor rendimiento que AODV y TORA, y también el menor tiempo de retardo de extremo a extremo.

Aquí para que AODV encuentre una nueva ruta óptima debido a la transmisión frecuente de la reinicialización de rutas y el mensaje RRQ también debido al uso del número de secuencia de destino para cada RRQ, aumentan la eficacia del enlace sin necesidad de ejecutar la tabla de enrutamiento grande cada vez.

En escenarios de alta movilidad en el tercer escenario de simulación, el protocolo OLSR también muestra un mejor rendimiento que AODV y TORA con diferente tamaño de archivo y velocidad. Como OLSR no guarda todas las partes de nodos, mantiene un salto y dos vecinos de salto, se vuelve más impresionante en el proceso de actualización de enlace. Además, OLSR minimiza el cruce del mensaje de control mediante relés multipunto y disminuye el retardo promedio de extremo a extremo en comparación con AODV y TORA.

OLSR es ideal para redes de pequeño y gran tamaño con alta movilidad. También funciona mejor en la movilidad de nodos bajos en redes grandes. AODV funciona bien en redes de tamaño mediano con una gran carga de tráfico. Con respecto a la demora promedio de extremo a extremo, el tiempo promedio de carga de la red y el rendimiento promedio, OLSR ha mostrado un mejor rendimiento que AODV y TORA.

En TORA con el número creciente de nodos y la velocidad de ellos, el rendimiento no se ve afectado; estos se debían a mantener un conglomerado de nodos en la topología dividiéndolos en diferentes conjuntos de nodos.

OLSR exhibió muy baja demora de extremo a extremo en todos los escenarios. AODV tuvo un retardo mejorado de extremo a extremo cuando la red crece, pero cuando aumenta la velocidad no tuvo un efecto en el retardo de extremo a extremo. Se puede concluir que MANET podría tener un número dinámico de conectividad de nodos en movilidad, en general, cuando el número de nodos es mayor, se evitarían AODV y TORA.

Con el aumento en el número de nodos y debido a la movilidad, el rendimiento de AODV y TORA se ven menos afectados. Es importante darse cuenta de que OLSR tiene un mejor desempeño del rendimiento, como se muestra en todas las figuras, en comparación con AODV y TORA.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- El trabajo de titulación incluye dos partes, el estudio fundamental de las redes ad-hoc móviles y el estudio de simulación. De la primera parte se concluye que los protocolos de enrutamiento juegan un papel muy importante en el desempeño de las redes ad-hoc. Diferentes protocolos tienen diferentes cualidades; algunos de los protocolos funcionan mejor que otros en una métrica al usarlos en un escenario específico y peor en el otro y la selección de un protocolo adecuado definitivamente aumenta el rendimiento de la red. El estudio de la encuesta reveló que en redes móviles ad-hoc, tres categorías de protocolos de enrutamiento; se usan los proactivos, reactivos e híbridos.
- En este estudio de la categoría proactiva OLSR, de la categoría reactiva AODV y TORA se evalúan utilizando el simulador OPNET bajo el tamaño de tráfico de carga media en protocolo FTP. TORA puede funcionar de manera reactiva y proactiva, pero aquí se usa como protocolo reactivo.
- De acuerdo con los resultados de la simulación y las observaciones, se extraen varias conclusiones de la siguiente manera. En general, los protocolos proactivos funcionan mejor en caso de un rendimiento medio, un retardo promedio de extremo a extremo y una carga de red promedio. El protocolo OLSR parece estar bien, ya que presenta un menor retardo de extremo a extremo y el mayor rendimiento. El retardo en el protocolo OLSR tiene cambios muy pequeños cuando aumenta el número de nodos. Por otro lado, entre dos protocolos reactivos, AODV y TORA, AODV parece tener más éxito que TORA en las métricas de rendimiento. Sin embargo, TORA tiene un rendimiento menor en comparación con AODV y OLSR.

4.2. Recomendaciones.

- Utilizar herramientas de simulación de redes de comunicaciones tales como Riverbed Modeler, OMNeT y NS-3.
- Realizar modelados de simulación de los protocolos AODV, OLSR y TORA utilizando la plataforma NS-3.

Bibliografía

- 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, Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8343>
- Dou, Z., Wang, X., & Li, Y. (2018). Coordinate-based addressing for MANET. *Telecommunication Systems*. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0499-0>
- Fazeli, M., & Vaziri, H. (2011). Assessment of Throughput Performance Under OPNET Modeler Simulation Tools in Mobile Ad Hoc Networks (MANETs). En *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks* (pp. 328–331). Bali, Indonesia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CICSyN.2011.75>
- Jagadev, N., Kumar Pattanayak, B., Singh, D., & Sahoo, S. (2018). A Survey on Bandwidth Management in MANET. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.4), 38. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.4.14672>
- Kulla, E., Ikeda, M., Barolli, L., Xhafa, F., Younas, M., & Takizawa, M. (2013). Investigation of AODV Throughput Considering RREQ, RREP and RERR Packets. En *2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 169–174). Barcelona: IEEE. <https://doi.org/10.1109/AINA.2013.135>
- Lahav, J., & Stulman, A. (2013). Virtual Mobile Ad-hoc Networks. En *2013 IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems* (pp. 433–434). Hangzhou, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MASS.2013.95>
- Lee, J. H., Park, M.-S., & Shah, S. C. (2017). Wi-Fi direct based mobile ad hoc network. En *2017 2nd International Conference on Computer and*

Communication Systems (ICCCS) (pp. 116–120). Krakow, Poland: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCOMS.2017.8075279>

Muralidhar, K., & Madhavi, K. (2017). An investigation into the operational limitations of mobile ad hoc networks. En *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)* (pp. 1373–1376). Chennai: IEEE. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2017.8299988>

Pan, L.-L. (2014). An optimization strategy for DSR protocol. En *The 7th IEEE/International Conference on Advanced Infocomm Technology* (pp. 143–147). Fuzhou, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAIT.2014.7019545>

Panda, N., & Pattanayak, B. K. (2018). Analysis of Blackhole Attack in AODV and DSR. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(5), 3093–3102.

Sati, S., & El-bareg, A. (2018). MANET Testbed using Raspberry Pis. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, 8(2), 52–63. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2018.02.05>

Shahapurkar, S. R. (2018). Effect of Group Mobility Models on Routing Protocols in MANET. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(6), 274–282. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.6044>

Sharma, A., & Kumar, R. (2016). Performance comparison and detailed study of AODV, DSDV, DSR, TORA and OLSR routing protocols in ad hoc networks. En *2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)* (pp. 732–736). Wagnaghat, India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/PDGC.2016.7913218>

Vásquez R., M. A. (2017). *Análisis comparativo del rendimiento y retardo entre protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos en una MANET*. (Trabajo de Titulación de Maestría). Universidad Católica de Santiago

de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8589>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Estrada Ordoñez, Erick Fabricio** con C.C: # 070466318-6 autor del Trabajo de Titulación: **Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 11 de Septiembre de 2018

f. _____

Nombre: Estrada Ordoñez, Erick Fabricio

C.C: 070466318-6

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet		
AUTOR(ES)	ESTRADA ORDOÑEZ, ERICK FABRICIO		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. PACHECO BOHÓRQUEZ, HÉCTOR IGNACIO		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de Septiembre de 2018	No. DE PÁGINAS:	80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de comunicación, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Redes, Ad-hoc, Móvil, Protocolos, Enrutamiento, TORA		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación se denomina “Desarrollo de escenarios de simulación de redes ad-hoc móviles inalámbricas utilizando diferentes protocolos de enrutamiento sobre la plataforma Opnet”. El trabajo se desarrolló a través de una investigación empírica analítica con enfoque cuantitativo, en el capítulo 1 se describió el problema a investigar, los antecedentes, la justificación del problema, demás temas que justifiquen el presente trabajo. En el capítulo 2, se describe las bases fundamentales de la teoría de las comunicaciones inalámbricas específicamente la topología ad-hoc móvil y sus respectivos protocolos de enrutamiento. En el capítulo 3, se desarrollan los diferentes escenarios de simulación con variantes en los protocolos de enrutamiento, tales como AODV, OLSR y TORA. Cada escenario evaluó las métricas del rendimiento de la red ad-hoc móvil utilizando el software de simulación Opnet Modeler. Finalmente, se presentan las conclusiones de los escenarios de simulación de MANET y las recomendaciones que se realizan para el desarrollo de futuros trabajos a investigar.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593999971661	E-mail: efestradao@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			