



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Simulación de protocolos de enrutamiento en una red inalámbrica Ad-
Hoc.**

AUTOR:

Calderón Parrales, Jan Antonio

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

TUTOR:

Suárez Murillo, Efraín Oswaldo

Guayaquil, Ecuador

12 de Septiembre del 2016



**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.
Calderón Parrales, Jan Antonio como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Suárez Murillo, Efraín Oswaldo

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Calderón PARRALES Jan Antonio**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Simulación de protocolos de enrutamiento en una red inalámbrica Ad-Hoc**” 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 12 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

CALDERÓN PARRALES JAN ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Calderón PARRALES Jan Antonio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Simulación de protocolos de enrutamiento en una red inalámbrica Ad-Hoc**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

CALDERÓN PARRALES JAN ANTONIO

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento	TT Calderón Jan.docx (D21667190)
Presentado	2016-09-08 15:10 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión TT Jan Cald erón Mostrar el mensaje completo 2% de esta aprox. 19 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes		Bloques
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo
+	>	Trabajo de Titulacion-Zambrano Jose- Cabrera J...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3...
+		http://docplayer.es/5187130-Universidad-catoli...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4...

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

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

TEMA:

Simulación de protocolos de enrutamiento en una red inalámbrica Ad-Hoc. AUTOR: Calderón Parrales, Jan Antonio

Trabajo de Titulación

previo a

la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: Suarez Murillo, Efraín Oswaldo

Guayaquil, Ecuador 12 de Septiembre del 2016

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Antonio Calderón y Mayra PARRALES, por el constante apoyo y sacrificio que han hecho, así mismo quiero dedicarle este logro a mi abuela Cecilia Muñoz, quien ya no se encuentra presente en el espacio terrenal pero siempre estuvo junto a mi desde los primeros pasos de mi vida universitaria, por siempre aconsejarme y motivarme para que pueda alcanzar esta tan anhelado título.

EL AUTOR

CALDERÓN PARRALES JAN ANTONIO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia en especial a mis padres, son los pilares fundamentales en mi vida que me motivan a alcanzar mi meta de convertirme en un profesional, dejándome claro que esto es solo el primer objetivo alcanzado, de una serie de logros que espero ir cumpliendo. A mis compañeros de universidad por el esfuerzo en conjunto realizado, a los profesores de la universidad por su enseñanza y apoyo, a mi tutor por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo de titulación, y a todos mis amigos y conocidos.

EL AUTOR

CALDERÓN PARRALES JAN ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

EFRAÍN OSWALDO SUÁREZ MURILLO

TUTOR

MIGUEL ARMADO HERAS SÁNCHEZ

DIRECTOR DE CARRERA

NESTOR ARMANDO ZAMORA SÁNCHEZ

COORDINADOR DE AREA

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Resumen.....	XIV
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes.	16
1.3. Definición del Problema.....	16
1.4. Justificación del Problema.....	17
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	17
1.5.1. Objetivo General.....	17
1.5.2. Objetivos Específicos.	17
1.6. Hipótesis.....	18
1.7. Metodología de Investigación.....	18
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE REDES INALÁMBRICAS AD-HOC.	19
2.1. Redes inalámbricas Ad-Hoc.....	19
2.1.1. Usos de redes Ad-Hoc.....	21
2.1.2. Características de las redes Ad-Hoc.	22
2.2. Enrutamiento de redes Ad-Hoc.	23
2.3. Los protocolos de enrutamiento Ad-hoc.....	24
2.3.1. Propiedades deseables	24
2.3.2. Redes móviles Ad-hoc – MANET.	26
2.4. Protocolo vector distancia de destino secuenciado - DSDV.....	30

2.5.	Protocolo de enrutamiento de vector distancia sobre demanda Ad-hoc, AODV.	31
2.5.1.	Gestión de tabla de direccionamiento.....	34
2.5.2.	Descubrimiento de ruta.....	34
2.5.3.	Mantenimiento de rutas.	35
2.6.	Protocolo de enrutamiento de origen dinámico – DSR.....	36
2.6.1.	Descubrimiento de rutas.....	36
2.6.2.	Mantenimiento de rutas.	37
2.7.	Protocolo de enrutamiento de zonas – ZRP.....	38
2.8.	Algoritmo de enrutamiento temporal ordenado – TORA.....	40
CAPÍTULO 3: Simulación de Protocolos.....		44
3.1.	Introducción a la simulación.	44
3.2.	Diseño del modelo de simulación para una red móvil Ad-hoc.....	45
3.3.	Parámetros de evaluación.....	47
3.4.	Resultados obtenidos usando protocolos de enrutamiento.	49
3.4.1.	Resultado obtenido de la simulación DSR.	49
3.4.2.	Resultado obtenido de la simulación TORA.....	53
3.4.3.	Resultado obtenido de la simulación AODV.....	56
3.5.	Análisis comparativo del rendimiento de protocolos simulados.....	60
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		65
4.1.	Conclusiones.....	65
4.2.	Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		67

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Esquemático de una red ad-hoc simple con tres nodos.	20
Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un nodo móvil.....	21
Figura 2. 3: Movimiento al azar de los nodos a diferentes velocidades y direcciones.....	22
Figura 2. 4: Ejemplo de una red móvil Ad-hoc.	27
Figura 2. 5: Clasificación de los protocolos de enrutamiento MANET.	28
Figura 2. 6: Funcionamiento del protocolo AODV.....	32
Figura 2. 7: Enrutamiento de mensajes en el protocolo AODV.....	33
Figura 2. 8: Arquitectura del protocolo de enrutamiento de zonas.....	38
Figura 2. 9: Arquitectura del protocolo de enrutamiento de zonas.....	40
Figura 2. 10: Grafo acíclico dirigido arraigada en el destino.	42

Capítulo 3

Figura 3. 1: Red Ad-hoc con 4 nodos.	45
Figura 3. 2: Diseño para el modelado del nodo móvil.	46
Figura 3. 3: Tráfico promedio enviado para el protocolo DSR.	50
Figura 3. 4: Tráfico promedio recibido para el protocolo DSR.	51
Figura 3. 5: Tiempo promedio de descubrimiento de ruta.....	52
Figura 3. 6: Número de saltos por ruta.	53
Figura 3. 7: Carga promedio usando protocolo TORA.....	54
Figura 3. 8: Control de tráfico enviado para el protocolo TORA.....	55
Figura 3. 9: Control de tráfico recibido para el protocolo TORA.....	55
Figura 3. 10: Tiempo de descubrimiento de ruta usando AODV.....	56

Figura 3. 11: Tráfico de enrutamiento recibido para los escenarios AODV..	57
Figura 3. 12: Tráfico de enrutamiento enviado para los escenarios AODV.	58
Figura 3. 13: Tiempo de respuesta de descarga FTP.....	59
Figura 3. 14: Tiempo de respuesta de carga FTP.....	59
Figura 3. 15: Promedio de datos caídos en los escenarios de simulación...	60
Figura 3. 16: Retardo promedio en los escenarios de simulación.....	62
Figura 3. 17: Capacidad de carga para los escenarios de simulación.	63
Figura 3. 18: Rendimiento de la red ad-hoc para los escenarios simulados.	64

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Listado de protocolos proactivos en redes MANET.	28
---	----

Resumen

Para el desarrollo del trabajo de titulación se tuvo que realizar una búsqueda bibliográfica de tesis de pregrado, posgrado, artículos en revistas científicas. Durante la investigación se observó diversas publicaciones en donde utilizan plataformas de simulación para redes de telecomunicaciones. Las plataformas GNS-3, Packet Tracer, OMNeT, MatLab y Labview son buenas herramientas de simulación, pero Opnet Modeler tiene mejores atributos al momento de realizar las configuraciones de cada uno de los dispositivos que se utilizan para la red ad-hoc, así como también dispone de las librerías para modelar los protocolos de enrutamiento, ya sean proactivos, reactivos o híbridos. El diseño realizado para el modelo de red móvil ad-hoc permite evaluar cualquier protocolo de enrutamiento, en este caso, se evaluaron DSR, ATORA y AODV. Actualmente, la mayoría de proyectos utilizan estas plataformas para medir tiempo de retardos, capacidad de carga y descarga usando el protocolo de transferencia de archivo (FTP), logrando determinar la factibilidad de implementar redes, ya sean inalámbricas, alámbricas (cobre o fibra óptica) entre otras.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1. Introducción.

En el año 1970 las redes inalámbricas eran las más populares en la industria de las comunicaciones. Estas redes ofrecen a los usuarios móviles prestaciones de computación ubicua y acceso a la información sin importar la ubicación de los usuarios. Las redes inalámbricas móviles se clasifican en dos tipos: redes de infraestructura e infraestructura menor (multisalto)

Las redes de infraestructura están conectados a través de un cable a entre una estación base (un ordenador) a otra estación base. Pero en las redes de menor infraestructura tienen menos enrutadores fijos, en la cual cada nodo puede ser el router. Todos los nodos son capaces de movimiento y se pueden conectar de forma dinámica en forma arbitraria.

Una red móvil Ad-hoc, también conocida como MANET (Mobile Ad-hoc Network) es totalmente auto-configurable, con menor infraestructura de red de los dispositivos móviles conectados sin cables. El termino Ad-hoc, proviene del latín y significa "para este fin", es decir que, para cada dispositivo en una red MANET, esta es libre de moverse independientemente en cualquier dirección y va a cambiar sus enlaces a otros dispositivos con frecuencia.

El principal desafío en la implementación de una MANET es equipar a cada dispositivo para mantener de forma continua la información necesaria para enrutar el tráfico correctamente.

1.2. Antecedentes.

Durante la búsqueda de información relacionada con el presente trabajo de titulación, se pudo constatar que existen trabajos de titulación, tesis, proyectos de fin de carrera, artículos en revistas, que realizan la evaluación de redes de comunicaciones a través de plataformas de simulación. Entre las plataformas encontradas tenemos: Packet Tracer, GNS3, OMNeT, MatLab, LabView, OptiSystem y Opnet.

El trabajo de titulación se evalúa una red inalámbrica móvil ad-hoc, y que está basado en trabajos similares encontrados. Este tipo de redes utilizan diversos protocolos de enrutamiento, que se clasifican en: proactivos, reactivos e híbridos, que serán descritos en la fundamentación teórica del capítulo 2.

1.3. Definición del Problema.

La mayoría de trabajos de titulación realizan propuestas de implementación en la que realizan su diseño a base de cálculos teóricos y sin utilizar una herramienta de simulación para ver su comportamiento y así ver la funcionalidad de la red a implementar. De acuerdo a esto, surge la

necesidad de realizar el modelo de simulación de una red inalámbrica móvil ad-hoc usando protocolos de enrutamiento.

1.4. Justificación del Problema.

El diseño de redes de comunicaciones, para este trabajo de titulación se escoge la red inalámbrica móvil ad-hoc. Esta red ad-hoc dispone de diferentes protocolos de enrutamiento, y en la que se puede evaluar el rendimiento de la red y comparar entre cada protocolo proactivo, reactivo o híbrido.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

De acuerdo a la definición del problema y justificación del problema a investigar, se procede a redactar el objetivo general y los objetivos específicos.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar el rendimiento de una red móvil ad-hoc mediante la simulación de protocolos de enrutamiento usando Opnet Modeler.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de redes inalámbricas móviles ad-hoc y de los protocolos de enrutamiento.
- Diseñar la simulación de la red inalámbrica móvil ad-hoc usando el programa Opnet Modeler.

- Evaluar los escenarios de simulación de la red inalámbrica móvil ad-hoc a través de protocolos de enrutamiento.

1.6. Hipótesis.

A través del modelo de simulación de una red inalámbrica móvil ad-hoc usando protocolos de enrutamiento se demostrará la funcionalidad y robustez de la plataforma Opnet Modeler para que los futuros profesionales que ingresen a la unidad de titulación especial de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones puedan realizar simulaciones de redes LAN, WLAN, GPON, entre otros sistemas de redes de telecomunicaciones.

1.7. Metodología de Investigación.

La metodología de investigación según Sabino (2014) “puede definirse como un esfuerzo que se emprende para resolver un problema, claro está, un problema de conocimiento” (Arias, 2012). Bajo esta definición encontrada por los autores Sabino y Arias, el presente trabajo de titulación se basa en un enfoque cuantitativo, cuyo método es el empírico-analítico y el diseño de investigación es descriptivo, exploratorio y causal.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE REDES INALÁMBRICAS AD-HOC.

2.1. Redes inalámbricas Ad-Hoc.

Una red inalámbrica Ad-Hoc, es una colección de nodos móviles y semi-móviles con ninguna infraestructura preestablecida, formando una red temporal. Cada uno de los nodos tiene una interfaz inalámbrica y se comunican entre sí a través de la radio o de infrarrojos. Los ordenadores portátiles y asistentes digitales personales que se comunican directamente entre sí son algunos ejemplos de nodos en redes Ad-Hoc.

Los nodos de la red Ad-Hoc son a menudo móviles, pero también pueden consistir de nodos estacionarios, tales como, los puntos de acceso (*Access Point, AP*) a Internet. Mientras, que los nodos semi-móviles se pueden utilizar para implementar puntos de relevo en las zonas donde los puntos de red pueden ser necesarias temporalmente.

En la figura 2.1 se muestra una red Ad-Hoc sencilla con tres nodos. Los nodos más externos no están dentro del rango del transmisor de la otra. Sin embargo, el nodo intermedio puede ser utilizado para reenviar paquetes entre los nodos más externos. El nodo intermedio está actuando como un router y los tres nodos han formado una red ad-hoc.

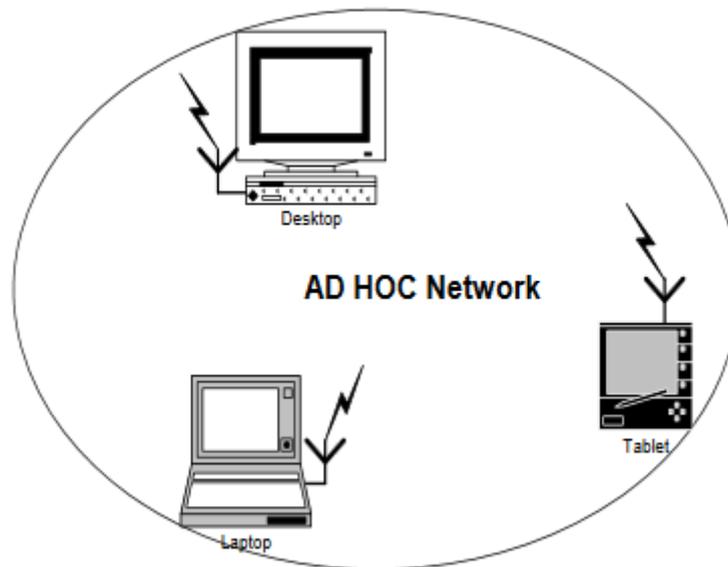


Figura 2. 1: Esquemático de una red ad-hoc simple con tres nodos.
Fuente: (Mora, 2004)

Una red ad-hoc no utiliza administración centralizada. Esto es para asegurarse de que la red no colapse, sólo porque uno de los nodos móviles se mueve fuera del alcance del transmisor de los otros. Los nodos deben ser capaces de entrar y salir de la red como lo deseen. Debido al rango limitado del transmisor de los nodos, pueden ser necesarios varios saltos para llegar a otros nodos. Cada nodo que desee participar en una red Ad-Hoc debe estar dispuesto a enviar paquetes a otros nodos.

Así, cada nodo actúa a la vez como anfitrión y como un router. Un nodo puede ser visto como una entidad abstracta que consiste en un router y un conjunto de hosts móviles asociados (véase la figura 2.2). Un router, es una entidad, que, entre otras cosas ejecuta un protocolo de enrutamiento. Un host móvil, es simplemente un host/entidad con dirección IP en el sentido tradicional.

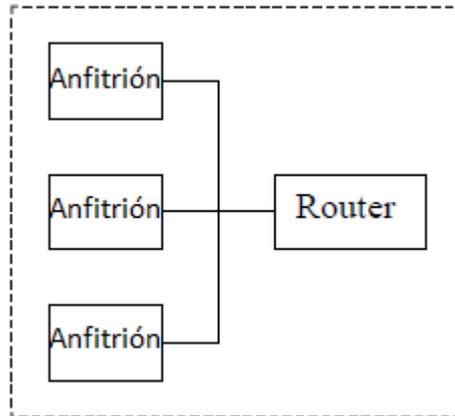


Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un nodo móvil.
Fuente: (Mora, 2004)

Las redes Ad-Hoc son capaces de manejar los cambios de topología y disfunciones en los nodos. Se fija a través de reconfiguración de la red. Por ejemplo, si un nodo abandona la red y provoca roturas de enlaces, entonces los nodos afectados pueden solicitar fácilmente nuevas rutas y el problema será resuelto. Esto aumentará ligeramente el retraso, pero la red todavía estará en funcionamiento.

2.1.1. Usos de redes Ad-Hoc.

No hay una idea clara de para que se utilizan este tipo de redes. Las sugerencias varían en, compartir documentos en conferencias a mejoras de infraestructura y aplicaciones militares. En las zonas donde no hay infraestructura, como Internet, está disponible una red Ad-Hoc, que podría ser utilizado por un grupo de hosts móviles inalámbricos. Esto puede ser el caso en áreas en las que una infraestructura de red puede ser indeseable debido a razones, tales como, el costo o conveniencia. Ejemplos de tales situaciones incluyen personal de recuperación de desastres o tropas

militares en los casos en que la infraestructura no está disponible o destruida.

Otros ejemplos son los socios de negocios que deseen compartir archivos en una terminal de aeropuerto, o una clase de estudiantes que necesitan para interactuar durante una conferencia. Si cada host móvil que desea comunicarse está equipado con una interfaz de red de área local inalámbrica, el grupo de hosts móviles puede formar una red Ad-Hoc.

2.1.2. Características de las redes Ad-Hoc.

Las redes ad-hoc, según Al-Omari & Sumari (2010) se caracterizan a menudo por ser una topología dinámica debido al hecho de que los nodos cambian su ubicación física, al moverse tal como se muestra en la figura 2.3. Esto favorece a los protocolos de enrutamiento que descubren dinámicamente rutas más algoritmos de encaminamiento convencionales como vector de distancia y estado de enlace.

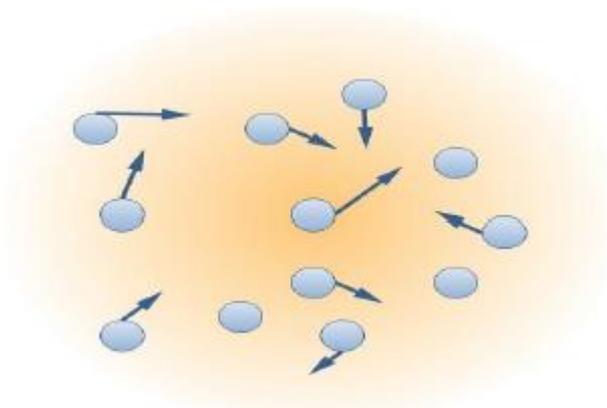


Figura 2. 3: Movimiento al azar de los nodos a diferentes velocidades y direcciones.
Fuente: (Al-Omari & Sumari, 2010)

Otra característica, es que un host/nodo tiene una capacidad muy limitada de la CPU, capacidad de almacenamiento, energía de la batería y ancho de banda, también referido como un "cliente ligero". Esto significa que el uso de la energía se debe limitar, conduciendo así a un rango limitado del transmisor.

El acceso a los medios, el entorno de radio, también tiene características especiales que deben ser considerados en el diseño de protocolos para redes Ad-Hoc. Un ejemplo de esto puede ser enlaces unidireccionales, estos pueden surgir cuando dos nodos tienen una resistencia diferente en sus transmisores, lo que permite sólo una del huésped para escuchar a la otra, sino que también pueden surgir de las perturbaciones de los alrededores.

El multisalto en un entorno de radio puede resultar en una ganancia global de la capacidad de transmisión y de energía, debido a la relación cuadrática entre la cobertura y la potencia de salida requerida. Mediante el uso de saltos múltiples, los participantes pueden enviar los paquetes con una potencia de salida mucho más baja.

2.2. Enrutamiento de redes Ad-Hoc.

Debido al hecho de que puede ser necesario para realizar varios saltos (multi-hop) antes de que un paquete alcance su destino, es necesario un protocolo de enrutamiento. Según Patil (2012), el protocolo de enrutamiento

tiene dos funciones principales, la selección de rutas para varios pares fuente-destino y la entrega de mensajes a su destino correcto. La segunda función es conceptualmente sencilla utilizando una variedad de protocolos y estructuras de datos (tablas de enrutamiento).

2.3. Los protocolos de enrutamiento Ad-hoc

En esta sección se describen los diferentes protocolos de enrutamiento Ad-Hoc muy utilizados en redes inalámbricas.

2.3.1. Propiedades deseables

Si los protocolos de enrutamiento convencionales no cumplen con nuestras demandas, necesitamos un nuevo protocolo de enrutamiento. La pregunta es, ¿qué propiedades de dichos protocolos debemos tener? Las siguientes propiedades deseables son definidas en RFC 2501 (Naski, 2004):

- a) Operación distribuida:** el protocolo debe ser distribuido, es decir, que no debe ser dependiente de un nodo de control centralizado. Este es el caso inclusive para redes fijas. La diferencia es que los nodos en una Red Ad-Hoc pueden entrar/salir de la red con mucha facilidad y debido a la movilidad de la red pueden ser divididas.
- b) Sin bucles:** con esto se logra mejorar el rendimiento general. Es decir, que el protocolo de enrutamiento es necesario, para garantizar que el router suministrado son sin bucles. Esto evita cualquier desperdicio de ancho de banda o el consumo de CPU.

- c) **Operación basada en la demanda:** permite minimizar la sobrecarga de control en la red, y en consecuencia no desperdiciar los recursos de red, más de lo necesario. El protocolo debe ser reactivo. Esto significa que el protocolo sólo debe reaccionar cuando sea necesario y que el protocolo no debe transmitir periódicamente información de control.
- d) **Soporte de enlace unidireccional:** el entorno de radio puede causar la formación de enlaces unidireccionales. La utilización de estos enlaces y no sólo los enlaces bidireccionales mejoran el rendimiento del protocolo de enrutamiento.
- e) **Seguridad:** el entorno de radiocomunicaciones, es especialmente vulnerable a los ataques de suplantación de identidad, por lo que, para garantizar el comportamiento deseado desde el protocolo de enrutamiento, es necesario cierta clase de medidas de seguridad preventivas. La autenticación y el cifrado, es probablemente el camino a seguir y el problema que aquí se encuentra dentro de la distribución de claves entre los nodos de la red Ad-Hoc.
- f) **Conservación de la energía:** los nodos en una red Ad-Hoc pueden ser portátiles y dispositivos electrónicos inteligentes, tales como; PDAs, Celulares, Tablets, que son muy limitados en energía de la batería y por lo tanto utiliza algún tipo de modo de reposo para ahorrar energía. Por tanto, es importante que el protocolo de enrutamiento cuente con soporte para estos modos de reposo.

- g) Rutas múltiples:** para disminuir el número de reacciones a los cambios topológicos y de congestión podría ser utilizado las rutas múltiples. Si una ruta se ha convertido en no válida, es posible que otra ruta almacenada podría seguir siendo válido y ahorrando así el protocolo de enrutamiento de iniciar otro procedimiento de descubrimiento de ruta.
- h) Soporte de calidad de servicio:** una especie de soporte de calidad de Servicio es probablemente necesario incorporar en el protocolo de enrutamiento. Esto tiene mucho que ver con lo que estas redes se utilizan para tráficos en tiempo real.

Ninguno de los protocolos propuestos en redes móviles Ad-Hoc (*Mobile Ad-hoc NETWORKS, MANET*) tiene todas estas propiedades, pero es necesario recordar que los protocolos están en desarrollo y es probable que sean ampliados con mejores funcionalidades. La función principal sigue siendo encontrar una ruta hacia el destino, no para encontrar la mejor ruta/óptima/más corta.

2.3.2. Redes móviles Ad-hoc – MANET.

El grupo de trabajo de ingeniería de internet (*Internet Engineering Task Force, IETF*) tiene un grupo de trabajo denominado MANET, el cual trabaja en el ámbito de las Redes Ad-hoc. En la figura 2.4 se muestra una red ad-hoc sencilla con 3 nodos. De acuerdo a Aarti & Tyagi (2013) los nodos 1 y 3 no tienen cobertura, sin embargo, el nodo 2 se utiliza para reenviar paquetes

entre los nodos 1 y 2. El nodo 2 actúa como router y estos 3 nodos en conjunto forman una red móvil Ad-hoc.

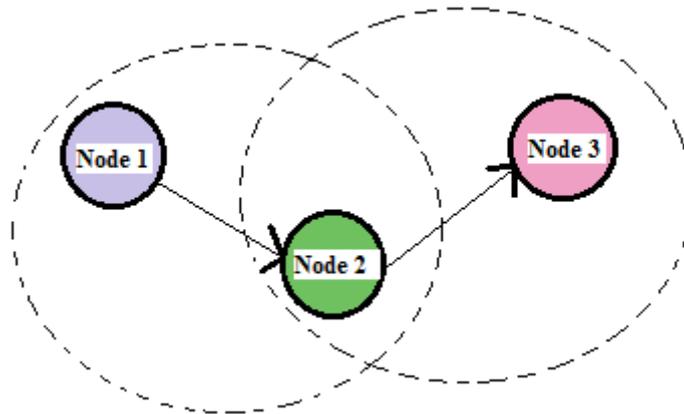


Figura 2. 4: Ejemplo de una red móvil Ad-hoc.
Fuente: (Aarti & Tyagi, 2013)

El grupo de trabajo MANET son los encargados de las especificaciones de enrutamiento para redes IP Ad-hoc. Los protocolos de enrutamiento (véase la figura 2.5) se clasifican en proactivos, reactivos e híbridos (Coya R., Ledesma Q., Talia, & Baluja G., 2014).

En la tabla 2.1 se muestran todos los protocolos de enrutamiento proactivos, así como sus principales características. A continuación, se presentan algunos de estos protocolos más utilizados (Vega G., 2014):

- Protocolo de enrutamiento de estado de enlace optimizado, OLSR (*Optimized Link State Routing*) (Vega G., 2014).
- Protocolo vector distancia de destino secuenciado, DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*) (Vega G., 2014).

- Protocolo de enrutamiento inalámbrico, WRP (*Wireless Routing Protocol*) (Vega G., 2014).
- Protocolo de enrutamiento jerárquico optimizado de estado de enlace, HOLSR (*Hierarchical Optimized Link State Routing*) (Vega G., 2014).

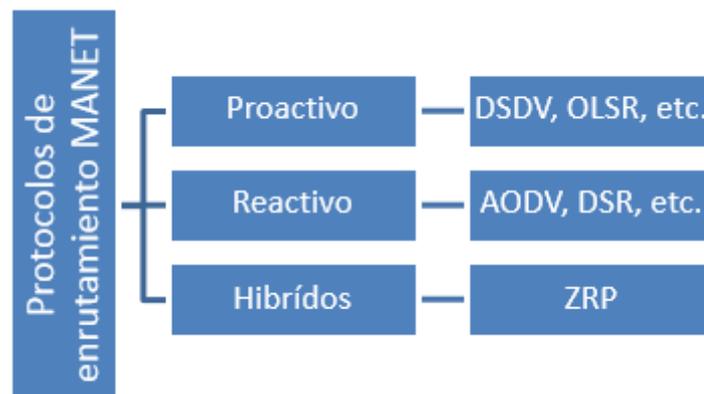


Figura 2. 5: Clasificación de los protocolos de enrutamiento MANET.
Fuente: (Aarti & Tyagi, 2013)

Tabla 2. 1: Listado de protocolos proactivos en redes MANET.

Protocolo	Tablas	Intervalo de actualización	Nodo crítico	Métrica de enrutamiento	SC
DSDV	2	Periódico	-	SP	L
R-DSDV	2	Probabilístico	-	SP	L
OLSR	3	Periódico	-	SP	H
HOLSR	3	Periódico	-	SP	H
CGSR	2	Periódico	Clusterhead	SP	L
WRP	4	Periódico	-	SP	L
GSR	3	Periódico sólo con los vecinos	-	SP	L
STAR	1	Sólo en eventos específicos	-	SP	L
QOLSR	3	Periódico	-	Retardo & HC	H

Métrica de enrutamiento: SP= camino más corto; HC= Número de saltos.
SC= Sobrecarga de comunicación[alta= H; Media=M; Baja=L]

Fuente: (Vega G., 2014)

A continuación, se presentan algunos de los protocolos reactivos más utilizados (Vega G., 2014):

- Protocolo de enrutamiento de vector distancia sobre demanda Ad-hoc, AODV (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*) (Villanueva-Cruz, García-Hernández, Pérez-Díaz, Cahue-Díaz, & González-Serna, 2011).
- Protocolo de enrutamiento de origen dinámico, DSR (*Dynamic Source Routing*) (Vega G., 2014).
- Protocolo de enrutamiento QoS bajo demanda de redes Ad-hoc, AQOR (*Ad-hoc QoS On-demand Routing*) (Vega G., 2014).

A continuación, se presentan algunos de los protocolos híbridos más utilizados (Vega G., 2014):

- Protocolo de enrutamiento de zonas, ZRP (*Zone Routing Protocol*) (Coya R. et al., 2014).
- Protocolo de enrutamiento de estado de ojo de pescado, FSR (*Fisheye State Routing*) (Vega G., 2014).
- Protocolo algoritmo de enrutamiento temporal ordenado, TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) (Vega G., 2014).

De estos protocolos describiremos teóricamente AODV, DSR, ZRP y TORA. También, se describirá el protocolo DSDV, que es un enfoque proactivo, es decir, opuesto a los protocolos reactivos. Aunque se dejaron algunos protocolos como, por ejemplo, AMRoute que es un enrutamiento

multidifusión, ni CEDRO, ya que es un enrutamiento de QoS sencillo, ni OLSR, debido a que no será parte del diseño de simulación.

Los protocolos son compatibles tanto con el enrutamiento unicast y multicast, aunque para el trabajo de titulación trataremos la parte de enrutamiento unicast. Los protocolos descritos teóricamente, tanto AODV y DSR serán simulados.

2.4. Protocolo vector distancia de destino secuenciado - DSDV.

DSDV es un esquema de la tabla de enrutamiento para redes móviles Ad-hoc basado en el algoritmo de Bellman-Ford (Boukerche et al., 2011; Vega G., 2014). DSDV se basa en el enrutamiento vector distancia que en cada nodo tiene una tabla de enrutamiento para que almacene todos los destinos alcanzables el siguiente salto y el número de saltos para ese destino.

DSDV requiere que cada nodo emita periódicamente actualizaciones de enrutamiento. La ventaja con DSDV a través de protocolos vector distancia tradicionales, es que DSDV garantiza la libertad de bucle. Para garantizar la libertad de bucle, DSDV utiliza una secuencia de números para etiquetar cada ruta.

El número de secuencia se incrementa cuando un nodo A detecta que una ruta a un destino D se ha roto. Así que el siguiente nodo A anuncia sus

rutas, se anuncia la ruta a D con una infinita cuenta de saltos y un número de secuencia que es mayor que antes. DSDV básicamente es vector de distancia con pequeños ajustes para que sea más adecuado para redes ad-hoc. Estos ajustes consisten en actualizaciones desencadenadas que se hará cargo de los cambios de topología en el tiempo entre las transmisiones.

Para reducir la cantidad de información en estos paquetes, hay dos tipos de mensajes de actualización definidos: volcado completo e incremental. El volcado completo lleva toda la información de enrutamiento disponibles y el volcado incrementa sólo lleva la información que ha cambiado desde la última descarga.

2.5. Protocolo de enrutamiento de vector distancia sobre demanda Ad-hoc, AODV.

Como ya se mencionó AODV, es un protocolo que permite el enrutamiento de múltiples saltos entre los nodos móviles que deseen establecer y mantener participantes de una red Ad-Hoc. En el trabajo de maestría Vega G., (2014) manifiesta que AODV está basada en el algoritmo de vector distancia. Con la única diferencia de que AODV es reactivo, a diferencia de los protocolos proactivos como DV, es decir, AODV sólo solicita una ruta cuando es necesaria y no requiere nodos para mantener rutas a destinos que no se utilizan activamente en las comunicaciones.

Mientras los puntos finales de una conexión de comunicación tienen rutas válidas entre sí, AODV no juega ningún papel. Las características de este protocolo incluyen la libertad de bucle y que las interrupciones de enlaces provocan notificaciones inmediatas para ser enviados al conjunto de nodos afectados, pero sólo a ese conjunto. Además, AODV tiene capacidad para el enrutamiento multicast y así evitar el problema de Bellman-Ford (contar hasta el infinito). El uso de números de secuencia de destino garantiza que una ruta sea "reciente".

Por ejemplo, Gómez Puerta, Posada Pérez, & Vallejo Velásquez (2014) explica que el nodo A inicia un proceso de descubrimiento de ruta para el nodo D, sólo tiene conocimiento sobre las rutas al nodo B, su vecino del siguiente salto, y el nodo destino D, tal como se muestra en la figura 2.6.

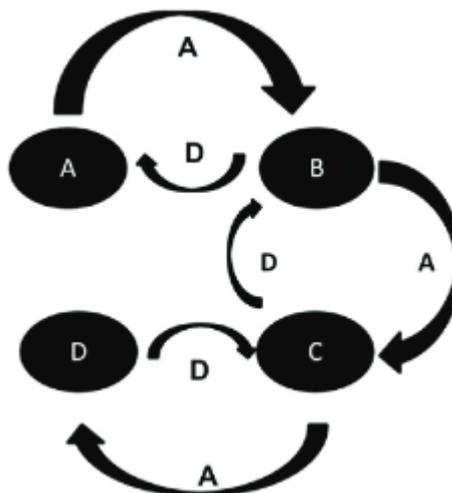


Figura 2. 6: Funcionamiento del protocolo AODV.
Fuente: (Gómez Puerta et al., 2014)

El algoritmo utiliza diferentes mensajes para descubrir y mantener enlaces. Cada vez que un nodo quiere tratar de encontrar una ruta a otro

nodo, se difunde una solicitud de enrutamiento (Routing REQuest, RREQ) a todos los nodos vecinos. La RREQ, se propaga a través de la red hasta que alcanza el destino o un nodo con la ruta más reciente al destino. A continuación, se pone a disposición la ruta por unidifusión de un enrutamiento de repetición (Route REPlay, RREP) regresando a la fuente. En la figura 2.7 se muestra el enrutamiento de mensajes en AODV.

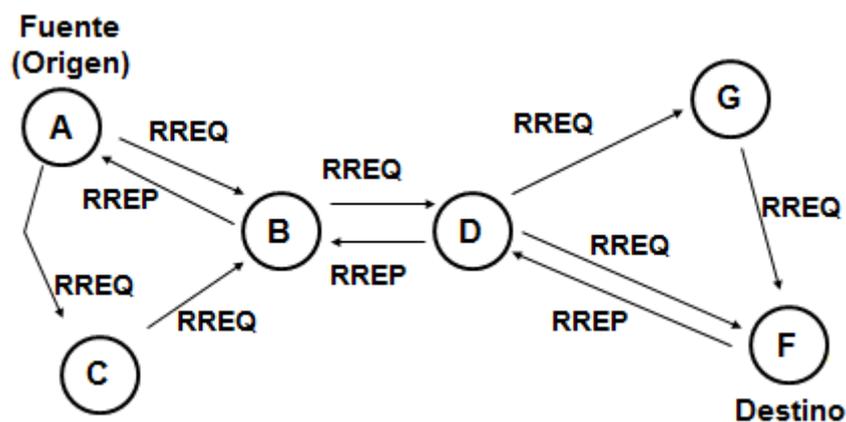


Figura 2. 7: Enrutamiento de mensajes en el protocolo AODV.
Fuente: (Manjeet & Sonam, 2012)

El algoritmo utiliza mensajes de saludo (RREP especial) que se transmiten periódicamente a los nodos vecinos inmediatos. Estos mensajes de saludo son anuncios locales para la presencia continua del nodo y de los nodos vecinos que continuará utilizando rutas a través del nodo de radiodifusión para marcar las rutas como válidas.

Si los mensajes de saludo dejan de venir desde un nodo en particular, el nodo vecino puede suponer que el otro nodo se ha alejado y marcar el nodo con enlaces interrumpidos y así notificar al conjunto de nodos

afectados mediante el envío de una notificación de fallo de enlace (un RREP especial) para ese conjunto de nodos.

2.5.1. Gestión de tabla de direccionamiento.

El protocolo AODV necesita realizar el seguimiento de la siguiente información para cada entrada de la tabla de ruta:

- a. Dirección IP para el nodo de destino.
- b. Número de secuencia de destino.
- c. Número de saltos hasta el destinatario.
- d. Salto siguiente al nodo vecino que ha sido designado para reenviar paquetes al destino.
- e. El tiempo de vida durante el cual se considera válida la ruta.
- f. Listado de nodos vecinos activos que usan la ruta de entrada.
- g. Solicitud del búfer asegurando que la petición procese una sola vez.

2.5.2. Descubrimiento de ruta

Un nodo difunde un RREQ cuando se necesita una ruta a un destino y no tiene uno disponible. Esto puede ocurrir si la ruta hacia el destino es desconocida, o si una ruta válida previamente expira. Después de la transmisión de un RREQ, el nodo espera un RREP. Si la respuesta no se recibe dentro de un cierto tiempo, el nodo puede retransmitir la RREQ o asumir que no hay una ruta al destino.

Esto se hace para realizar el seguimiento de una ruta de retorno al nodo original que efectúa la solicitud, y podría ser utilizado para una eventual RREP para encontrar su camino de regreso al nodo solicitante. La ruta es temporal en el sentido de que es válida para un tiempo mucho más corto, de una entrada de ruta real.

Cuando el RREQ llega a un nodo que ya sea, nodo de destino o nodo con ruta válida hacia el destino, se genera un RREP y la unidifusión regresa al nodo solicitante. Mientras se reenvía este RREP, una ruta se crea en el destino y cuando el RREP alcanza el nodo de origen, no existe una ruta desde el origen al destino.

2.5.3. Mantenimiento de rutas.

Cuando un nodo detecta una ruta a un nodo vecino que no es válida, eliminando la entrada de direccionamiento y envía un mensaje de fallo de enlace, un mensaje de respuesta de ruta disparada a los nodos vecinos que están utilizando activamente la ruta, informándoles de que esta ruta ya no es válida. Para este propósito AODV utiliza una lista de nodos vecinos activos para seguir al resto de nodos vecinos que están usando una ruta en particular.

Los nodos que reciben este mensaje repiten este procedimiento. El mensaje finalmente será recibido por las fuentes afectadas que se pueden

elegir de que dejen de enviar datos o solicitar una nueva ruta mediante el envío de un nuevo RREQ.

2.6. Protocolo de enrutamiento de origen dinámico – DSR.

DSR también pertenece a la clase de protocolos reactivos y permite que los nodos descubran dinámicamente una ruta a través de múltiples saltos de red a cualquier destino. El enrutamiento de origen significa que cada paquete transporta en su cabecera la lista completa de los nodos ordenados a través de los cuales debe pasar el paquete.

DSR no utiliza mensajes de enrutamiento periódicos (por ejemplo, no hay anuncios de enrutador), reduciendo de ese modo por encima del ancho de banda de red, ahorrando energía y evitando grandes actualizaciones de enrutamiento a través de la red Ad-hoc. En cambio, DSR depende del apoyo de la capa MAC (la capa MAC debe informar al protocolo de enrutamiento acerca de enlaces fallidos). Los dos modos básicos de funcionamiento de DSR son de descubrimiento y mantenimiento de rutas.

2.6.1. Descubrimiento de rutas.

Este es el mecanismo mediante el cual un nodo X que desee enviar un paquete a Y, obtiene la ruta de origen a Y. El nodo X solicita una ruta mediante la difusión de una solicitud de ruta (RREQ) de paquetes. Cada nodo que recibe este RREQ busca a través de su caché de ruta para una

ruta al destino solicitado. DSR almacena todas las rutas conocidas en su caché de ruta.

Si no se encuentra ninguna ruta, reenvía más allá el RREQ y añade su propia dirección a la secuencia de salto grabado. Esta solicitud se propaga a través de la red hasta que se alcanza o bien el destino o un nodo con una ruta al destino. Cuando esto suceda una respuesta de ruta (RREP) se devuelve mediante unidifusión al origen. Este paquete RREP contiene la secuencia de saltos de red a través del cual se puede alcanzar el objetivo.

En el descubrimiento de rutas, un nodo envía primero un RREQ con el límite máximo de propagación (límite de saltos) establecido en cero, prohibiendo a los nodos vecinos la retransmisión a ella. A expensas de un único paquete de difusión, este mecanismo permite a un nodo consultar las memorias caché de rutas de todos sus nodos vecinos.

2.6.2. Mantenimiento de rutas.

Este es el mecanismo por el cual un paquete remitente S detecta si la topología de red ha cambiado de manera que ya no puede utilizar su ruta hacia el destino D. Esto puede ocurrir debido a un anfitrión que aparece en una ruta de origen, se mueve fuera del alcance de transmisión inalámbrica o se apaga haciendo la ruta inutilizable.

Un enlace no es detectado por cualquiera de los reconocimientos de vigilancia activa o pasivamente mediante la ejecución en modo promiscuo, al oír que un paquete es enviado por un nodo vecino. Cuando el mantenimiento de ruta detecta un problema con un recorrido en uso, un paquete de error de ruta se envía de vuelta al nodo de origen. Cuando este paquete de error se recibe, el salto de error se elimina del caché de ruta anfitriona, y todas las rutas que contienen este salto se truncan en este punto.

2.7. Protocolo de enrutamiento de zonas – ZRP.

ZRP es un protocolo híbrido (reactivo y proactivo). Se divide la red en varias zonas de enrutamiento y especifica dos protocolos totalmente independientes (véase la figura 2.8) que operan dentro y entre las zonas de enrutamiento.

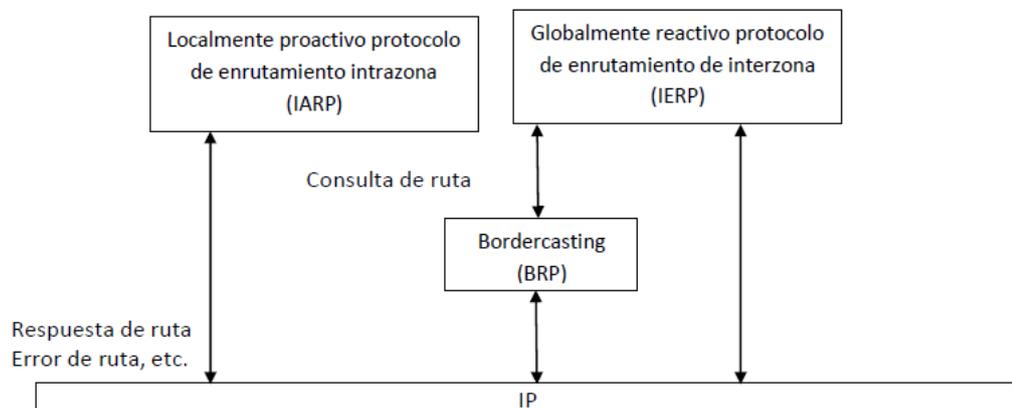


Figura 2. 8: Arquitectura del protocolo de enrutamiento de zonas.

Fuente: (Haas & Pearlman, 2001; Vega G., 2014)

El protocolo de enrutamiento intrazonal (*IntraZone Routing Protocol, IARP*) opera dentro de la zona de enrutamiento y se entera de la distancia mínima y de las rutas de todos los nodos dentro de la zona. El protocolo no

está definido y puede incluir cualquier número de protocolos proactivos, como vector distancia o de enrutamiento de estado de enlace. Diferentes zonas pueden operar con diferentes protocolos intrazonal siempre que los protocolos se limitan a esas zonas. Un cambio en la topología significa que la actualización de información sólo se propaga dentro de las zonas de enrutamiento afectadas en lugar de afectar a toda la red.

El segundo protocolo, el protocolo de enrutamiento interzonal (*IntErzone Routing Protocol, IERP*) es reactivo y se utiliza para la búsqueda de rutas entre diferentes zonas de enrutamiento. Esto es útil si el nodo de destino no está dentro de la zona de enrutamiento. Dicho protocolo a continuación, transmite una petición de ruta (RREQ) a todos los nodos de frontera dentro de la zona de enrutamiento, que a su vez reenvía la petición si el nodo de destino no se encuentra dentro de su zona de enrutamiento.

Este procedimiento se repite hasta que se encuentra el nodo solicitado y una respuesta de ruta se envía de vuelta a la fuente que indica la ruta. IERP utiliza un protocolo de resolución de Bordercast (*Bordercast Resolution Protocol, BRP*) que incluye en ZRP. BRP ofrece servicios bordercasting, que no existen en los IP (*Internet Protocol, IP*). Bordercasting es el proceso de envío de los datagramas IP de un nodo a todos sus nodos periféricos. BRP realiza un seguimiento de los nodos periféricos y resuelve una dirección de fundición frontera para las direcciones IP individuales de los nodos periféricos.

La figura 2.9 muestra el ejemplo del ZRP, donde Hossain & Hossain S. (2010) explica que el nodo S incluye los nodos A-I, pero no K. El radio se marca como un círculo alrededor del nodo en cuestión. Hay que tenerse en cuenta que la zona se define en el salto, y no como una distancia física.

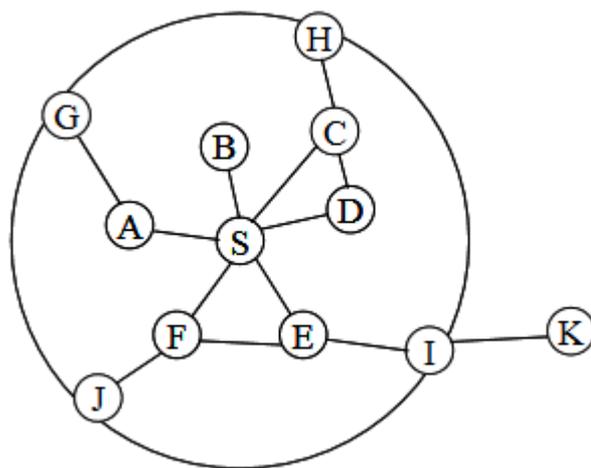


Figura 2. 9: Arquitectura del protocolo de enrutamiento de zonas.

Fuente: (Hossain & Hossain S., 2010)

Para evitar que las peticiones de volver a la zona de encaminamiento previamente consultada, se utiliza una lista de solicitud procesada. Esta lista almacena las solicitudes procesadas previamente y si un nodo recibe una petición que ya ha procesado, simplemente se deja caer.

2.8. Algoritmo de enrutamiento temporal ordenado – TORA.

TORA es un protocolo de enrutamiento híbrido (Manjeet & Sonam, 2012). Este algoritmo básico subyacente, es uno de una familia conocida como algoritmos de reversión de enlace. TORA está diseñado para minimizar la reacción a los cambios topológicos. Un concepto clave en su

diseño es que los mensajes de control están normalmente localizados en un pequeño conjunto de nodos.

Según Manjeet & Sonam (2012) TORA también es conocido como protocolo de enrutamiento distribuido, adaptativo, libre de bucles para redes multisaltos que tienen una sobrecarga mínima frente a los cambios topológicos.

TORA garantiza que todas las rutas son libres de bucles (se pueden formar nodos temporales), y por lo general proporciona múltiples rutas para cualquier par origen/destino. Proporciona sólo el mecanismo de enrutamiento y depende del protocolo de encapsulación IMEP para otras funciones subyacentes.

TORA se puede separar en tres funciones básicas: la creación de rutas, el mantenimiento de rutas, y borrado de rutas. La creación de rutas básicamente asigna direcciones a los enlaces en una red no dirigida o parte de la red, la construcción de un gráfico acíclico dirigido (*Directed Acyclic Graph, DAG*) con raíz en el destino, tal como se muestra en la figura 2.8.

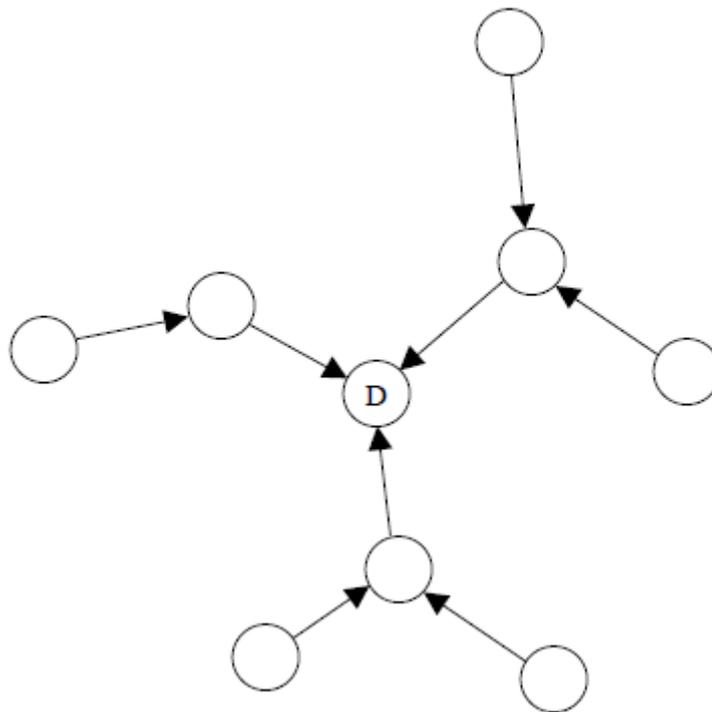


Figura 2. 10: Grafo acíclico dirigido arraigada en el destino.
Fuente: (Hossain & Hossain S., 2010)

TORA asocia una altura con cada nodo en la red. Todos los mensajes en la red de flujo aguas abajo, desde un nodo con una mayor altura para un nodo con menor altura. Las rutas se descubrieron utilizando Query (QRY) y actualización de los paquetes (UPD). Cuando un nodo con enlaces descendentes necesita una ruta a un destino, se realizará la difusión de un paquete QRY.

Este paquete QRY se propagará a través de la red hasta que alcanza un nodo que tiene una ruta o el destino en sí. Tal nodo A continuación, transmitir un paquete de UPD que contiene la altura del nodo. Cada nodo que recibe este paquete UPD establecer su propia altura a una altura mayor que la especificada en el mensaje UPD.

A continuación, el nodo puede transmitir su propio paquete UDP. Esto dará lugar a un número de enlaces dirigidos desde el paquete de origen al destino. Este proceso puede dar lugar a múltiples rutas. El mantenimiento de rutas refiere a reaccionar a los cambios topológicos de la red de tal manera que las rutas hacia el destino se restablezcan dentro de un tiempo finito, lo que significa que sus partes dirigidas vuelven a un gráfico orientado a destino dentro de un tiempo finito.

Tras la detección de una partición de la red, todos los enlaces en la parte de la red que se ha convertido en particionado desde el destino se marcan como no dirigida para borrar rutas no válidas. El borrado de rutas se realiza mediante mensajes claros (CLR).

CAPÍTULO 3: Simulación de Protocolos

3.1. Introducción a la simulación.

En la actualidad, es casi imposible diseñar un sistema de red integral basado solamente a través de cálculos teóricos. Sin embargo, si llevamos a cabo el estudio, diseño y desarrollo en un entorno de red real, vamos a incurrir en no solo costos elevados, sino también dificultades al momento de recolección, procesamiento y análisis de datos.

En la parte práctica, es recomendable utilizar programas de simulación para modelar, simular o estimar el rendimiento de diferentes redes de telecomunicaciones. Las plataformas de simulación más utilizadas son: Opnet, NS2, GNS3 y OMNeT, que permiten configurar los parámetros de redes de comunicaciones según el entorno simulado para lograr la máxima utilización.

En comparación con el resto de programas de simulación, Opnet Modeler es más fiable y tiene potentes módulos integrados que incluyen una variedad de protocolos de aplicación, así como los modelos de equipos de comunicación real. Para ejecutar una simulación, el usuario sólo tiene que seleccionar los modelos adecuados y vincularlos de manera relevante en el editor con la interfaz gráfica de usuario. En este trabajo titulación, utilizamos Opnet Modeler para simular los protocolos de una red móvil Ad-hoc y comparar el rendimiento en cada protocolo.

3.2. Diseño del modelo de simulación para una red móvil Ad-hoc.

Para el diseño de simulación de la red Ad-hoc se dividieron en tres etapas. La primera es la capa de red, cuya topología se basa en el número de nodos y la distancia entre ellos. A continuación, se considera los diferentes tipos de modelo de nodos según el modelo OSI. La tercera etapa se centra en cada proceso.

El diseño de red Ad-Hoc consta de 4 nodos, que son Source (origen), intermediate_node (nodo intermedio), mobile_node (nodo móvil) y destination (destino). Se distribuyen en una zona rectangular de 10*10km, usando enlaces de comunicación inalámbrico, tal como se muestra en la figura 3.1.

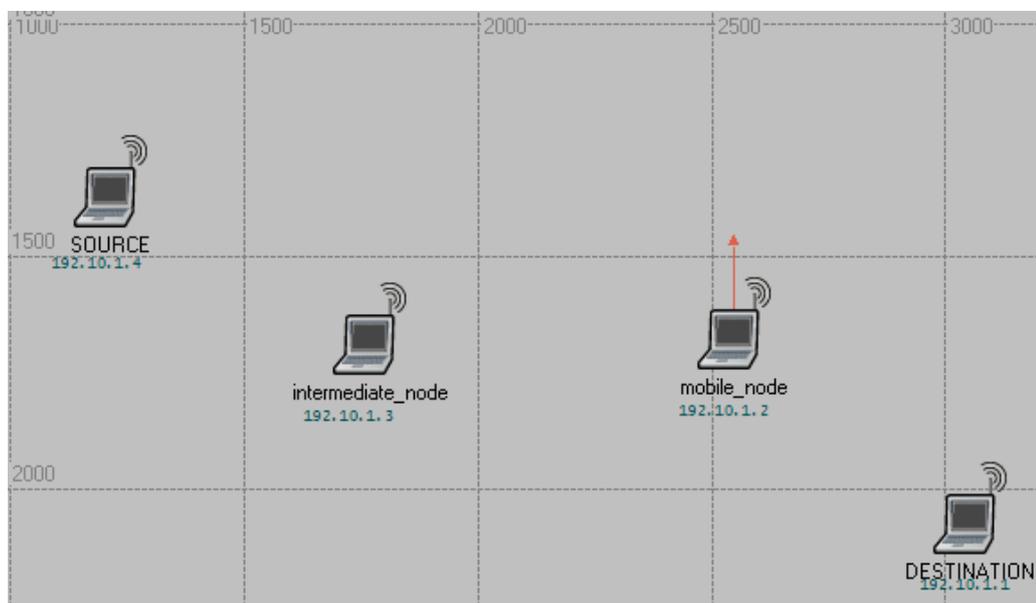


Figura 3. 1: Red Ad-hoc con 4 nodos.

Elaborado por: Autor

En la figura 3.2 se muestra el modelo del nodo móvil (mobile_node), en el cual se procede a realizar la configuración para su correcto funcionamiento de la red Ad-hoc.

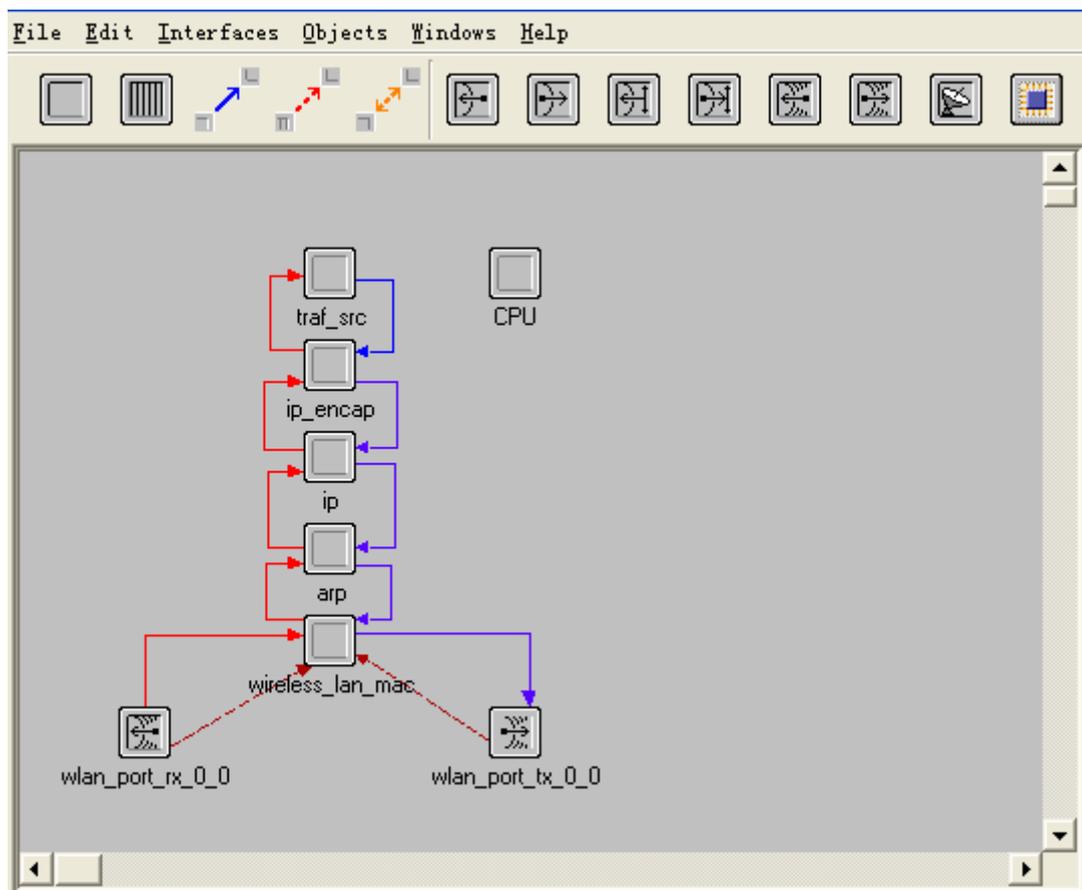


Figura 3. 2: Diseño para el modelado del nodo móvil.
Elaborado por: Autor.

El nodo móvil mostrado en la figura 3.2 se divide en seis capas, que no es más que la representación del modelo OSI. Se utiliza <<traf_src>> para generar paquetes de datos a la capa inferior, y hacia adelante o destruir el paquete previamente procesado por la capa inferior. Tanto, el módulo ip_encap como ip pertenecen a la capa de red.

El módulo <<ip>> es un protocolo diseñado para la comunicación en la red de comunicación de datos, y la encapsulación IP (ip_encap) para el datagrama IP. El módulo <<wireless_lan_mac>> está en la capa de enlace de datos. Este módulo dispone de algunas funciones incluyendo la preparación de los datos enviados desde la capa superior y hacer frente a las diferentes condiciones que tienen lugar en el transmisor y el receptor.

La capa MAC se debe establecer una gran cantidad de parámetros. La mayoría de los parámetros son significativos en redes LAN inalámbricas. Los parámetros son establecidos de la siguiente forma: tasa de transferencia de datos igual a 11 Kbps; potencia de transmisión igual a 5 mw, tamaño del búfer igual a 256 Kbits.

También, podemos definir que <<wlan_port_rx_0_0>> y <<wlan_port_tx_0_0>> constituyen la capa física de la red Ad-hoc. Es decir, que el módulo <<wlan_port_rx_0_0>> es el receptor inalámbrico, mientras que el módulo <<wlan_port_tx_0_0>> es el transmisor inalámbrico.

3.3. Parámetros de evaluación

En esta sección se configuran los parámetros de evaluación, y a su vez se describen brevemente los indicadores de rendimiento de uso común en redes Ad-hoc, que son:

Carga: esta representa el control de todos los paquetes enviados por los nodos en la red para el descubrimiento y el mantenimiento de la ruta durante la simulación. La capacidad de carga se puede utilizar para comparar la escalabilidad, eficiencia, así como la competencia de la adaptación de congestión de la red en diferentes redes. Los protocolos de enrutamiento con gran capacidad de carga tienen mayor probabilidad de colisión de paquetes y de retardo (delay).

Retardo promedio: este indicador se refiere al tiempo de retardo promedio del paquete que viajan desde el nodo de origen al nodo de destino. Incluye el retardo en el buffer (memoria intermedia) en el descubrimiento de ruta, retardo de envío en la capa MAC y el tiempo de transmisión.

Rendimiento: es el número total acumulado de bits que todos los nodos de destino han recibido en la estación de la red móvil ad-hoc (MANET).

Número de saltos por ruta: es el número de saltos de cada nodo de origen a cada nodo de destino en la red.

Enrutamiento de tráfico enviado y recibido: se refiere a la cantidad total de paquetes enviados y recibidos en toda la red.

Tiempo de respuesta de descarga FTP: es el tiempo de respuesta de descarga del protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*), que la capa de aplicación recibe la respuesta después de enviar la solicitud al servidor cuando se descarga.

Tiempo de respuesta de carga FTP: es el tiempo de respuesta que la capa de aplicación recibe la respuesta al cargar archivos.

3.4. Resultados obtenidos usando protocolos de enrutamiento.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para los indicadores de evaluación descritos en la sección 3.3, y dichos resultados son obtenidos usando los diferentes modelos de simulación y con los protocolos de enrutamiento, tales como, AODV, DSR y TORA.

3.4.1. Resultado obtenido de la simulación DSR.

En esta sección se utiliza el protocolo de enrutamiento de origen dinámico – DSR. Para la simulación de la red móvil ad-hoc, establecimos dos escenarios, el primero con 50 nodos y el segundo con 100 nodos. Estos nodos se colocan tanto en una zona de 10x10 km. Ambas redes, ejecutan el servicio FTP y el tiempo para la simulación es de una hora. Utilizamos enrutamiento de tráfico enviado y recibido, el tiempo de descubrimiento de ruta, el número de saltos por rutas como parámetros.

Las figuras 3.3 y 3.4 muestra que, con el aumento en el número de nodos, el número de paquetes enviados y recibidos es creciente. Esto ocurre

porque la red tiene 100 nodos, y el número de sus nodos adyacentes a cada nodo es mayor que la red de 50 nodos. Por lo tanto, al enviar información de enrutamiento, cada nodo tiene que enviar más paquetes a sus nodos adyacentes en la antigua red de 50 nodos. En consecuencia, va ocurrir lo mismo con los paquetes recibidos (véase la figura 3.4).

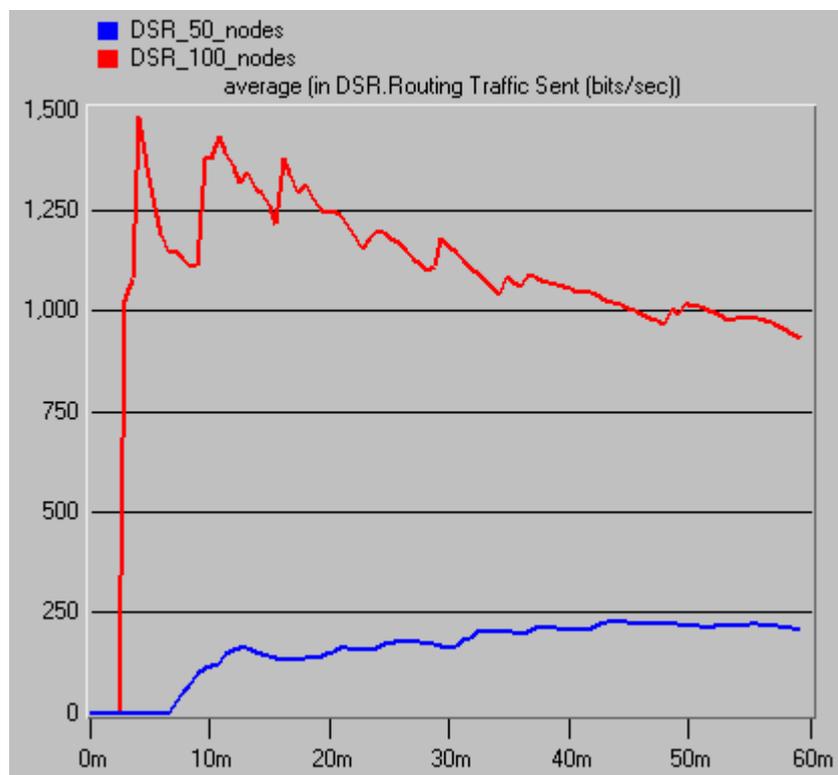


Figura 3. 3: Tráfico promedio enviado para el protocolo DSR.
Elaborado por: Autor.

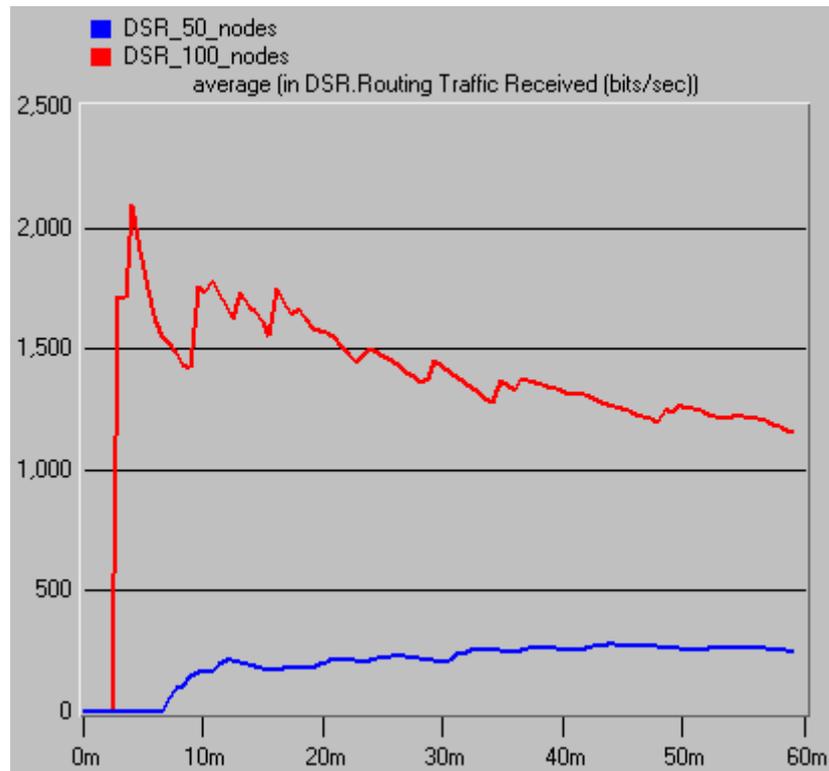


Figura 3. 4: Tráfico promedio recibido para el protocolo DSR.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.5 muestra que, sin importar el número de nodos, el tiempo de descubrimiento de ruta es relativamente largo al inicio de la simulación, debido a que no hay información de la ruta en la memoria caché. A medida que el tiempo pasa, el tiempo de descubrimiento disminuye gradualmente y después se estabiliza. Esto sucede, porque DSR utiliza mecanismos de almacenamiento en caché que guardan información de encaminamiento de nodos conocidos con el fin de acortar el tiempo de descubrimiento.

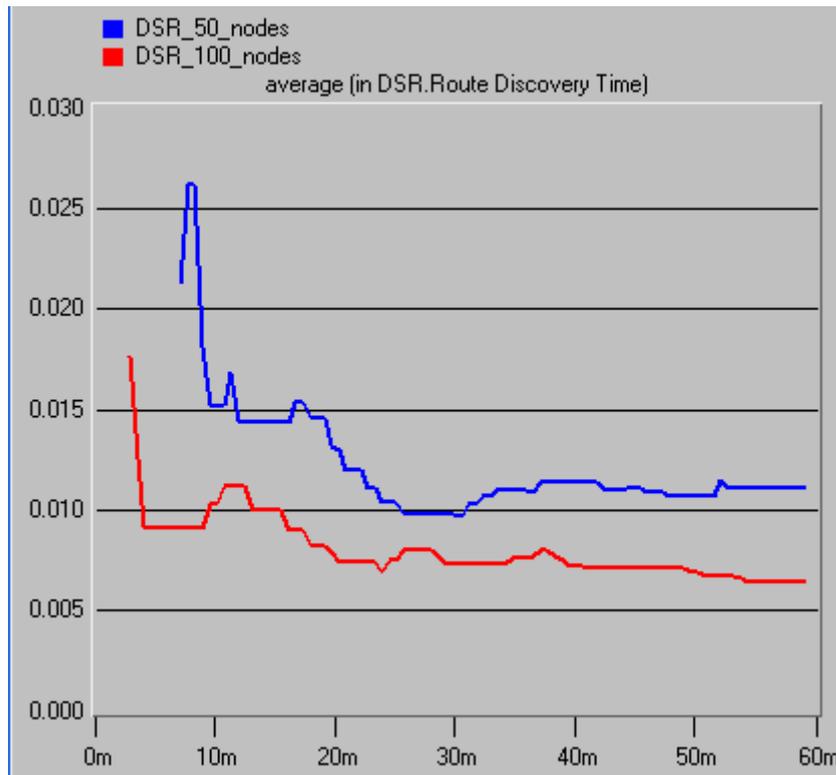


Figura 3. 5: Tiempo promedio de descubrimiento de ruta.
Elaborado por: Autor.

En cuanto a la figura 3.6, el número de saltos por ruta es hasta 9 veces más que la red de 100 nodos durante los primeros 5 minutos. Esto se debe porque la simulación recién inicia, por eso que la mejor ruta no se encuentra todavía, por lo tanto, el número de saltos es bastante grande.

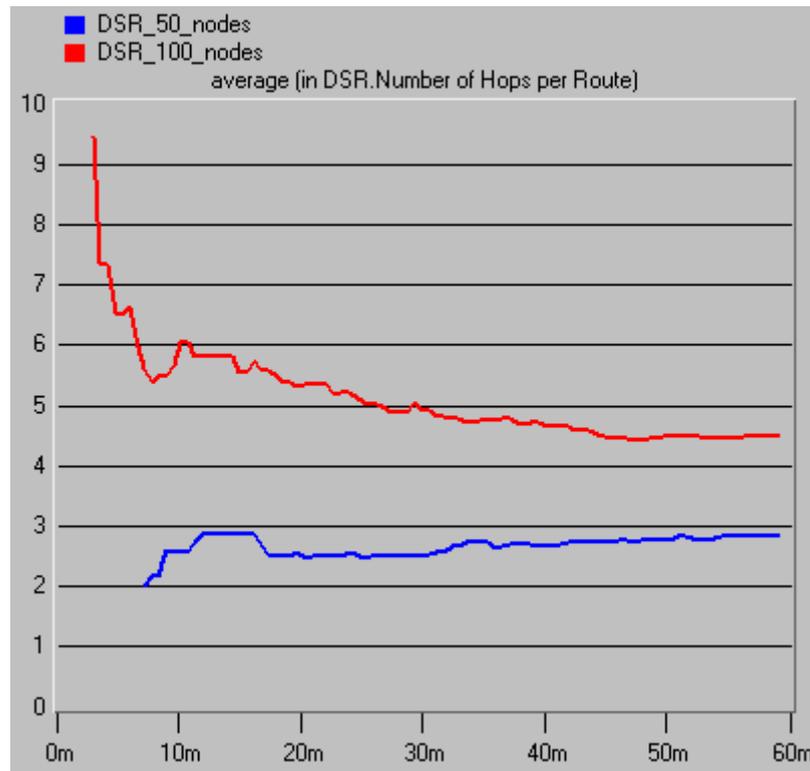


Figura 3. 6: Número de saltos por ruta.
Elaborado por: Autor.

3.4.2. Resultado obtenido de la simulación TORA.

Así mismo, como ocurrió con el protocolo DRS, establecimos que la red ad-hoc disponga de dos simulaciones con 50 y 100 nodos, respectivamente, utilizando el protocolo de enrutamiento TORA. Ambas redes se ejecutan el servicio del protocolo de transferencia de archivo (FTP) y el tiempo de simulación es una hora. En este caso, se utilizó la carga de la red inalámbrica, el tráfico enviado y recibido del protocolo de encapsulamiento de internet en redes móviles ad-hoc conocido también como IMEP (*Internet Manet Encapsulation Protocol*).

De la figura 3.7, en el inicio de la simulación, la capacidad de carga es pequeña en ambas redes. A medida que pasa el tiempo, los patrones de línea están aumentando evidentemente con la misma velocidad. Mientras, mayor cantidad de nodos exista, mayor es la carga en el encaminamiento de la red. Como resultado de esto, vemos que la red de 100 nodos tiene casi el doble de los datos como en la red de 50 nodos.

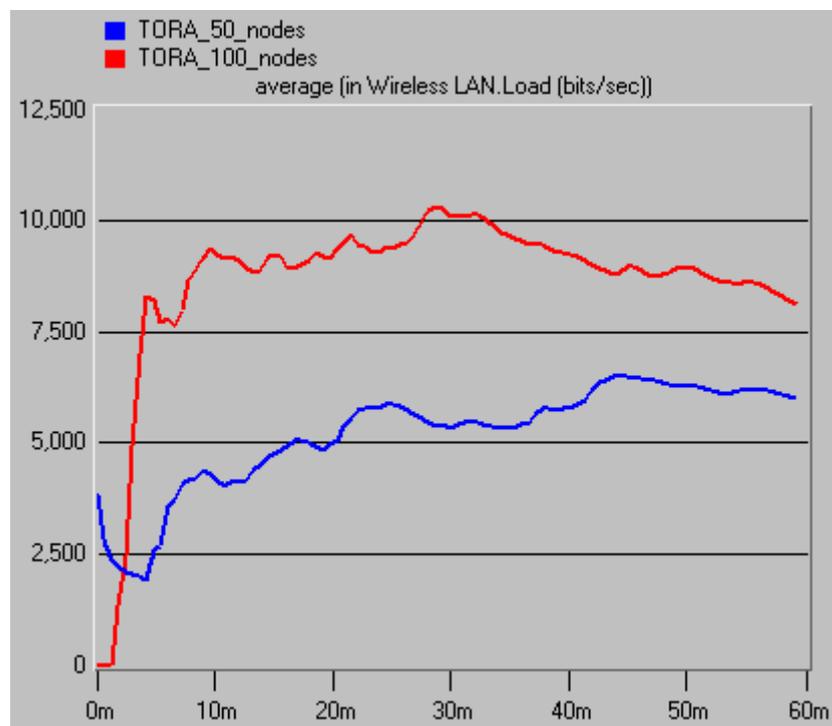


Figura 3. 7: Carga promedio usando protocolo TORA.
Elaborado por: Autor.

Las figuras 3.8 y 3.9 muestran que, el tráfico IMEP en la red de 100 nodos es más del doble del tráfico IMEP en la red de 50 nodos. Del mismo modo, tener más nodos en una red significa que cada nodo tiene más destinos para enviar paquetes y también recibe más información de enrutamiento de sus nodos adyacentes.

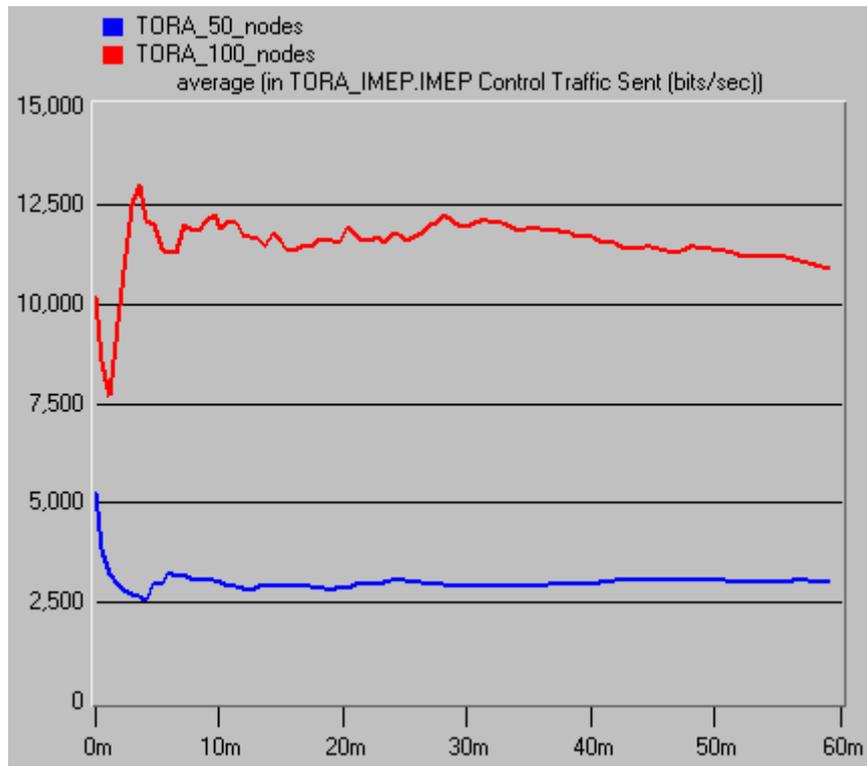


Figura 3. 8: Control de tráfico enviado para el protocolo TORA.
Elaborado por: Autor.

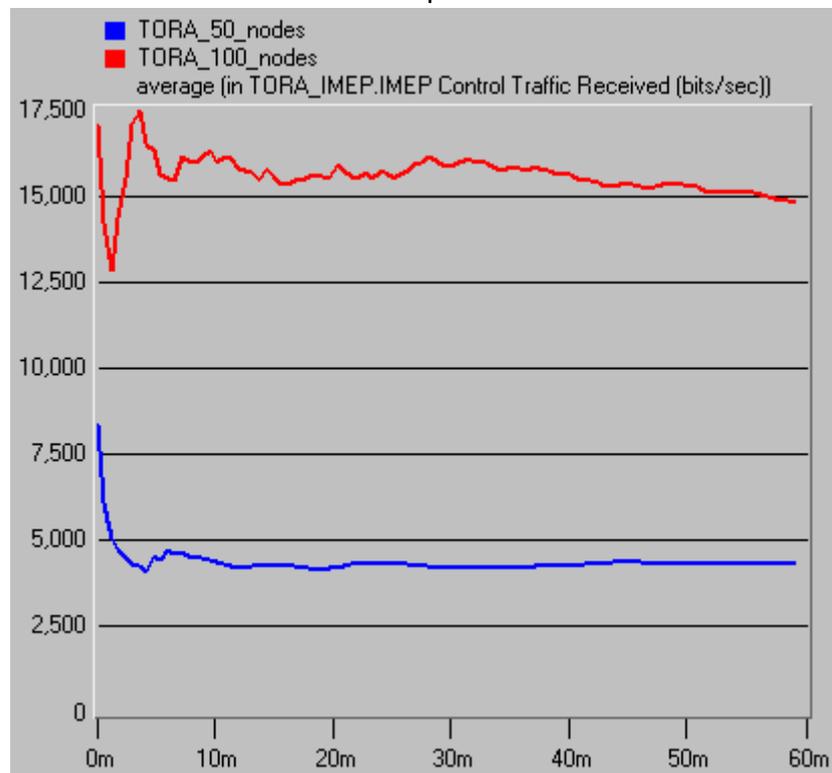


Figura 3. 9: Control de tráfico recibido para el protocolo TORA.
Elaborado por: Autor.

3.4.3. Resultado obtenido de la simulación AODV.

En esta sección, hemos hecho tres escenarios diferentes con el protocolo de enrutamiento AODV. Estos escenarios consisten en evaluar la red ad-hoc con, parámetros por defecto y enrutamientos de tráfico reducido. Cada uno de los escenarios consiste en 50 nodos distribuidos uniformemente.

En la figura 3.10, sin importar el escenario de simulación, se tardó un tiempo relativamente largo para descubrir la ruta. Debido a la característica bajo demanda, es difícil encontrar la ruta adecuada para el nodo destino. También, lleva tiempo para que AODV cree la tabla de enrutamiento. Una vez establecida la tabla, el tiempo de descubrimiento de ruta disminuye.

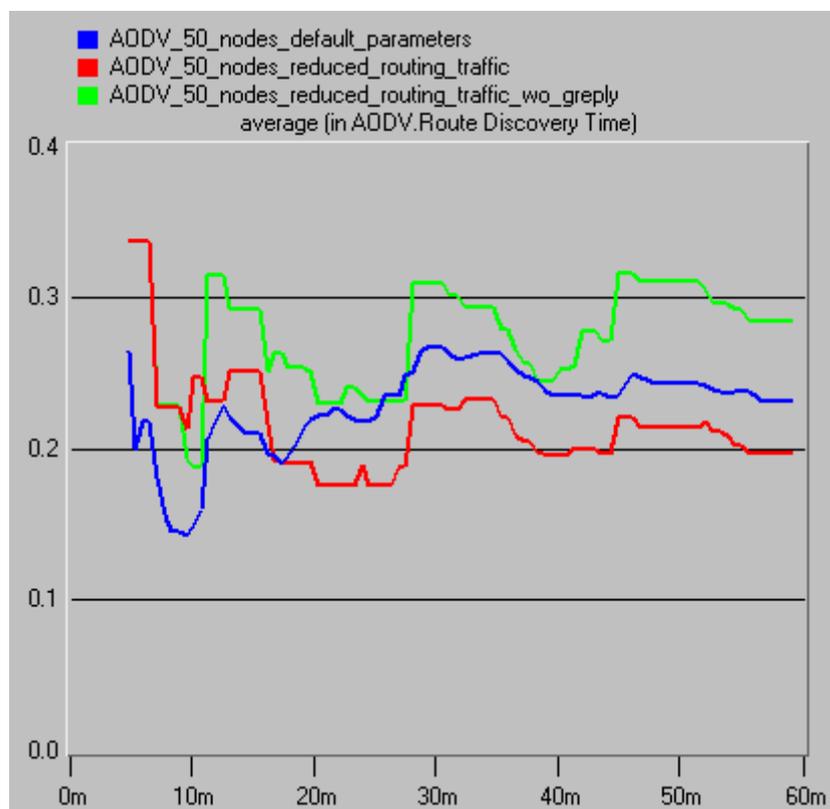


Figura 3. 10: Tiempo de descubrimiento de ruta usando AODV.

Elaborado por: Autor.

También, podemos observar que, con el primer escenario, la ruta gratuita permitida es la razón por la cual el segundo escenario tiene el tiempo de descubrimiento más corto. Por el contrario, aunque el tercer escenario tiene deshabilitado la repetición de ruta como en el primer escenario, su tiempo de espera más largo y la pérdida de paquetes, hizo que el tiempo de descubrimiento de ruta promedio sea más largo en los tres escenarios.

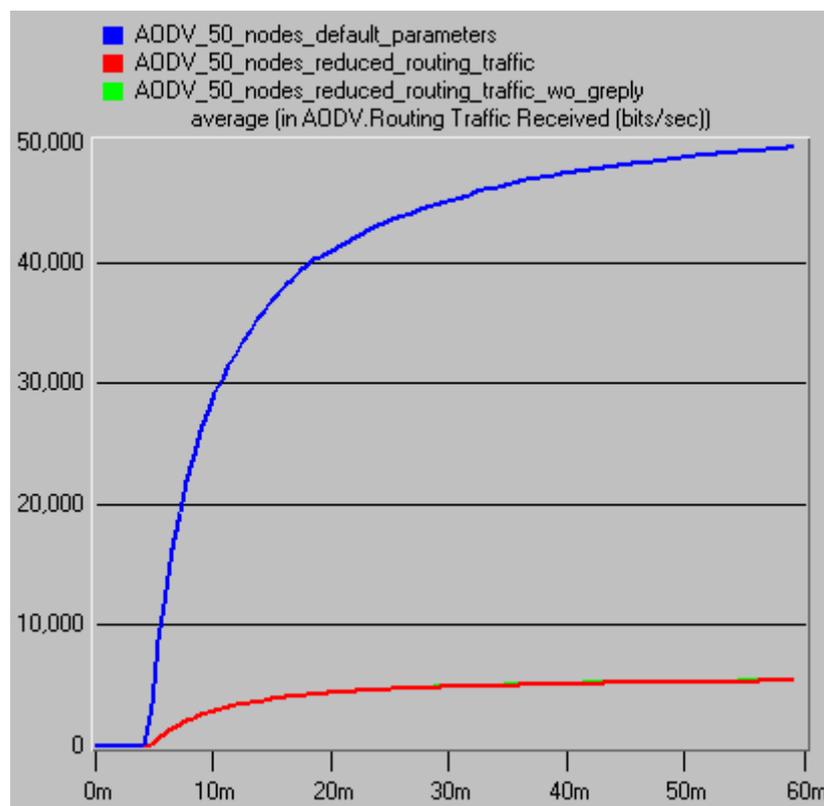


Figura 3. 11: Tráfico de enrutamiento recibido para los escenarios AODV.
Elaborado por: Autor.

Las figuras 3.11 y 3.12 muestran el tráfico de enrutamiento de los tres escenarios. Vemos que los escenarios II y III muestran el mismo número de bits enviados y recibidos como la superposición o solapamiento de dos

líneas (rojo y verde). Esto se debe porque tienen el mismo intervalo de mensaje (previamente configurado). La razón de que la red en el escenario que tiene mayor tráfico es que tiene mucho más corto intervalo de paquetes de mensajes y de tiempo de espera.

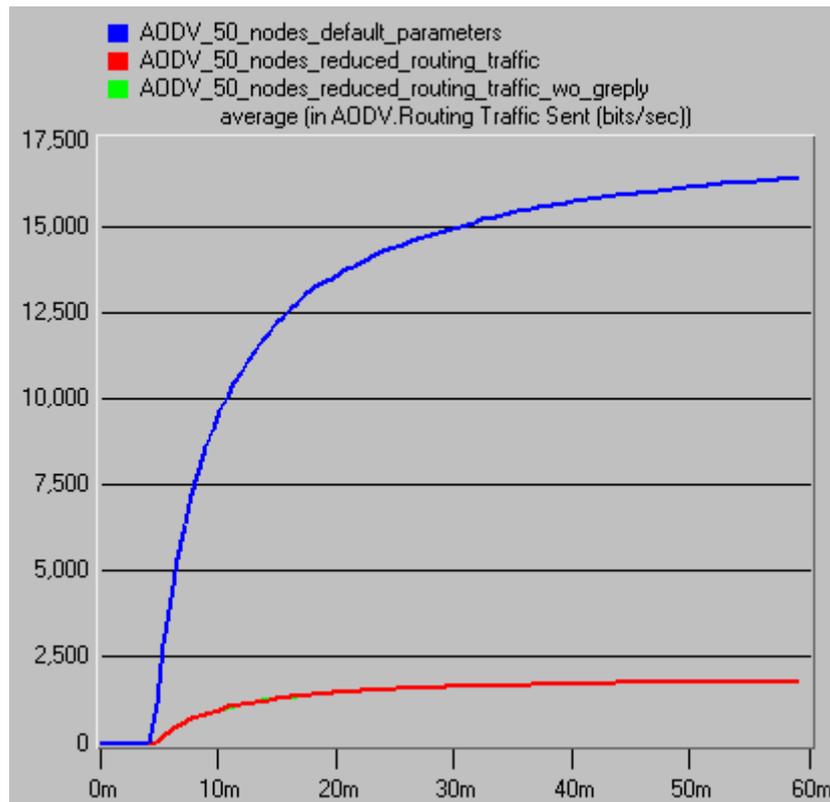


Figura 3. 12: Tráfico de enrutamiento enviado para los escenarios AODV.
Elaborado por: Autor.

De la figura 3.13 y 3.14, es evidente que el escenario II tiene un menor tiempo de respuesta de carga y descarga con relación al escenario I. Atribuimos este del valor de salida, ya que el tiempo de espera y la repetición de ruta fueron activadas en la configuración de los tres escenarios. También podemos ver un patrón similar de tiempo de respuesta de descarga en el escenario II y III, pero el tiempo de respuesta de carga es variable. Como la repetición de ruta gratuita está desactivada, el servidor

necesita encontrar la respuesta del nodo intermedio con el lanzamiento de su propia ruta.

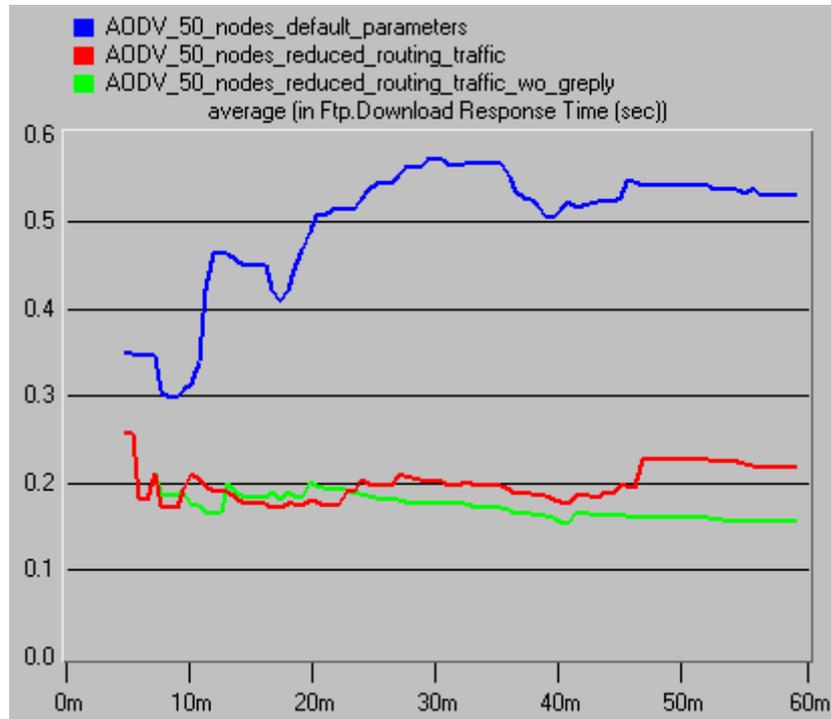


Figura 3. 13: Tiempo de respuesta de descarga FTP.
Elaborado por: Autor.

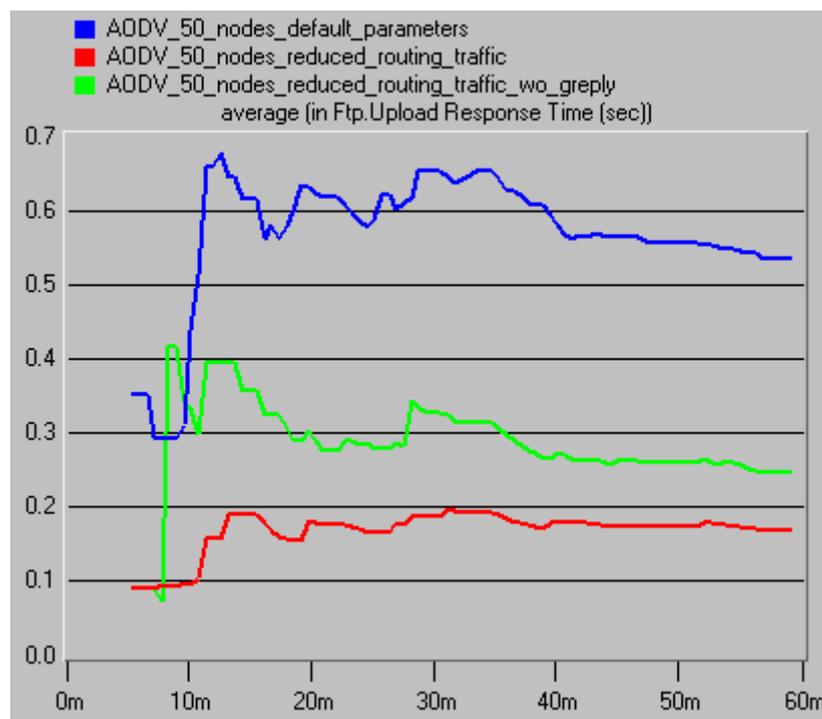


Figura 3. 14: Tiempo de respuesta de carga FTP.

Elaborado por: Autor.

3.5. Análisis comparativo del rendimiento de protocolos simulados.

A los efectos de la comparación de las ventajas y desventajas de cada protocolo simulado en los tres escenarios DSR, TORA y AODV, respectivamente. Cada red tiene 50 nodos y se está ejecutando el servicio FTP. Además, que se realizaron ajustes en la configuración por defecto y los parámetros con cada protocolo en cada red. La figura 3.15 muestra la cantidad de datos perdidos, que es relativamente pequeño en las redes de 50 nodos. Esto ocurre, porque DSR, TORA y AODV se conocen como protocolos de enrutamiento a demanda, de modo que no hay problemas de transmisión de información de enrutamiento adicional.

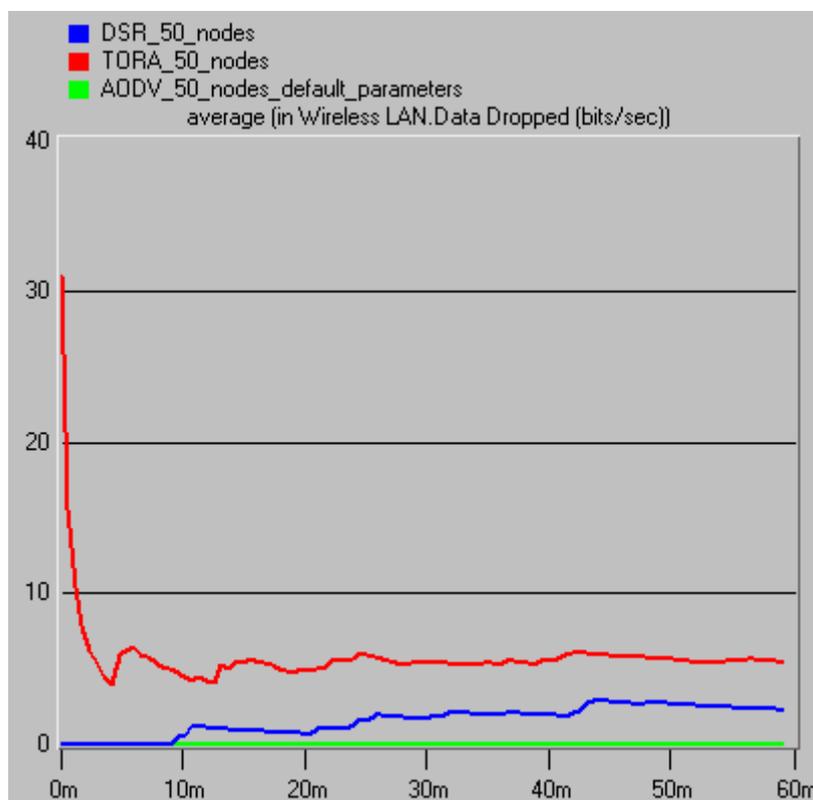


Figura 3. 15: Promedio de datos caídos en los escenarios de simulación.

Elaborado por: Autor.

Dado que el protocolo TORA produce un gran número de enrutamiento de mensaje de control de que la red no puede acomodar, pierde más datos que los otros dos protocolos. Con respecto al escenario de red DSR, este protocolo sobre-depende de caché de ruta. Cuando se enfrenta a una ruta de saltos múltiples, la red con protocolo DSR tomará la ruta más corta posible en lugar de la más reciente que podría ser ya válida.

Como resultado, una ruta válida traerá información incorrecta que lleva a la pérdida de datos. Por lo tanto, DSR tiene la segunda tasa de datos caídos más que el protocolo AODV y menos que el protocolo TORA.

En la figura 3.16 se muestra la simulación del protocolo TORA el cual tiene el retardo más largo, mientras que el protocolo AODV es de menor retardo. Esto ocurre, porque el mecanismo del protocolo TORA requiere que cada nodo envíe al menos un paquete de mensaje, así como el enrutamiento y el paquete IMEP que se utiliza para generar o mantener la ruta y asegurar la retransmisión de datos. Una gran cantidad de mensajes de control por lo tanto da lugar a la larga demora.

Hay dos razones por la que el protocolo AODV tiene mucho menos retardo que el protocolo DSR. En primer lugar, DSR utiliza caché de ruta y el modo de fuente de ruta que almacena la información de ruta múltiple para el

nodo de destino a partir de un único nodo, mientras que cada nodo el protocolo AODV solamente tiene una ruta válida hacia el nodo destino.

Por otra parte, se dirige a todos los nodos con un número de serie para evitar el bucle y mantener actualizada la tabla de enrutamiento. En segundo lugar, el protocolo AODV utiliza el tiempo más corto de creación de una ruta de DSR hace.

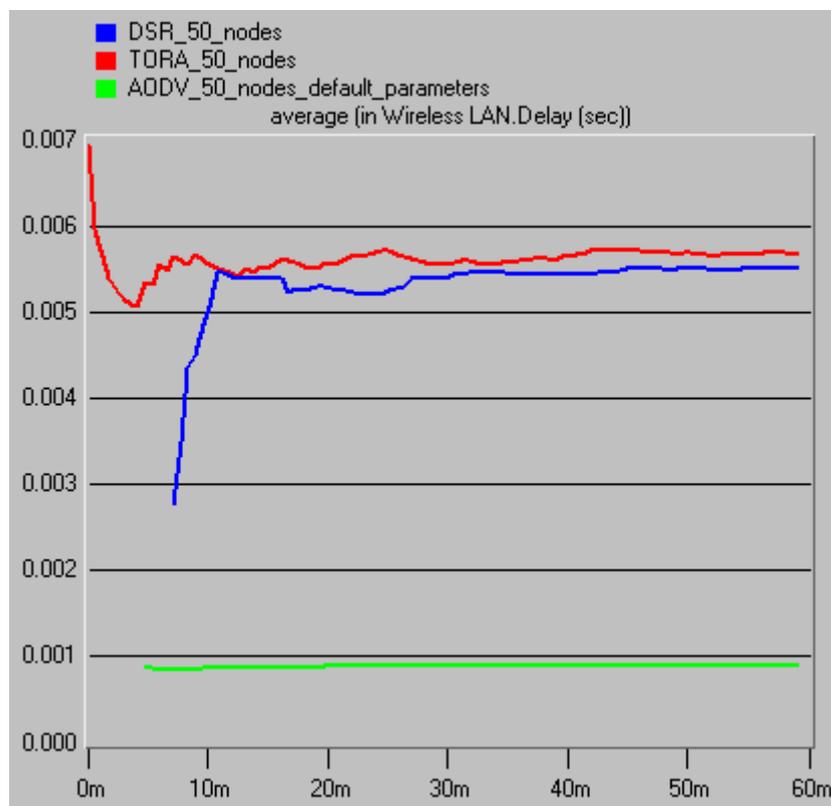


Figura 3. 16: Retardo promedio en los escenarios de simulación
Elaborado por: Autor.

La figura 3.17 muestra la capacidad de carga de los tres protocolos. El protocolo DSR es aquel que tiene el menor nivel de carga. El enrutamiento-origen de los paquetes constituyen parte de la carga de la red de modo que hay espacio limitado para otras transmisiones de paquetes. Sin embargo, el

protocolo TORA ofrece múltiples rutas y se puede enviar más mensajes de control por lo que tiene una carga mayor que el protocolo DSR.

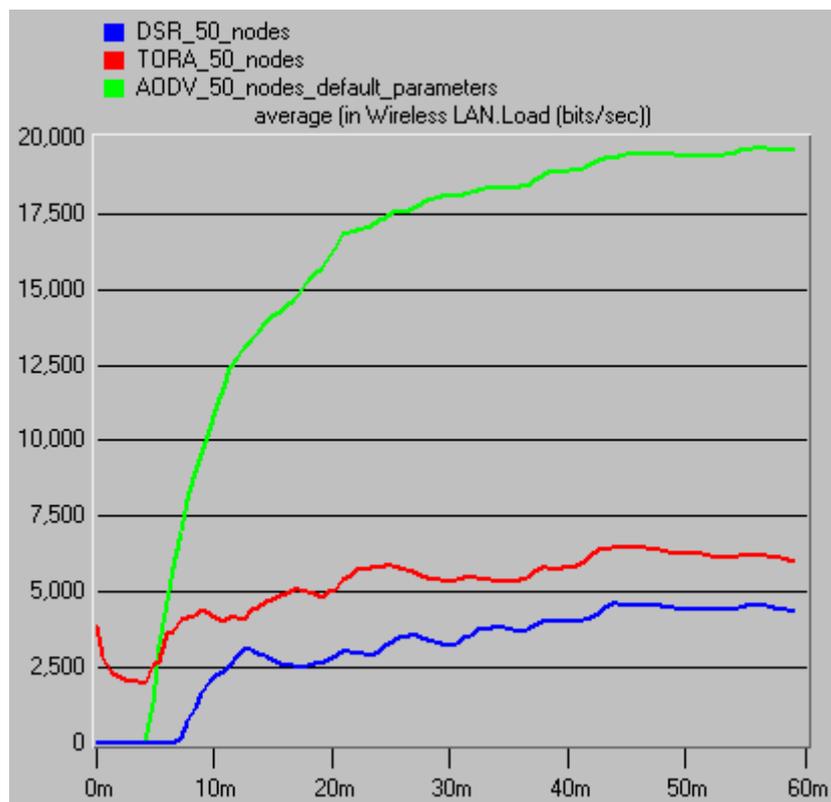


Figura 3. 17: Capacidad de carga para los escenarios de simulación.
Elaborado por: Autor.

El protocolo AODV se considera que tiene una carga mucho más grande que los otros dos protocolos, porque consume menos recursos en la adquisición de canal. Del mismo modo, debido a la caché de enrutamiento del protocolo DSR y el mecanismo de enrutamiento de origen, el descubrimiento y mantenimiento de ruta puede ser intermitente dependiendo de la situación. No hay tampoco difusión periódica. Si no hay ningún mensaje que transmitir, el tráfico en la red puede ser cero. Así que el protocolo DSR tiene el rendimiento más pequeño.

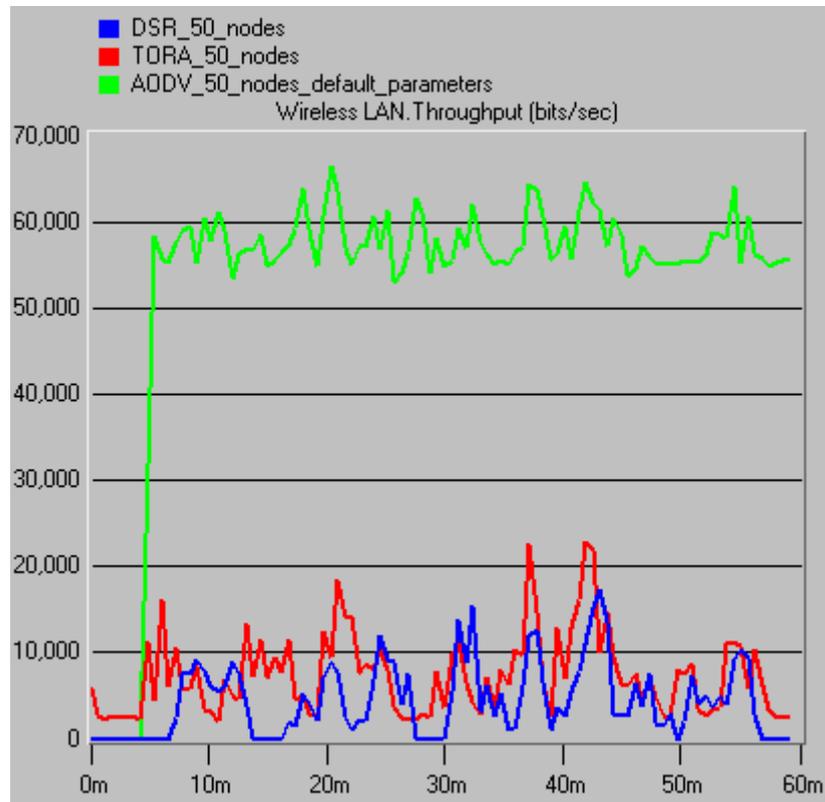


Figura 3. 18: Rendimiento de la red ad-hoc para los escenarios simulados.
Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Las redes móviles ad-hoc han recibido una atención creciente en los últimos años. Existen muchos proyectos de investigación activos en relación con MANETs. Las redes móviles ad-hoc son las redes inalámbricas que utilizan enrutamiento de salto múltiple en lugar de la infraestructura de redes estáticas para proporcionar conectividad de red. Finalmente, las MANETs tienen aplicaciones en sistemas militares y civiles desplegados rápidamente y son muy dinámicos.
- Finalmente, el protocolo TORA ofrece varias rutas para la transmisión de datos por lo que tiene una mejor velocidad de transmisión y de capacidad de carga. El protocolo, AODV utiliza la tabla de enrutamiento y el mecanismo del número de serie para evitar bucles. Este algoritmo tiene el rendimiento más grande debido a su rápida velocidad con la creación de rutas y la restauración de enlaces defectuosos.

4.2. Recomendaciones.

- Adquirir licencias profesionales de las plataformas de programación y simulación de redes de comunicaciones y que sea incluido en el pensum académico de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

- Desarrollar modelos de simulación de las redes móviles ad-hoc utilizando los demás protocolos de enrutamiento ya sean proactivos, reactivo o híbridos con la finalidad de ver el comportamiento y rendimiento de la red para más de 100 nodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarti, & Tyagi, S. (2013). Study of MANET: Characteristics, Challenges, Application and Security Attacks. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(5), 252–257.
- Al-Omari, S. A. K., & Sumari, P. (2010). An Overview of Mobile Ad Hoc Networks for the Existing Protocols and Applications. *International Journal on Applications of Graph Theory In Wireless Ad Hoc Networks And sensor Networks*, 2(1), 87–110. <http://doi.org/10.5121/jgraphhoc.2010.2107>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición*. Fidas G. Arias Odón.
- Boukerche, A., Turgut, B., Aydin, N., Ahmad, M. Z., Bölöni, L., & Turgut, D. (2011). Routing protocols in ad hoc networks: A survey. *Computer Networks*, 55(13), 3032–3080. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2011.05.010>
- Coya R., L., Ledesma Q., Talia, & Baluja G., W. (2014). Protocolos de enrutamiento aplicables a redes MANET. *Revista Digital de las Tecnología de la Información y las comunicaciones*, 13(3), 59–74.
- Gómez Puerta, P. A., Posada Pérez, G. A., & Vallejo Velásquez, M. A. (2014). Evaluación del desempeño del protocolo de enrutamiento AODV para diferentes escenarios de redes de sensores inalámbricos. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(1), 80–101.
- Haas, Z. J., & Pearlman, M. R. (2001). The performance of query control schemes for the zone routing protocol. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 9(4), 427–438. <http://doi.org/10.1109/90.944341>

- Hossain, I., & Hossain S., I. (2010). Performance analysis of Zone Routing Protocol in respect of Genetic Algorithm and Estimation of Distribution Algorithm. *Journal of Computing*, 2(2), 17–24.
- Manjeet, G., & Sonam, K. (2012). Performance Comparison Study of AODV, OLSR and TORA Routing Protocols for MANETS. *International Journal Of Computational Engineering Research*, 2(3), 704–711.
- Mora, M. A. (2004). Tecnologías para redes LAN inalámbricas. Recuperado el 31 de agosto de 2016, a partir de <http://tuxchi.redalyc.org/articulo.oa?id=78430107>
- Naski, S. (2004). Performance of Ad Hoc Routing Protocols: Characteristics and Comparison. Recuperado el 2 de agosto de 2016, a partir de <http://www.cse.hut.fi/fi/opinnot/T-110.5190/2004/papers/>
- Patil, V. P. (2012). Performance Evaluation of on demand and Table driven Protocol for Wireless Ad hoc Network. *arXiv:1209.1700 [cs]*. Recuperado a partir de <http://arxiv.org/abs/1209.1700>
- Sabino, C. (2014). *El proceso de investigación*. Editorial Episteme.
- Vega G., E. (2014). *Desarrollo de protocolo de enrutamiento híbrido basado en zonas para redes MANET*. Universidad de Sevilla. Recuperado a partir de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70542/fichero/Proyecto+Fin+de+Master.pdf>
- Villanueva-Cruz, J. A., García-Hernández, C. F., Pérez-Díaz, J. A., Cahue-Díaz, G., & González-Serna, J. G. (2011). Security in AODV Protocol Routing for Mobile ad hoc Networks. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(1), 15–24.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CALDERÓN PARRALES, JAN ANTONIO** con C.C: # 0919497552 autor del Trabajo de Titulación: **SIMULACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO EN UNA RED INALÁMBRICA AD-HOC.** 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, 12 de Septiembre de 2016

f. _____

Nombre: CALDERON PARRALES, JAN ANTONIO

C.C: 0919497552

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	SIMULACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO DE UNA RED INALÁMBRICA AD-HOC.		
AUTOR(ES)	CALDERÓN PARRALES JAN ANTONIO		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Efraín Suarez Murillo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de Septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	66
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Comunicación, Telemática		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Red ad-hoc, MANET, rendimiento, retardo, protocolos de enrutamiento.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Para el desarrollo del trabajo de titulación se tuvo que realizar una búsqueda bibliográfica de tesis de pregrado, posgrado, artículos en revistas científicas. Durante la investigación se observó diversas publicaciones en donde utilizan plataformas de simulación para redes de telecomunicaciones. Las plataformas GNS-3, Packet Tracer, OMNeT, MatLab y Labview son buenas herramientas de simulación, pero Opnet Modeler tiene mejores atributos al momento de realizar las configuraciones de cada uno de los dispositivos que se utilizan para la red ad-hoc, así como también dispone de las librerías para modelar los protocolos de enrutamiento, ya sean proactivos, reactivos o híbridos. El diseño realizado para el modelo de red móvil ad-hoc permite evaluar cualquier protocolo de enrutamiento, en este caso, se evaluaron DSR, ATORA y AODV. Actualmente, la mayoría de proyectos utilizan estas plataformas para medir tiempo de retardos, capacidad de carga y descarga usando el protocolo de transferencia de archivo (FTP), logrando determinar la factibilidad de implementar redes, ya sean inalámbricas, alámbricas (cobre o fibra óptica) entre otras.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono:	E-mail:	
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):			