



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes
móviles Ad-Hoc usando Opnet**

AUTOR:

Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Guayaquil, 30 de enero de 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo**

DECLARÓ QUE:

El Trabajo de Titulación “**Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017

EL AUTOR

Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: **“Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017

EL AUTOR

Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Amaguaya Luis Final MET2016.docx](#) (D23770788)

Presentado 2016-11-24 16:58 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión MET Luis Amaguaya [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de esta aprox. 20 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 4 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	▣
+	>	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331...	<input type="checkbox"/>
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331...	<input type="checkbox"/>
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331...	<input type="checkbox"/>
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331...	<input type="checkbox"/>
+		http://www.redalyc.org/pdf/852/Resumenes/...	<input checked="" type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

0 Advertencias.

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

TEMA: Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet

AUTOR: Amaguaya Llamuca Luis Eduardo

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

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

15 de noviembre del 2016

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

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios por darme salud, protegido y guiado a lo largo de este proceso de estudios, por ser mi fortaleza y brindarme un camino colmado de éxitos y aprendizajes ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

De igual forma, dedico esta tesis al hombre que me dio la vida, el cual a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo. A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores.

A mi esposa Silvia Verónica Chela Jogacho, con su amor y confianza en mí supieron brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente y no declinaron nunca en su afán de verme convertido en un profesional, a mis hijos Adonis, Ángel y Cristina que esto no sea un ejemplo sino pasos a seguir y ser mejores en su vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por el apoyo que me brinda y gracias a su amor he venido haciendo mi carrera profesional, pues sin su ayuda y la fe que le tengo no lo hubiera logrado

. A cada profesor por expandir sus conocimientos, sistema de posgrado Maestría en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil de la Facultad Técnica para el Desarrollo que contribuyó directamente en mi formación profesional y el director de carrera no ha sido la excepción exalto su trabajo y le agradezco por ayudarme a lograr esta nueva meta, mi maestría y todo sus directivos que brindaron el apoyo para la finalización de mi carrera profesional.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

TUTOR

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

REVISOR

f. _____

ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO

REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
Resumen.....	XIV
Abstract.....	XV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Definición del problema	18
1.4. Objetivos.....	18
1.5. Hipótesis.....	18
1.6. Metodología de investigación.	18
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.....	20
2.1. Red móvil Ad-Hoc.....	20
2.2. Historia y definición de redes móviles Ad-Hoc.....	21
2.3. Ventajas y desventajas.....	22
2.4. Aplicaciones del uso de redes móviles Ad-Hoc.....	24
2.5. Protocolo de comunicación IEEE 802.11.....	25
2.5.1. Estándar IEEE 802.11 y tecnología IEEE 802.11b.....	26
2.5.2. Tecnología de espectro de dispersión de secuencia directa.	28
2.6. Modelos de movilidad.....	29
2.7. Enrutamiento en redes móviles Ad-Hoc.....	30
2.8. Problemas de enrutamientos en redes móviles Ad-Hoc.....	32
2.9. Clasificación de protocolos de enrutamiento en MANETs.....	33
2.9.1. Enrutamiento en estructura de red plana.....	33
2.9.1.1. Protocolos bajo demanda o reactivos.....	34
2.9.1.2. Protocolos proactivos.....	36

2.9.2. Protocolos de enrutamiento jerárquico.	38
2.9.3. Posición geográfica de información de enrutamiento asistida.	39
Capítulo 3: Implementación y análisis de resultados.	40
3.1. Introducción.	40
3.2. Plataforma de simulación Opnet.	40
3.3. Especificaciones del entorno de simulación.	41
3.4. Desarrollo y configuración de escenarios de simulación DSR y TORA.	41
3.5. Análisis de los resultados obtenidos.	45
3.5.1. Análisis comparativo de los protocolos DSR y TORA.	46
3.5.2. Resultados del rendimiento de redes MANET para el escenario estático.	47
3.5.3. Resultados del rendimiento de redes MANET para el escenario con movilidad.	51
Conclusiones	57
Recomendaciones	58
Bibliografía	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Jerarquía de una red móvil Ad-Hoc.	20
Figura 2. 2: Red móvil Ad-Hoc con 5 nodos utilizando multisaltos.....	22
Figura 2. 3: Red móvil Ad-Hoc con 5 nodos utilizando multisaltos.....	24
Figura 2. 4: Estándar 802.11 y el modelo OSI.	27
Figura 2. 5: Clasificación de modelos de movilidad.	30
Figura 2. 6: Clasificación de protocolos de enrutamiento en redes Ad-hoc para móviles.....	33

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Ventana principal del simulador Opnet.	40
Figura 3. 2: Escenario de simulación para redes MANET con movilidad.....	42
Figura 3. 3: Atributos para los parámetros de enrutamiento Ad-Hoc.	43
Figura 3. 4: Atributos de configuración para el protocolo DSR.	44
Figura 3. 5: Atributos de configuración para el protocolo TORA.....	44
Figura 3. 6: Rendimiento del protocolo DSR para 10 nodos móviles.....	47
Figura 3. 7: Rendimiento del protocolo DSR para 25 nodos móviles.....	48
Figura 3. 8: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles...	48
Figura 3. 9: Rendimiento del protocolo TORA para 10 nodos móviles.	49
Figura 3. 10: Rendimiento del protocolo TORA para 25 nodos móviles.	49
Figura 3. 11: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles.	50
Figura 3. 12: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 10 nodos móviles.....	50
Figura 3. 13: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 25 nodos móviles.....	51
Figura 3. 14: Rendimiento del protocolo DSR para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.....	52

Figura 3. 15: Rendimiento del protocolo DSR para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.....	52
Figura 3. 16: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles con soporte de movilidad.....	53
Figura 3. 17: Rendimiento del protocolo TORA para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.....	53
Figura 3. 18: Rendimiento del protocolo TORA para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.....	54
Figura 3. 19: Comparativa del protocolo TORA para 10 y 25 nodos móviles con soporte de movilidad.....	54
Figura 3. 20: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.....	55
Figura 3. 21: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Aplicaciones móviles de redes Ad-Hoc.....	24
Tabla 2. 2: Comparación de Protocolos de Enrutamiento Proactivo y Reactivo.....	37

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación de red móvil y de comunicaciones... 41	41
Tabla 3. 2: Generación de tráfico de datos en redes MANET.....	45
Tabla 3. 3: Resumen de estadístico de los datos obtenidos en las simulaciones.	45

Resumen

El trabajo de examen complejo consistió en el desarrollo de escenarios de simulación del protocolo de enrutamiento de origen dinámico (DSR, Dynamic Source Routing) y del algoritmo de enrutamiento ordenado temporalmente (TORA, Temporally Ordered Routing Algorithm) bajo la plataforma de modelación Opnet. La metodología utilizada en la simulación es propia del autor, aunque para la mayoría del trabajo sigue con la metodología tradicional. El trabajo es de carácter descriptivo y explicativo, cuyo paradigma es empírico – analítico, con enfoque cuantitativo. Existen diversas plataformas para diseñar modelos de simulación, tales como, OMNeT ++, MatLab, OptiSystem, Opnet, entre otros. La plataforma de simulación que mejor se adapta para modelar los protocolos de enrutamiento, es Opnet. Aunque, las otras son muy buenas herramientas, pero Opnet dispone de librerías para modelar diferentes redes de telecomunicaciones, dispositivos, así como los protocolos proactivos, reactivos e híbridos. Los resultados obtenidos durante las pruebas de simulación entre los protocolos DSR y TORA, mostraron que el rendimiento de la red móvil inalámbrica Ad-hoc, es mejor si se implementa el protocolo de enrutamiento DSR tanto para escenarios estáticos y con movilidad.

Palabras Claves: AD-HOC, PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO, PROACTIVO, REACTIVO, DSR, TORA.

Abstract

The complex review work consisted of the development of Dynamic Source Routing (DSR) simulation scenarios and the Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) under the Opnet modeling platform. The methodology used in the simulation is the author's own, although for most of the work it continues with the traditional methodology. The work is descriptive and explanatory, whose paradigm is empirical - analytical, with a quantitative approach. There are several platforms for designing simulation models, such as OMNeT ++, MatLab, OptiSystem, Opnet, among others. The best simulation platform for modeling routing protocols is Opnet. Although, the others are very good tools, but Opnet has libraries to model different telecommunication networks, devices, as well as proactive, reactive and hybrid protocols. The results obtained during the simulation tests between the DSR and TORA protocols showed that the performance of the Ad-hoc wireless mobile network is better if the DSR routing protocol is implemented for both static and mobile scenarios.

Keywords: AD-HOC, ROUTE PROTOCOLS, PROACTIVE, REACTIVE, DSR, TORA.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Una Red Móvil Ad-Hoc también conocida como MANETs, esta red es una colección de nodos móviles que se comunican entre sí a través de un enlace inalámbrico ya sea directamente o dependiendo de otros nodos como enrutadores. Los operadores de redes móviles Ad-Hoc no dependen de infraestructura preexistente o de estaciones base. Los nodos de red en MANETs son libres de moverse aleatoriamente. Debido a la movilidad de los nodos, la topología de red de MANET puede cambiar dinámicamente sin necesidad de recurrir a ninguna administración centralizada existente.

La simulación se está llevando a cabo utilizando la herramienta de ingeniería de redes optimizadas, conocida como OPNET (Optimized Network Engineering Tool), que es un modelador de redes mediante el cual se puede diseñar cualquier tipo de modelo de red y luego se puede simular. OPNET es un software que proporciona múltiples soluciones para gestionar redes y aplicaciones, tales como, operaciones de red, planificación, investigación y desarrollo (I + D), ingeniería de redes y gestión del rendimiento. OPNET está diseñado para modelar dispositivos de comunicación, tecnologías, protocolos y para simular el rendimiento de estas tecnologías.

Infraestructura de menor enfoque, la red móvil inalámbrica es comúnmente conocida como una red móvil ad hoc (MANET). Un MANET es una colección de nodos inalámbricos que pueden formar dinámicamente una red para intercambiar información sin utilizar ninguna infraestructura de red fija preexistente. Esta es una parte muy importante de la tecnología de comunicación que soporta herramientas computacionales, porque en muchos contextos el intercambio de información entre unidades móviles no puede depender de ninguna infraestructura de red fija, sino de una rápida configuración de conexiones inalámbricas.

1.2. Antecedentes.

Las redes Ad-Hoc inalámbricas son un área independiente y amplia para realizar trabajos de investigación e implementar aplicaciones, en lugar de ser sólo un complemento del sistema de comunicación celular. En la búsqueda de información a través de repositorios digitales (pregrado y posgrado), artículos científicos (español e inglés) y en congresos, se encontraron trabajos relacionados a la simulación de protocolos de enrutamiento, tanto como, proactivos, reactivos e híbridos. A continuación, se mencionan algunos trabajos de importancia relacionados al presente trabajo:

- a. “Evaluación del desempeño del protocolo de enrutamiento AODV para diferentes escenarios de redes de sensores inalámbricos” realizado por Gómez et al. (2014), evalúa el desempeño de las métricas de tasa de entrega de paquetes, retardo promedio, sobrecarga de enrutamiento y consumo de energía del protocolo reactivo AODV utilizando el software OMNeT++ mediante diversos escenarios.
- b. “Evaluación del retardo de los protocolos de ruteo reactivos para redes Manet” realizado por Murazzo, Rodríguez, & Martínez (2008), evalúa el retardo de dos protocolos AODV y DSR, ambos pertenecientes a la familia de reactivos y muy utilizados en redes inalámbricas.
- c. “Simulación y análisis de desempeño de protocolos unicast para Redes VANET” realizado por Jiménez, López, & Pedraza (2012), evalúa el comportamiento de los protocolos de enrutamiento AODV, DSR y DSDV mediante simulación

Las redes inalámbricas resultan ser muy utilizadas, pero existen muy pocos trabajos de investigación realizados en formación de pregrado, y casi nulo en posgrado. Los tres trabajos presentados han permitido que se pueda realizar la “Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet”.

1.3. Definición del problema

Necesidad de desarrollar escenarios de simulación de una red móvil Ad-Hoc implementado dos protocolos de enrutamiento DSR y TORA utilizando la herramienta Opnet”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Analizar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento DSR y TORA, en redes inalámbricas móviles Ad-Hoc implementados en la plataforma de simulación Opnet.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar los fundamentos teóricos de las redes inalámbricas móviles y de protocolos de enrutamiento.
- ✓ Diseñar los escenarios de simulación para los protocolos de enrutamiento DSR y TORA usando el software Opnet.
- ✓ Evaluar los resultados obtenidos de los protocolos de enrutamiento DSR y TORA.

1.5. Hipótesis

Se plantea la hipótesis nula: No existe diferencias entre los grupos de datos muestreados a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones de los protocolos de enrutamiento DSR y TORA.

1.6. Metodología de investigación.

Aunque la metodología de investigación utilizada en el presente trabajo es propio del autor, a continuación se describen los elementos de investigación que se asemejan a la metodología desarrollada mediante los escenarios de simulación, que son:

Alcance:

La implementación de escenarios de simulación es de carácter **Descriptivo y Explicativo**, ya que primero se describen los protocolos de enrutamiento DSR y TORA que originan el fenómeno en cuestión. Explicativo, porque interesa en que aspectos ocurre el fenómeno mediante el uso de la herramienta de simulación de ingeniería Opnet.

Paradigma:

Empírico-Analítico

Enfoque:

Cuantitativo

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

2.1. Red móvil Ad-Hoc.

Las redes móviles Ad-Hoc (MANETs) representan sistemas complejos distribuidos que comprenden nodos móviles inalámbricos que pueden organizarse de forma libre y dinámica en topologías de red "ad hoc" arbitrarias y temporales, permitiendo interconectar a personas y dispositivos de manera transparente en áreas sin necesidad de pre infraestructura (véase la figura 2.1) de comunicación existente, por ejemplo, para entornos de recuperación de desastres.

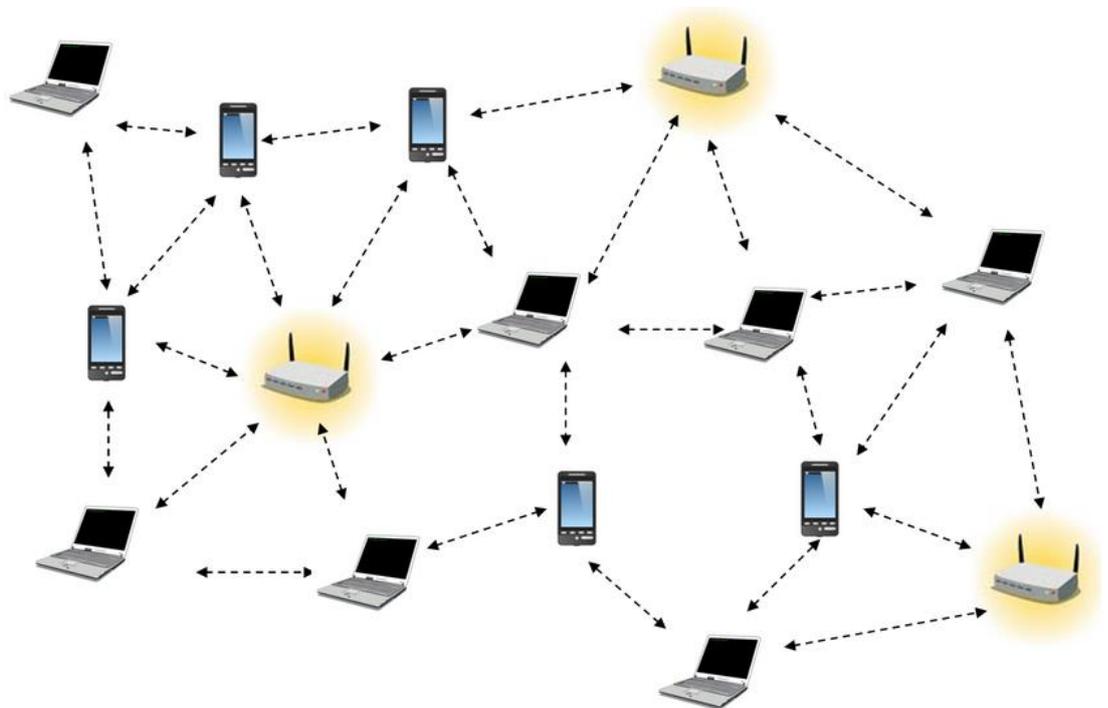


Figura 2. 1: Jerarquía de una red móvil Ad-Hoc.

Fuente: (Navarro, 2006)

El concepto de red Ad-Hoc no es nuevo, que ha estado alrededor en varias formas durante más de 20 años. Tradicionalmente, las redes tácticas han sido la única aplicación de redes de comunicación que siguió el paradigma Ad-Hoc. La introducción de nuevas tecnologías como Bluetooth, IEEE 802.11 e HiperLAN están ayudando a permitir eventuales despliegues comerciales de MANET fuera del dominio militar. Estas evoluciones

recientes han generado un interés renovado y creciente por la investigación y el desarrollo de MANET.

2.2. Historia y definición de redes móviles Ad-Hoc.

El concepto de red móvil Ad-Hoc no es nuevo y sus orígenes se remontan al proyecto DARPA Packet Radio Network en 1972. Entonces, las ventajas como la flexibilidad, la movilidad, la resistencia y la independencia de la infraestructura fija, despertaron interés inmediato entre las agencias militares, policiales y de rescate en el uso de tales redes en entornos desorganizados u hostiles.

Durante mucho tiempo, la investigación de las redes Ad-Hoc permaneció en el ámbito de las fuerzas armadas, y sólo a mediados de 1990, con el advenimiento de las tecnologías de radio comerciales, la comunidad de investigación inalámbrica tomó conciencia del gran potencial y las ventajas de las redes móviles Ad-Hoc fuera del dominio militar, atestiguado por la creación del grupo de trabajo IETF de redes móviles Ad-Hoc.

Las redes móviles Ad-Hoc son una colección de dos o más dispositivos equipados con comunicaciones inalámbricas y capacidades de red. Estos dispositivos pueden comunicarse con otros nodos que están inmediatamente dentro de su rango de radio o uno que está fuera de su rango de radio. Posterior a esto, los nodos deben desplegar un nodo intermedio para ser el enrutador del paquete desde la fuente hacia el destino.

Además, los dispositivos son libres de unirse o abandonar la red y pueden moverse aleatoriamente, lo que puede dar lugar a cambios de topología rápidos e impredecibles. En este entorno multisalto dinámico, distribuido y con restricciones de energía, los nodos necesitan organizarse

dinámicamente para proporcionar la funcionalidad de red necesaria en ausencia de infraestructura fija o administración central.

Una red móvil Ad-Hoc o MANET, es una red inalámbrica de adaptación, auto configurable y organizado, sin infraestructura y multisalto con topologías dinámicas impredecibles. Es decir, que la red Ad-Hoc está formada, fusionada o dividida en redes separadas dependiendo de las necesidades de la red. A continuación, se indican las características y complejidades específicas, que imponen muchos desafíos de diseño a los protocolos de red:

- a. Autónoma y poca infraestructura.
- b. Enrutamiento de múltiples saltos (véase la figura 2.2).
- c. Topología de red dinámica.
- d. Heterogeneidad del dispositivo.
- e. Operación restringida de energía.
- f. Enlaces de capacidad variable limitados de ancho de banda.
- g. Seguridad física limitada
- h. Escalabilidad de red.

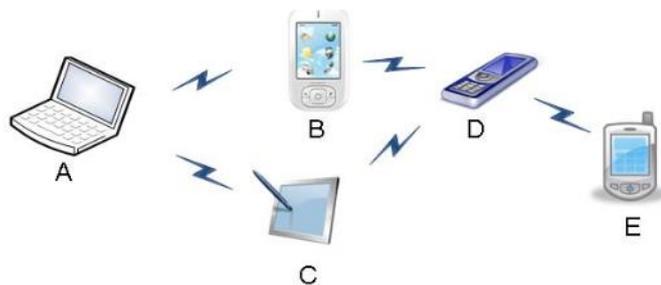


Figura 2. 2: Red móvil Ad-Hoc con 5 nodos utilizando multisalartos.
Fuente: (Navarro, 2006)

2.3. Ventajas y desventajas.

Las redes Ad-Hoc son realmente una alternativa a las redes fijas en algunas situaciones operativas, pero un análisis de sus ventajas y desventajas, nos ayudará a conocer las aplicaciones y los contextos que pueden ser útiles para. A continuación, presentamos algunos de ellos:

- a. Entre las ventajas de las redes MANETs están:

- Instalación rápida
- Topologías dinámicas.
- Tolerancia a fallos.
- Conectividad.
- Movilidad.
- Económico en infraestructura y bajo consumo de energía.
- Posibilidad de reutilización del espectro.

b. Algunos de los problemas que tienen MANETs son (ver figura 2.3):

- Limitaciones de ancho de banda.
- Capacidad de procesamiento.
- Limitaciones de energía.
- Latencia alta.
- Errores de transmisión.
- Vulnerable en seguridad.
- Direccionamiento IP.
- Comercialmente no disponible.

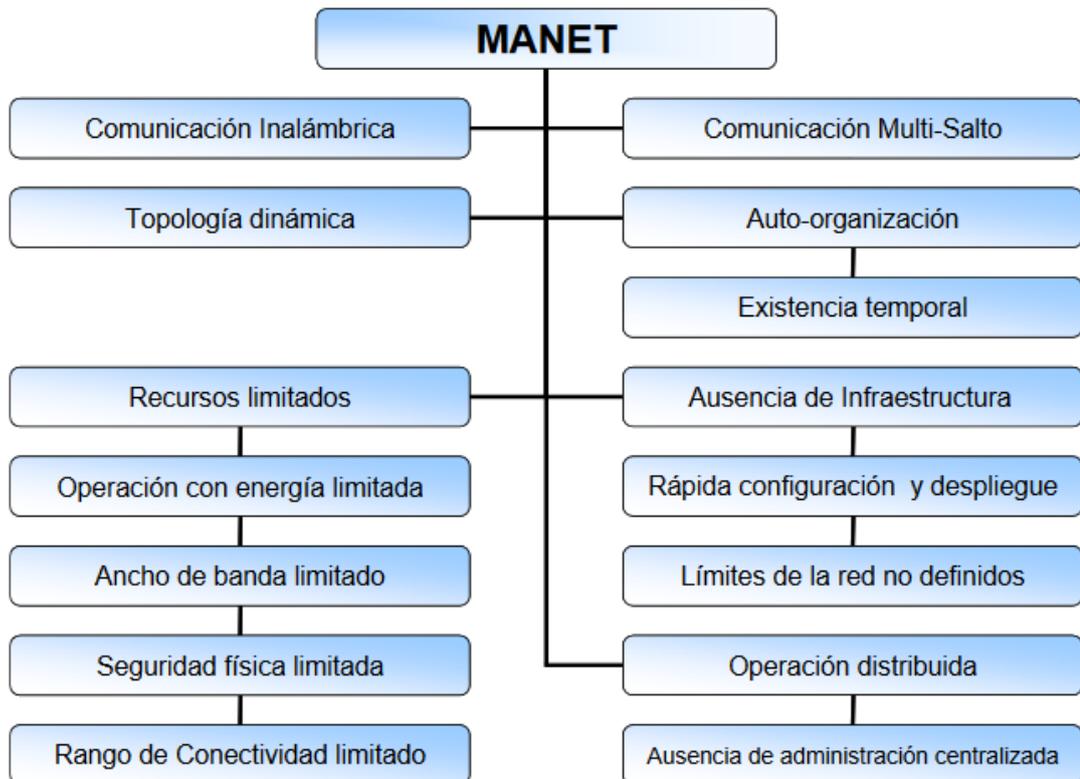


Figura 2. 3: Red móvil Ad-Hoc con 5 nodos utilizando multisaltos.
Fuente: (Rocabado, 2013)

2.4. Aplicaciones del uso de redes móviles Ad-Hoc.

Una vez conocidas las características de las redes Ad-Hoc, los ejemplos de su potencial de uso práctico sólo están limitados por la imaginación. Por lo tanto, el conjunto de aplicaciones de redes Ad-Hoc es diverso, desde pequeñas redes estáticas que están limitadas por fuentes de energía hasta redes móviles de gran escala y dinámica.

Las aplicaciones típicas son aquellas en las que deben establecerse comunicaciones eficaces y dinámicas supervivientes. En la tabla 2.1 se proporciona una visión general de las aplicaciones MANET.

Tabla 2. 1: Aplicaciones móviles de redes Ad-Hoc.

Solicitud	Posibles escenarios / servicios
Redes tácticas	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicaciones y operaciones militares. • Campos de batalla automatizados.

Servicios de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones de búsqueda y rescate. • Recuperación en desastres. • Policía y lucha contra incendios
Entornos comerciales y civiles	<ul style="list-style-type: none"> • Comercio electrónico. • Servicios vehiculares para orientación en carretera o accidente, condiciones meteorológicas, red de taxis, y redes entre vehículos. • Estadios deportivos, ferias comerciales, centros comerciales. • Redes de acceso libre en los aeropuertos.
Redes domésticas y empresariales	<ul style="list-style-type: none"> • Redes inalámbricas en el hogar u oficina. • Conferencias, salas de reuniones.
Educación	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades y campus. • Aulas virtuales. • Comunicaciones Ad-Hoc durante reuniones y conferencias.
Entretenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Juegos multiusuario. • Redes inalámbricas P2P. • Aplicaciones robóticas.
Extensión de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliación del acceso a la red celular • Vinculación con Internet, intranets, etc.

Fuente: (Rocabado, 2013)

2.5. Protocolo de comunicación IEEE 802.11.

El objetivo del estándar IEEE 802.11, es proporcionar conectividad inalámbrica a dispositivos que requieren una instalación rápida, como ordenadores portátiles, PDAs o dispositivos generalmente móviles dentro de una red inalámbrica de área local (WLAN, Wireless Local Area Network). Las redes WLAN 802.11 ya se utilizan comúnmente en campus universitarios, aeropuertos y centros comerciales.

El estándar 802.11b es el primer estándar para hacer las WLAN utilizables en el lugar de trabajo general al proporcionar un rendimiento robusto y fiable de 11 Mbps, cinco veces más rápido que el estándar original.

2.5.1. Estándar IEEE 802.11 y tecnología IEEE 802.11b.

Como la autoridad LAN reconocida a nivel mundial, el comité IEEE 802 ha establecido los estándares que han impulsado la industria de LAN durante las últimas dos décadas, incluyendo 802.3 Ethernet, 802.5 Token Ring y 802.3z 100BASE-T Fast Ethernet. En 1997, después de siete años de trabajo, el IEEE publicó el 802.11, el primer estándar aprobado internacionalmente para LANs inalámbricas. En septiembre de 1999 ratificaron la enmienda al estándar 802.11b "High Rate", que agregó dos velocidades más altas (5.5 Mbps y 11 Mbps) a 802.11.

Con las WLAN 802.11b, los usuarios móviles pueden obtener niveles de rendimiento, desempeño y disponibilidad de Ethernet. La tecnología basada en estándares permite a los administradores crear redes que combinan sin problemas más de una tecnología LAN para adaptarse mejor a sus necesidades empresariales y de usuario. Al igual que todos los estándares IEEE 802, los estándares 802.11 se centran en los dos niveles inferiores del modelo OSI, la capa física y la capa de enlace de datos (véase la figura 2.4). Cualquier aplicación LAN, sistema operativo de red o protocolo, incluyendo TCP/IP se ejecuta en una WLAN compatible con 802.11 tan fácilmente como se ejecutan a través de Ethernet.

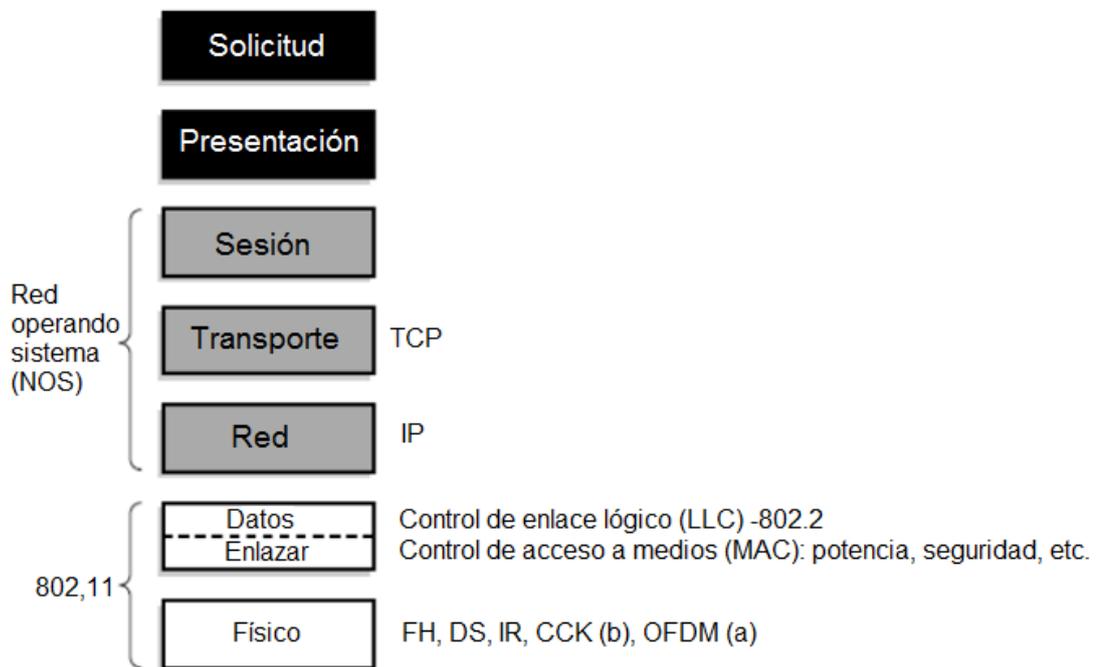


Figura 2. 4: Estándar 802.11 y el modelo OSI.

Fuente: (Navarro, 2006)

La arquitectura básica, características y servicios de 802.11b están definidos por el estándar 802.11 original. La especificación 802.11b afecta sólo a la capa física, añadiendo velocidades de datos más altas y una conectividad más robusta. El estándar 802.11 define dos modos: modo de infraestructura y modo Ad-Hoc. En el modo de infraestructura, la red inalámbrica consta de al menos un punto de acceso (AP, Access Point) conectado a la infraestructura de red cableada y un conjunto de estaciones finales inalámbricas. Esta configuración se denomina conjunto de servicio básico (BSS, Basic Service Set).

Un conjunto de servicios extendido (ESS, Extended Service Set) es un conjunto de dos o más BSSs que forman una sola subred. Dado que la mayoría de las WLAN corporativas requieren acceso a la LAN cableada para servicios (servidores de archivos, impresoras, enlaces a Internet) funcionarán en modo de infraestructura. El modo Ad-Hoc también llamado modo peer-to-peer o un conjunto de servicios básicos independientes (IBSS,

Independent Basic Service Set) es simplemente un conjunto de estaciones inalámbricas 802.11 que se comunican directamente entre sí sin utilizar un AP ni conexión a una red cableada.

Este modo es útil para configurar de forma rápida y sencilla una red inalámbrica en cualquier lugar donde no exista una infraestructura inalámbrica o no sea necesaria para servicios como una habitación de hotel, un centro de convenciones o un aeropuerto, o donde el acceso a la red por cable esté prohibido.

2.5.2. Tecnología de espectro de dispersión de secuencia directa.

La principal contribución de la adición 802.11b al estándar de LAN inalámbrica fue normalizar el soporte de la capa física de dos nuevas velocidades, de 5,5 Mbps y 11 Mbps. Para lograr esto, el espectro de dispersión de secuencia directa (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) tuvo que ser seleccionado como la única técnica de capa física para el estándar.

DSSS es un método de modulación aplicado a señales digitales. Aumenta el ancho de banda de la señal a un valor mucho mayor de lo necesario para transmitir la información subyacente. En DSSS, los códigos de propagación que son independientes de la señal original se utilizan para lograr el objetivo de expansión de ancho de banda. Tanto un emisor como un receptor acuerdan un código de difusión, que se considera un secreto compartido entre ellos. Un código de ensanchamiento es generalmente una secuencia de bits valorados "1" y "-1" (polar) o bien "1" y "0" (no polar), que tiene propiedades similares a los ruidos.

Para soportar entornos muy ruidosos, así como un rango extendido, las WLAN 802.11b utilizan el cambio de velocidad dinámico, permitiendo que las tasas de datos se ajusten automáticamente para compensar la naturaleza

cambiante del canal de radio. Lo ideal es que los usuarios se conecten a una velocidad de 11 Mbps. Sin embargo, cuando los dispositivos se mueven más allá del rango óptimo para el funcionamiento de 11 Mbps, o si hay interferencia sustancial, los dispositivos 802.11b transmitirán a velocidades más bajas, volviendo a 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps.

Los principales beneficios de la tecnología DSSS son:

- Resistencia a atascos intencionados o no intencionados.
- Compartir un único canal entre varios usuarios.
- El nivel de señal / ruido de fondo reducido dificulta la interceptación.
- Determinación del tiempo relativo entre el transmisor y el receptor.

2.6. Modelos de movilidad

El modelo de movilidad está diseñado para describir el patrón de movimiento de los usuarios móviles y cómo su ubicación, velocidad y aceleración cambian con el tiempo. Dado que los patrones de movilidad pueden desempeñar un papel importante en la determinación del rendimiento del protocolo, es deseable que los modelos de movilidad imiten el patrón de movimiento de aplicaciones de una manera razonable.

En los estudios anteriores sobre los patrones de movilidad en las redes celulares inalámbricas, los investigadores se centran principalmente en el movimiento de los usuarios en relación con un área en particular (es decir, una celda) a un nivel macroscópico, tal como tasa de cambio de célula, tráfico de traspaso y probabilidad de bloqueo.

Sin embargo, para modelar y analizar los modelos de movilidad en MANET, estamos más interesados en el movimiento de nodos individuales en el nivel microscópico, incluyendo la localización del nodo y la velocidad

con respecto a otros nodos, porque estos factores determinan directamente cuando los eslabones se forman y se rompen debido a que la comunicación es peer-to-peer.

En la figura 2.5 ofrecemos una categorización para varios modelos de movilidad en varias clases sobre la base de sus características específicas de movilidad. Para algunos modelos de movilidad, es probable que el movimiento de un nodo móvil se vea afectado por su historial de movimiento. Nos referimos a este tipo de modelo de movilidad como modelos de movilidad con dependencia temporal. En algunos escenarios de movilidad, los nodos móviles tienden a viajar de una manera correlacionada. Nos referimos a modelos como modelos de movilidad con dependencia espacial. Otra clase son los modelos de movilidad con restricción geográfica, donde el movimiento de nodos está limitado por calles, autopistas u obstáculos.

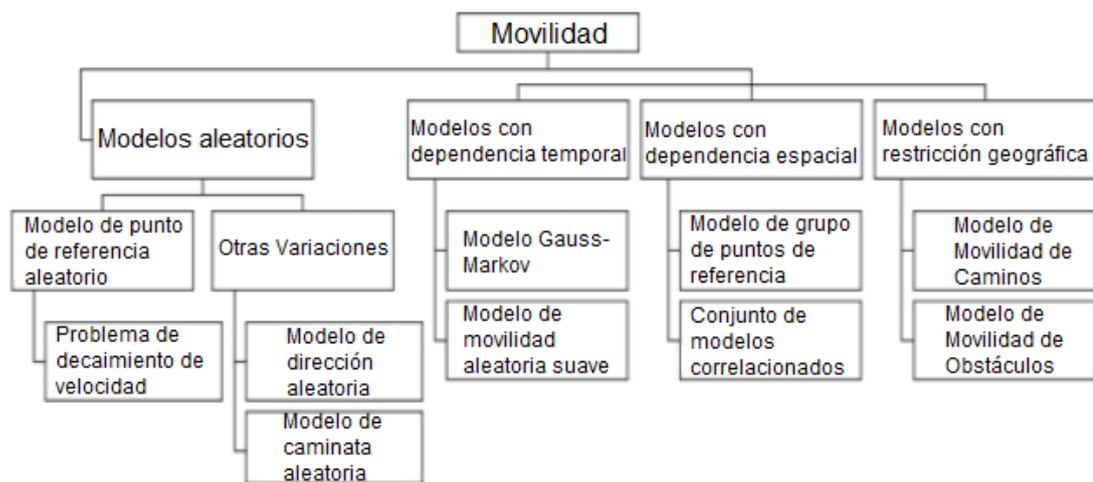


Figura 2. 5: Clasificación de modelos de movilidad.

Fuente: (Mehrotra, Lecturer Arti Saxena, & Manoj Tolani, 2014)

2.7. Enrutamiento en redes móviles Ad-Hoc.

El enrutamiento es el acto de mover la información de una fuente a un destino en una red. Durante este proceso, se encuentra al menos un nodo intermedio dentro de la red. El concepto de enrutamiento implica básicamente dos actividades. En primer lugar, determinar rutas de enrutamiento óptimas y, en segundo lugar, transferir los grupos de

información (llamados paquetes) a través de una red. El concepto posterior se denomina conmutación de paquetes que es directo, y la determinación de la ruta puede ser muy compleja.

Los protocolos de enrutamiento utilizan varias métricas para calcular la mejor ruta para encaminar los paquetes a su destino. Estas métricas son una medida estándar que podría ser el número de saltos, que es utilizado por el algoritmo de enrutamiento para determinar la ruta óptima para el paquete a su destino. El proceso de determinación de ruta es que, los algoritmos de enrutamiento inicializan y mantienen tablas de enrutamiento, que contienen la información de ruta total para el paquete. Esta información de ruta varía de un algoritmo de enrutamiento a otro.

Las tablas de enrutamiento se rellenan con una variedad de información que es generada por los algoritmos de enrutamiento. Las entradas más comunes en las tablas de enrutamientos son prefijo de dirección IP y el salto siguiente. Las asociaciones de destino/salto siguiente le indican al enrutador que se puede alcanzar de manera óptima un destino particular enviando el paquete a un enrutador que representa el “salto siguiente” en su camino hacia el destino final y el prefijo de dirección IP, especifica un conjunto de destinos para el cual la entrada de enrutamiento es válida.

La conmutación es relativamente simple en comparación con la determinación de la trayectoria. El concepto de conmutación es como un host que determina como debería enviar algún paquete a otro host. Por algunos medios, adquiere la dirección de los enrutadores y envía el paquete dirigido específicamente a la dirección MAC de los enrutadores, con la dirección de protocolo del host de destino.

El enrutador luego examina la dirección del protocolo y verifica si sabe cómo transferir los datos a su destino. Si sabe cómo transferir los datos

entonces envía el paquete a su destino y si no lo hace entonces cae el paquete. En las redes móviles Ad-Hoc donde no hay soporte de infraestructura como es el caso de las redes inalámbricas, y puesto que un nodo de destino puede estar fuera del alcance de un nodo fuente que transmite paquetes. Siempre se necesita un procedimiento de enrutamiento para encontrar una ruta de acceso para enviar los paquetes adecuadamente entre la fuente y el destino.

Dentro de una célula, una estación base puede llegar a todos los nodos móviles sin enrutamiento a través de difusión en redes inalámbricas comunes. En el caso de redes Ad-Hoc, cada nodo debe ser capaz de reenviar datos para otros nodos. Esto crea problemas adicionales junto con los problemas de topología dinámica que son cambios de conectividad impredecibles.

2.8. Problemas de enrutamientos en redes móviles Ad-Hoc.

A continuación, se describen los principales problemas con el enrutamiento en redes móviles Ad-Hoc:

- Enlaces asimétricos: la mayoría de las redes cableadas se basan en los enlaces simétricos que siempre se fijan. Pero esto no es un caso con redes Ad-Hoc ya que los nodos son móviles y cambian constantemente su posición dentro de la red. Por ejemplo, considere un MANET donde el nodo B envía una señal al nodo A, pero esto no indica nada sobre la calidad de la conexión en la dirección inversa.
- Enrutamiento de sobrecarga: en las redes inalámbricas Ad-Hoc, los nodos a menudo cambian su ubicación dentro de la red. Por lo tanto, algunas rutas obsoletas se generan en la tabla de enrutamiento que conduce a gastos innecesarios de enrutamiento.
- Interferencia: este es el mayor problema con las redes móviles Ad-Hoc, ya que los enlaces van y vienen dependiendo de las características de transmisión, una transmisión podría interferir con

otra y el nodo puede oír las transmisiones de otros nodos y puede corromper la transmisión total.

- Topología dinámica: este es también el mayor problema con el enrutamiento Ad-Hoc ya que la topología no es constante. El nodo móvil podría moverse o las características del medio podrían cambiar.

2.9. Clasificación de protocolos de enrutamiento en MANETs.

La clasificación de los protocolos de enrutamiento en redes MANETs pueden hacerse de muchas maneras, pero la mayoría de éstos se realizan dependiendo de la estrategia de enrutamiento y la estructura de la red. Según la estrategia de enrutamiento, los protocolos de enrutamiento se pueden categorizar como proactivos (orientados por tablas) y reactivos (bajo demanda), mientras que dependiendo de la estructura de red se clasifican como enrutamiento plano, enrutamiento jerárquico y enrutamiento asistido por posición geográfica. Tanto los protocolos impulsados por la tabla como los reactivos pertenecen a la categoría de enrutamiento que se muestra en la figura 2.6.

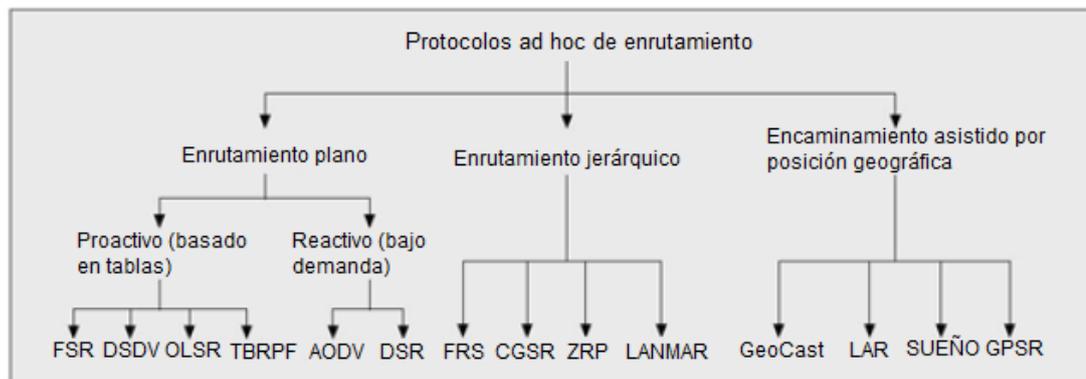


Figura 2. 6: Clasificación de protocolos de enrutamiento en redes Ad-hoc para móviles.

Fuente: (Rocabado, 2013)

2.9.1. Enrutamiento en estructura de red plana.

En una estructura plana, todos los nodos de una red están al mismo nivel y tienen la misma funcionalidad de enrutamiento. El enrutamiento plano es simple y eficiente para redes pequeñas. El problema es que cuando una

red se hace grande, el volumen de información de enrutamiento será grande y tardará mucho tiempo en que la información de enrutamiento llegue a nodos remotos.

Los protocolos que revisamos aquí se dividen en dos categorías: enrutamiento proactivo y enrutamiento reactivo. Muchos protocolos proactivos provienen del enrutamiento de estado de enlace convencional. El enrutamiento reactivo, por otro lado, es una nueva filosofía de enrutamiento emergente en el área Ad-Hoc que el enrutamiento proactivo.

Se diferencia de los protocolos de enrutamiento convencionales en que no hay actividades de enrutamiento y no se mantiene la información de enrutamiento permanente en los nodos de red si no hay comunicación, proporcionando así una solución de enrutamiento escalable a grandes poblaciones.

2.9.1.1. Protocolos bajo demanda o reactivos.

Una red que utiliza un protocolo bajo demanda no mantendrá la información de enrutamiento correcta en todos los nodos para todos los tiempos. En su lugar, dicha información de enrutamiento se obtiene a petición. Si un nodo desea transmitir un mensaje y no tiene suficiente información de enrutamiento para enviar el mensaje al destino, debe obtenerse la información requerida (a menos que el protocolo esté usando directamente un método de inundación para entregar los mensajes).

El nodo necesita por lo menos conocer el salto siguiente (entre sus vecinos) para el paquete. Aunque el nodo sólo podría transmitir el paquete a todos los vecinos esto conduce a graves congestión en muchos casos. Sin embargo, dichas transmisiones deben utilizarse en un proceso de descubrimiento de rutas, ya que no hay información disponible.

Por lo general, este consiste en un mensaje de difusión desde el nodo de origen, que indica la ruta deseada. Los nodos que tienen la información requerida responderán al nodo de origen, el cual finalmente seleccionará una ruta a partir de las respuestas recibidas. La emisión puede limitarse primero a viajar sólo unos cuantos saltos, antes de que se emita una emisión en toda la red (lo que inundaría toda la red).

Por supuesto, el proceso de solicitud y selección de ruta debe estar terminado, antes de que se pueda enviar el mensaje. Esto conduce a un retraso de configuración inicial para los mensajes, y su ruta no es conocida por el nodo. Para limitar el impacto de este retraso, la mayoría de los protocolos utilizan una caché de rutas para rutas una vez establecidas. Sin embargo, la información en este caché se agotará, ya que, en un entorno móvil, las rutas están inválidas después de algún tiempo.

Es evidente que las aplicaciones que se utilizan en un protocolo de enrutamiento a petición deben ser tolerantes para un retraso de esta configuración inicial. La ventaja de los protocolos de enrutamiento bajo demanda reside en el hecho de que el canal inalámbrico (un recurso escaso) no necesita transportar muchos datos de enrutamiento para las rutas, que ni siquiera se utilizan. Esta ventaja puede disminuir en ciertos escenarios donde hay una gran cantidad de tráfico a una gran variedad de nodos.

Por lo tanto, el escenario tendrá un impacto muy significativo en el rendimiento. En tal escenario con mucho tráfico a muchos nodos, el tráfico de configuración de ruta puede crecer más que el tráfico de fondo constante para mantener la información de enrutamiento correcta en cada nodo. Sin embargo, si hubiera suficientes capacidades disponibles, la eficiencia reducida (aumento de sobrecarga) podría no afectar otras medidas de rendimiento, como el rendimiento o la latencia.

También considero algunos protocolos basados en la localización como protocolos a petición, ya que determinan la dirección en la que se envía el paquete a petición y algunos protocolos pueden incluso iniciar una consulta de localización de los nodos de destino para sus paquetes bajo demanda. Por lo tanto, los ejemplos de los protocolos bajo demanda son los siguientes: ABR, AODV, CEDAR, DSR, FOR, GENDER, LAR, SSR, WAR.

2.9.1.2. Protocolos proactivos.

Los protocolos de enrutamiento proactivo intentarán mantener la información de enrutamiento correcta en todos los nodos de la red en todo momento. Esto puede lograrse de diferentes maneras y, por lo tanto, divide los protocolos en dos subclases: protocolos actualizados y actualizados periódicamente.

Los protocolos impulsados por eventos no enviarán paquetes de actualización de enrutamiento si no se produce ningún cambio en la topología. Sólo si un nodo detecta un cambio de la topología (normalmente un cambio en el conjunto de vecinos o la recepción de un mensaje que indica un cambio en algún otro conjunto de nodos vecinos), esto se informa a otros nodos, de acuerdo con la estrategia del enrutamiento protocolo.

Los protocolos que se actualizan en intervalos regulares siempre enviarán su información de topología a otros nodos a intervalos regulares. Muchos protocolos de estado de enlace funcionan de tal manera (pero variando la distancia máxima de un mensaje de actualización con la longitud del intervalo). Los nodos más alejados obtienen actualizaciones con menos frecuencia que los nodos cercanos, equilibrando así la carga impuesta a la red.

Los protocolos proactivos de cualquiera de las subclases imponen una sobrecarga fija para mantener las tablas de enrutamiento. Incluso si muchas

de las entradas no se utilizan en absoluto. Su ventaja es que las rutas se pueden utilizar de una vez y no hay retraso de configuración. Muchos estudios comparan los "protocolos de inundación" con los "protocolos hello" (aquellos que periódicamente anuncian sus vecinos y rutas) en términos de sobrecarga de una manera analítica.

Los protocolos de enrutamiento proactivo impulsados por eventos son los siguientes: CBRP, CGSR, DSDV, GSB, LMR, TORA y WRP. Los protocolos actualizados regularmente son: DDR, FS LS, FSR, GPSR, LANMAR, OLSR, STAR y TBRPF.

Una comparación de estas dos categorías de protocolos de enrutamiento se presenta en la tabla 2.2, destacando sus características y diferencias.

Tabla 2. 2: Comparación de Protocolos de Enrutamiento Proactivo y Reactivo.

Clase de enrutamiento	Proactivo (controlado por tablas)	Reactivo (bajo demanda)
Estructura de enrutamiento	Tanto las estructuras planas y jerárquicas	Mayormente plana
Disponibilidad de la ruta	Siempre disponible	Determinado cuando es necesario
Control del volumen de tráfico	Normalmente alta	Protocolos de enrutamiento inferiores a proactivos
Actualizaciones periódicas	Sí, algunos pueden utilizarla.	No requerido. Algunos nodos pueden requerir balizas periódicas
Control de sobrecarga	Alto	Bajo
Retardo de adquisición de ruta	Bajo	Alto
Requisitos de almacenamiento	Alto	Depende del número de rutas mantenidas o requeridas. Por lo general, los protocolos proactivos
Requisitos de ancho de banda	Alto	Bajo
Requisitos de energía	Alto	Bajo
Nivel de retardo	Pequeño ya que las rutas están predeterminadas	Superior a proactivo
Problema de	Usualmente hasta 100	Protocolos de enrutamiento de

escalabilidad	nodos.	origen de hasta unos pocos cientos de nodos. Punto a punto puede escalar más alto.
Manejo de los efectos de la movilidad	Ocurrir a intervalos fijos.	Generalmente actualiza ABR introducido LBQ AODV utiliza el descubrimiento de rutas locales
Soporte de calidad de servicio	Principalmente el camino más corto como la métrica QoS	Pocos pueden soportar QoS, aunque la mayoría soportan el camino más corto

Fuente: (Murazzo et al., 2008)

2.9.2. Protocolos de enrutamiento jerárquico.

Normalmente, cuando aumenta el tamaño de la red inalámbrica (más allá de ciertos umbrales), los esquemas de enrutamiento "planos" actuales resultan inviables debido a la sobrecarga de enlace y procesamiento. Una forma de resolver este problema y producir soluciones escalables y eficientes es el enrutamiento jerárquico. Un ejemplo de enrutamiento jerárquico, es la jerarquía de Internet, que se ha practicado en la red cableada durante mucho tiempo.

El enrutamiento jerárquico inalámbrico se basa en la idea de organizar nodos en grupos y luego asignar a los nodos diferentes funcionalidades dentro y fuera de un grupo. Tanto el tamaño de la tabla de enrutamiento como el tamaño del paquete de actualización se reducen al incluir en ellos sólo una parte de la red (en lugar del conjunto), por lo que se reduce la sobrecarga de control.

La manera más popular de construir una jerarquía es agrupar nodos geográficamente cercanos entre sí en clústeres explícitos. Cada clúster tiene un nodo principal (cabecera de cluster) para comunicarse con otros nodos en nombre del clúster. Una forma alternativa es tener una jerarquía implícita. De esta manera, cada nodo tiene un ámbito local. Diferentes estrategias de enrutamiento se utilizan dentro y fuera del ámbito de aplicación. Las

comunicaciones pasan a través de ámbitos superpuestos. Con esta flexibilidad se puede lograr un rendimiento de enrutamiento más eficiente.

Como los nodos móviles tienen sólo una sola radio omnidireccional para comunicaciones inalámbricas, este tipo de organización jerárquica se denominará "jerarquía lógica" para distinguir de la estructura de red físicamente jerárquica.

2.9.3. Posición geográfica de información de enrutamiento asistida.

Los avances en el desarrollo de Sistemas de Posicionamiento Global (*GPS, Global Position System*) hoy en día hacen posible proporcionar información de localización con una precisión del orden de unos pocos metros. También proporcionan la sincronización universal. Aunque la información de localización se puede utilizar para el direccionamiento direccional en sistemas Ad-Hoc distribuidos, el reloj universal puede proporcionar sincronización global entre los nodos equipados con GPS.

Varios trabajos de investigación han demostrado que la información de ubicación geográfica puede mejorar el rendimiento de enrutamiento en redes Ad-Hoc. Se debe tener en cuenta una preocupación adicional en un entorno móvil, es decir, las ubicaciones pueden no ser precisas en el momento en que se utiliza la información. Todos los protocolos examinados a continuación suponen que los nodos conocen sus posiciones.

Capítulo 3: Implementación y análisis de resultados.

3.1. Introducción.

Este capítulo describe la configuración de simulación utilizada en el trabajo de examen complejo. El capítulo explica los parámetros de diseño del entorno de simulación y presenta los parámetros básicos de configuración utilizados en el software Opnet. El estudio de simulación tiene como objetivo comparar el rendimiento del protocolo de enrutamiento de origen dinámico (DSR) con el algoritmo de enrutamiento ordenado temporal (TORA).

3.2. Plataforma de simulación Opnet.

Opnet (véase la figura 3.1) es la herramienta de simulación más importante para investigadores y profesionales que desarrollan proyectos sin necesidad de utilizar equipos costosos.

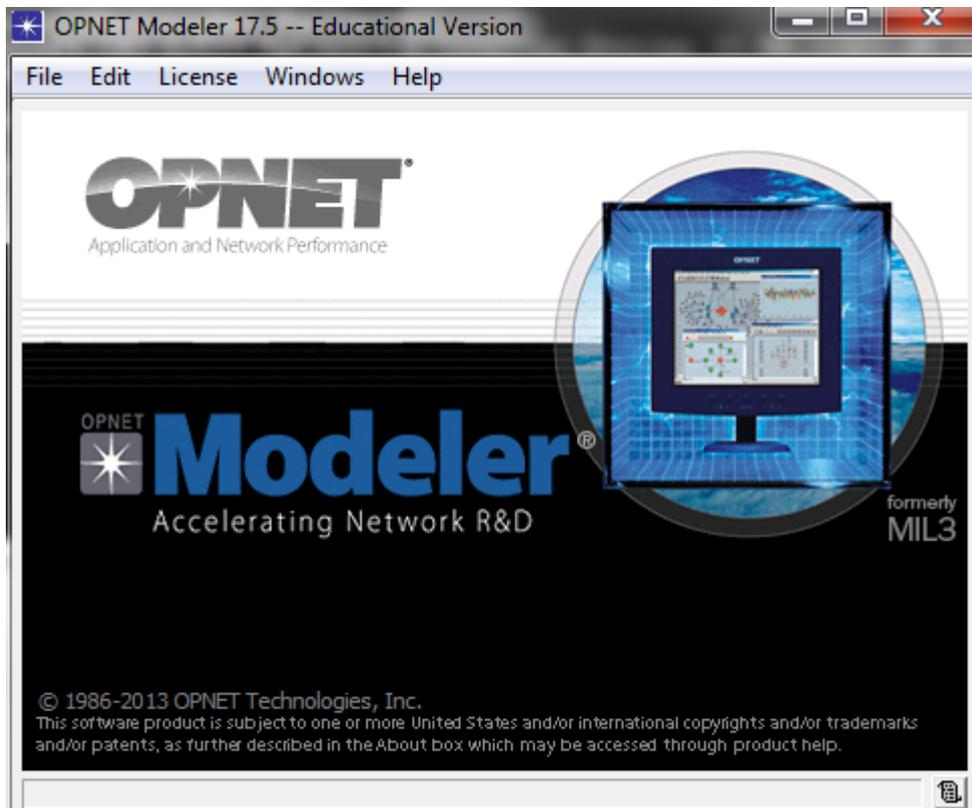


Figura 3. 1: Ventana principal del simulador Opnet.

Elaborado por: El Autor

3.3. Especificaciones del entorno de simulación.

Para el presente capítulo se utiliza el software de simulación OPNET. La simulación trata del estudio comparativo del protocolo DSR contra TORA. En esta parte, simulamos dos escenarios de redes MANET de 10 y 25 nodos móviles. Los nodos se colocan aleatoriamente en un área de $100m \times 100m$. Cada escenario se ejecuta con un tiempo de simulación de 30 minutos cuyos escenarios tienen movilidad y movilidad sin soporte. Los detalles de los parámetros de simulación que se utilizan en esta parte se presentan en la tabla 3.1.

3.4. Desarrollo y configuración de escenarios de simulación DSR y TORA.

En la tabla 3.1 muestra los parámetros de red y de comunicaciones utilizados en los escenarios comparativos de los protocolos DSR y TORA. La tabla muestra los parámetros de la simulación configurados en el simulador OPNET. La figura 3.2 presenta la topología utilizada para la comparación en esta parte.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación de red móvil y de comunicaciones.

Parámetros de simulación	
Redes	Valores
Numero de topologías	2
Numero de nodos	10 y 25
Área	10000 m^2
Tiempo de simulación	30 minutos
Tipos de nodos móviles	MANET
Comunicaciones	Valores
Medio físico	802.11 DSSS
Velocidad de datos	11 Mbps
Potencia de transmisión	$5 \times 10^{-3} \text{ W}$
Umbral de potencia de recepción	7.33×10^{-14}
Protocolo MAC	Capa MAC 802.11

Elaborado por: Autor.

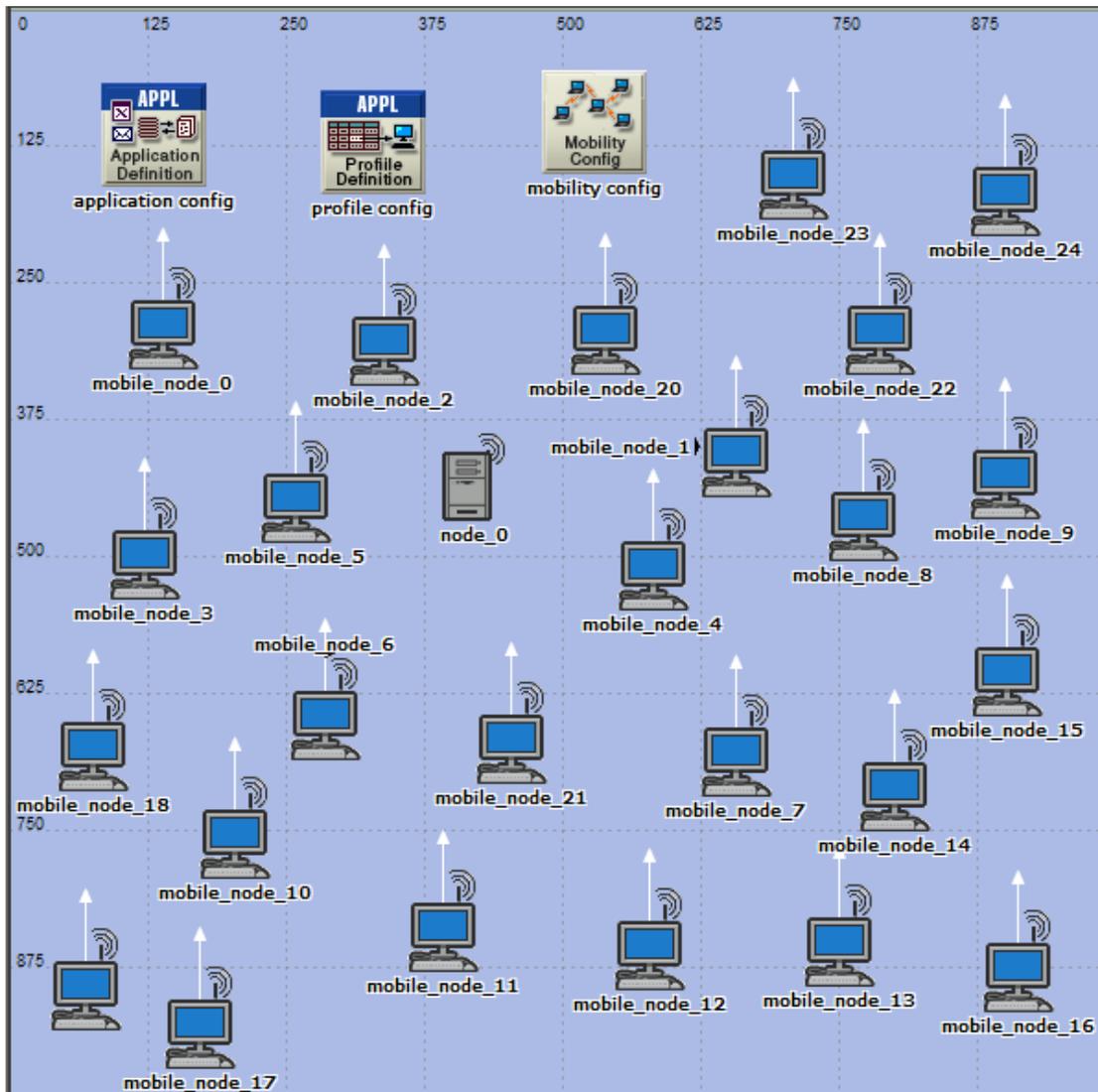


Figura 3. 2: Escenario de simulación para redes MANET con movilidad.
Elaborado por: El Autor

En esta sección presentamos la configuración por defecto de los protocolos DSR y TORA en el simulador OPNET. Empezaremos mostrando cómo se pueden configurar estos protocolos de enrutamiento en el simulador OPNET. Luego presentamos los parámetros de configuración de cada protocolo por separado. En la figura 3.3 se muestra la configuración básica del protocolo de enrutamiento de redes Ad-Hoc en el simulador OPNET.

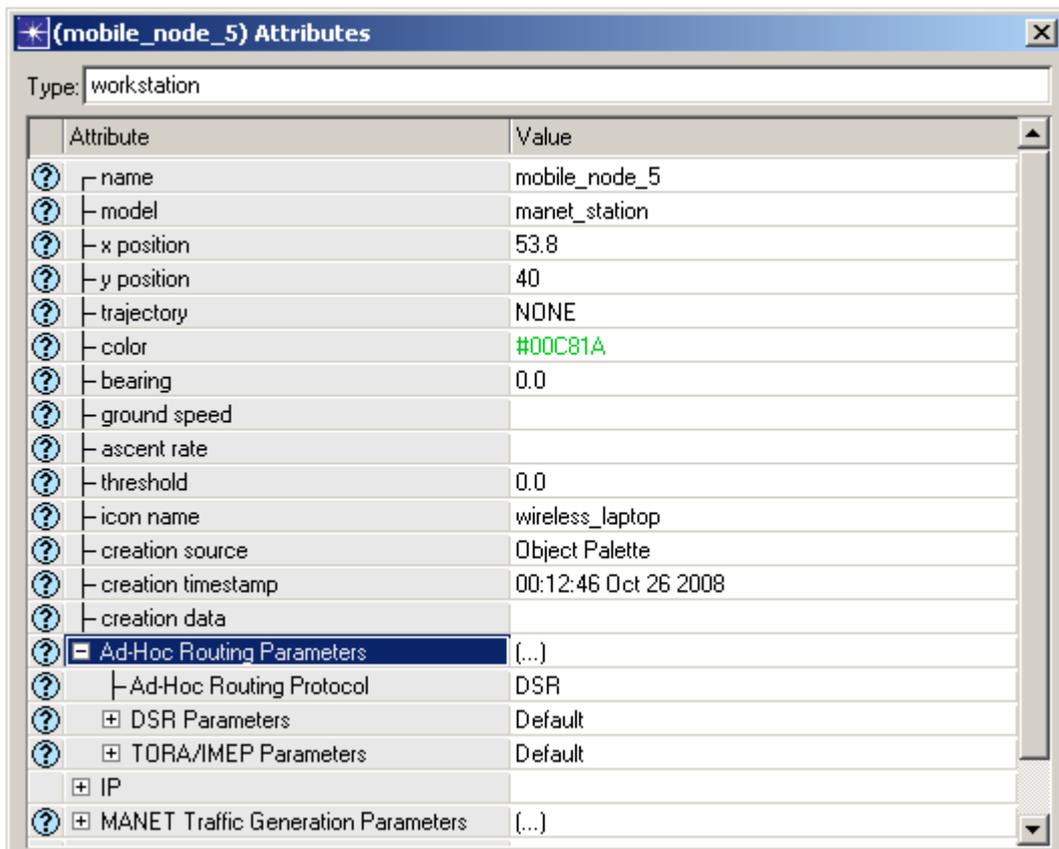


Figura 3. 3: Atributos para los parámetros de enrutamiento Ad-Hoc.
Elaborado por: El Autor

a. Configuración del protocolo de enrutamiento DSR.

En la figura 3.4 se muestra los parámetros de configuración predeterminados del protocolo DSR en el simulador OPNET.

b. Configuración del protocolo de enrutamiento TORA.

En la figura 3.5 se muestra los parámetros de configuración predeterminados del protocolo TORA en el simulador OPNET.

c. Parámetros de generación de tráfico MANET

Para propósitos de generación de tráfico de red, generamos tres tráficos MANET. La tabla 3.2 a continuación describe los parámetros de detalles del tráfico MANET generado.

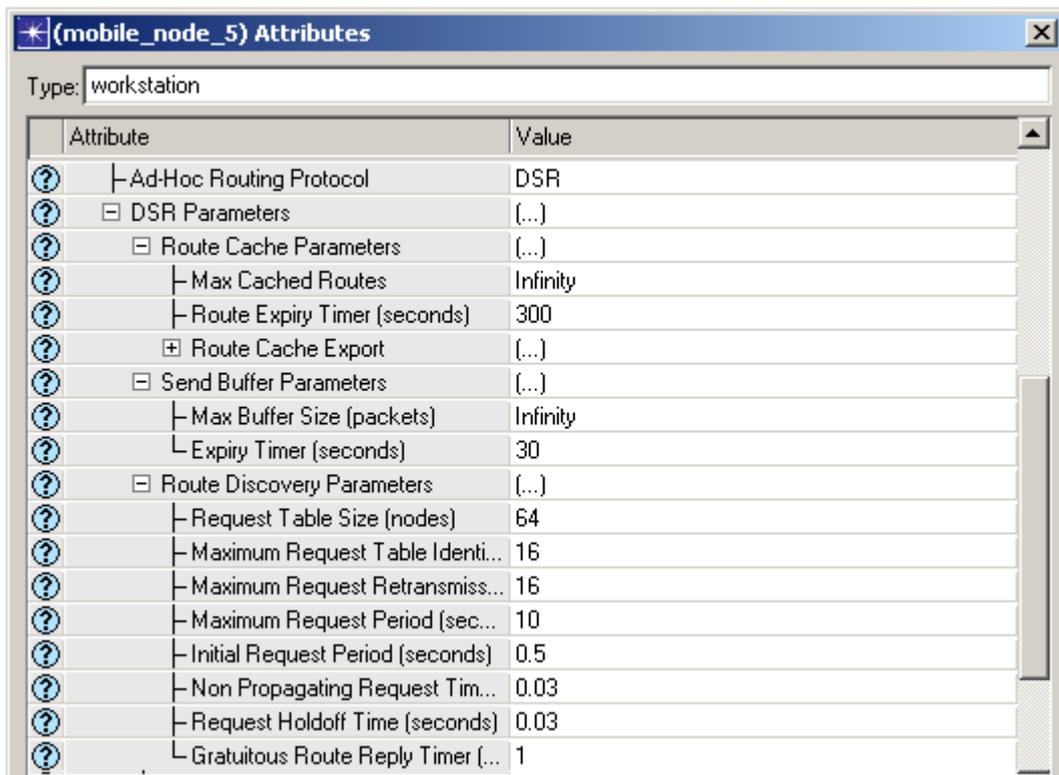


Figura 3. 4: Atributos de configuración para el protocolo DSR.
Elaborado por: El Autor

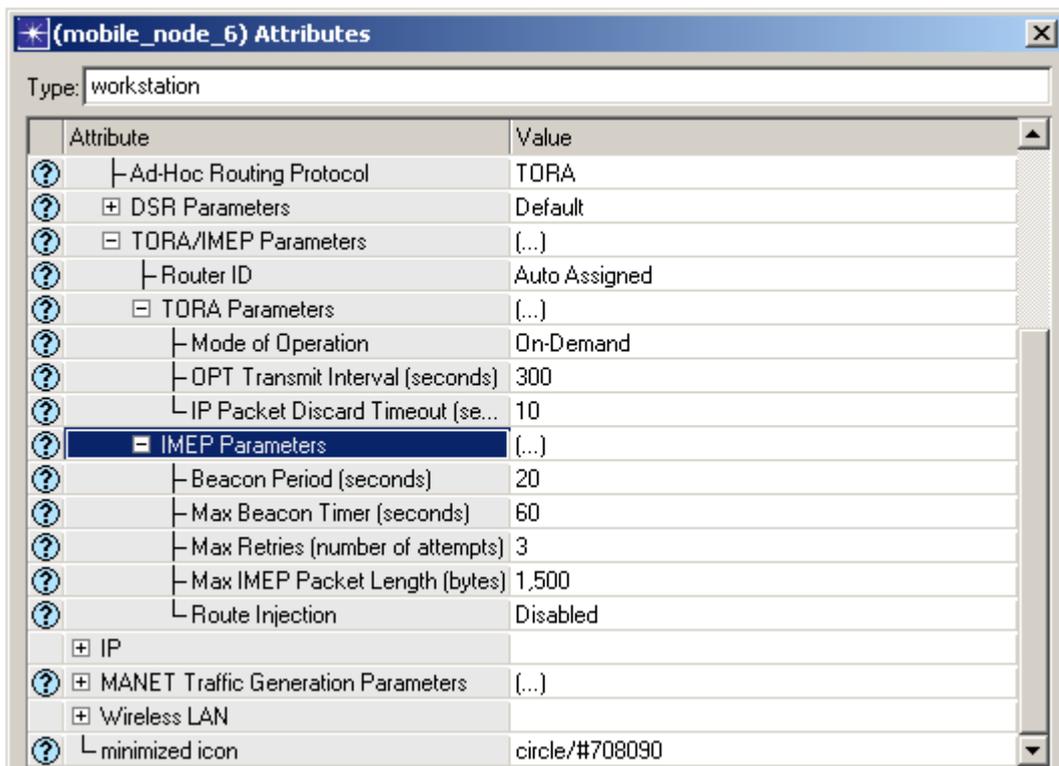


Figura 3. 5: Atributos de configuración para el protocolo TORA.
Elaborado por: El Autor

Tabla 3. 2: Generación de tráfico de datos en redes MANET.

Tiempo inicial	Tiempo de llegada entre paquetes	Tamaño del paquete	Dirección IP de destino
100	0.5 s	1 kbps	Aleatorio
100	1.0 s	1 kbps	Aleatorio
100	1.5 s	1 kbps	Aleatorio

Elaborado por: El Autor

3.5. Análisis de los resultados obtenidos.

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis del rendimiento extremo a extremo (End-to-End) del protocolo DSR antes y después de aplicar la relación señal ruido (SNR). Los datos de muestra tomados de un escenario de simulación de una red MANET de 25 nodos móviles distribuidos en un área de 50mX50m.

En la tabla 3.3 se muestra los resultados estadísticos de la prueba realizada en el simulador Opnet.

Tabla 3. 3: Resumen de estadístico de los datos obtenidos en las simulaciones.

Protocolo	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
DSR	126055.1821	101	25989.73791	2586.07558
NSR-DSR	144300.8933	101	34690.74588	3451.85823

Elaborado por: El Autor

En resumen, como se muestra en los resultados de la tabla 3.3 podemos ver que hay una diferencia significativa entre los datos de la muestra de rendimiento de red del protocolo DSR antes y después de aplicar SNR. En el planteamiento de la hipótesis nula al principio asume que no hay diferencia entre estos dos grupos de datos de la muestra. Pero a partir de los resultados podemos observar que los dos grupos de datos muestrales tienen una diferencia significativa de 0.000 menos de 0.05. Como resultado, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la exactitud de los datos de la muestra.

3.5.1. Análisis comparativo de los protocolos DSR y TORA.

Para comparar y evaluar el rendimiento de los protocolos DSR y TORA, simulamos dos topologías de red MANET para 10 y 25 nodos móviles. Los nodos se colocan aleatoriamente en un área de campus rectangular de $100m \times 100m$ para simular entornos de red de malla inalámbrica sencilla. En la sección 3.4 se presenta la configuración de la simulación en detalle. En nuestros experimentos de simulación, evaluamos el rendimiento de acuerdo con las siguientes mediciones de rendimiento:

- a) **Rendimiento:** la medición del desempeño de rendimiento de la red se define como el número de bytes entregados con éxito por unidad de tiempo. Aquí se muestra los resultados obtenidos.
- b) **Retardo de extremo a extremo:** se define como el retardo promedio experimentado por paquetes de datos. Incluye todos los posibles retardos causados por el descubrimiento de rutas, colas, retransmisión, propagación, procesamiento y tiempos de transferencia. No es parte de la evaluación.
- c) **Sobrecarga de enrutamiento (carga):** o carga de enrutamiento se define como el número de paquetes de enrutamiento transmitidos por paquete de datos entregados en el destino. Los paquetes de enrutamiento incluyen solicitud de ruta, respuesta de ruta, configuración de ruta y paquetes. Se muestra un resumen de los datos obtenidos. No es parte de la evaluación.

En los escenarios de simulación, ejecutamos cada topología de red dos veces. La primera prueba es sin soporte de movilidad mientras que la segunda ejecución con soporte de movilidad. El modelo de movilidad propio de OPNET se ha utilizado para simular la movilidad del nodo. El propósito de la aplicación del modelo de movilidad es evaluar las influencias de la

movilidad en el desempeño de los protocolos DSR y TORA en las redes inalámbricas MANET.

Las siguientes figuras de la sección 3.5.2 muestran los resultados de rendimiento de la red obtenidos de los escenarios de simulación de acuerdo a su movilidad.

3.5.2. Resultados del rendimiento de redes MANET para el escenario estático.

En las figuras 3.6 a 3.13 muestran los resultados del rendimiento del protocolo DSR de los escenarios de red MANET. Las figuras 3.6 a 3.8 muestran el rendimiento del protocolo de enrutamiento DSR estática de 10 y 25 nodos móviles, respectivamente, mientras que las figuras 3.9 a 3.11 muestran el rendimiento del protocolo TORA. Todas las simulaciones se ejecutan durante 30 minutos. Las figuras 3.12 y 3.13 muestran la comparativa del flujo total de la red entre los protocolos DSR y TORA.

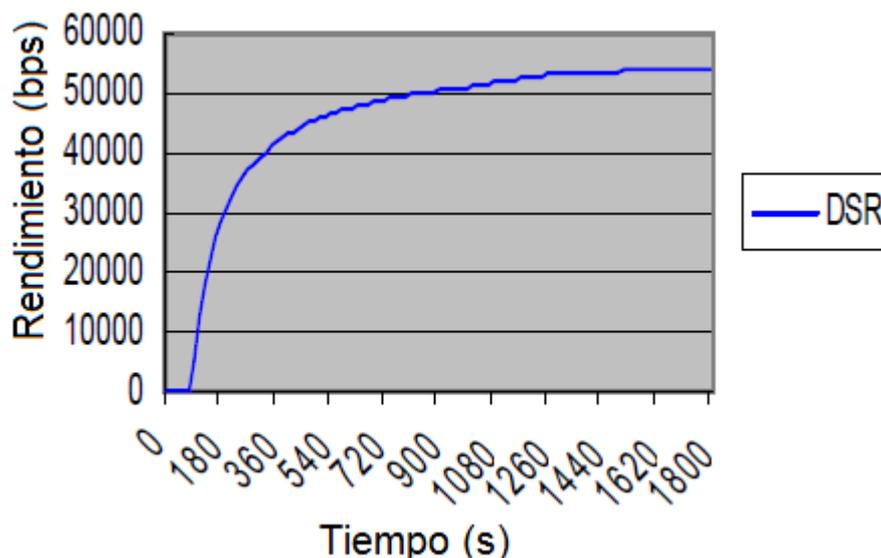


Figura 3. 6: Rendimiento del protocolo DSR para 10 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.8 muestra los resultados de comparación del protocolo de enrutamiento DSR de la red MANET de 10 y 15 nodos móviles. Como

podemos ver en el gráfico, el rendimiento total de la red aumenta a medida que aumenta el número de nodos.

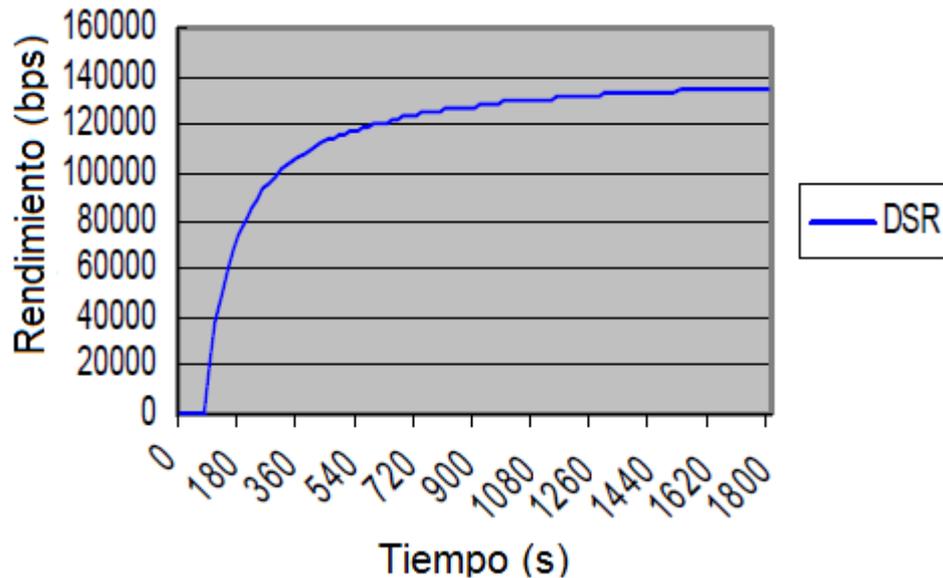


Figura 3. 7: Rendimiento del protocolo DSR para 25 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

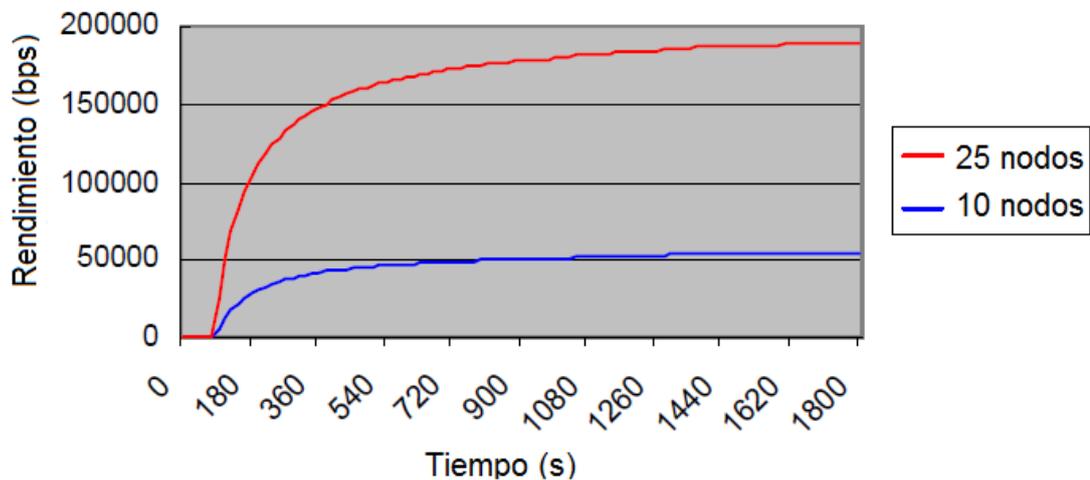


Figura 3. 8: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

Las figuras 3.9 y 3.10 muestran los resultados del rendimiento de una red MANET mediante el protocolo TORA para los escenarios de red estática de 10 y 25 nodos móviles MANET, respectivamente.

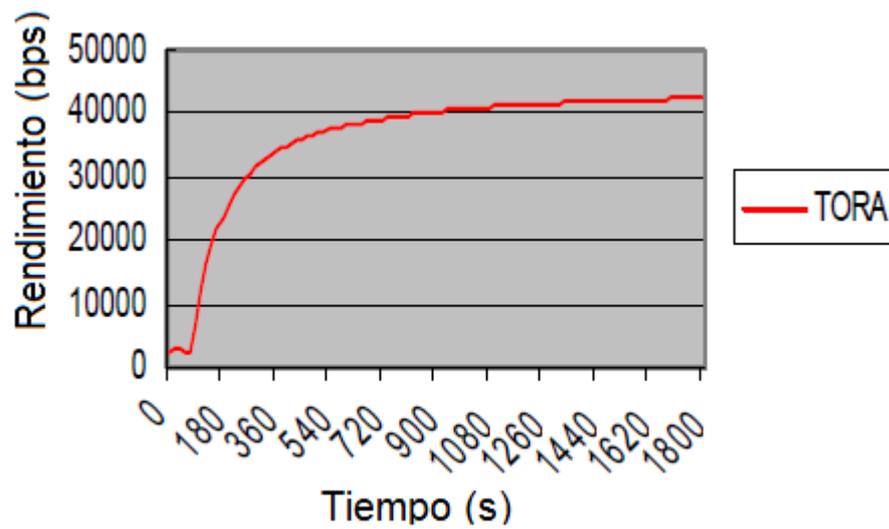


Figura 3. 9: Rendimiento del protocolo TORA para 10 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

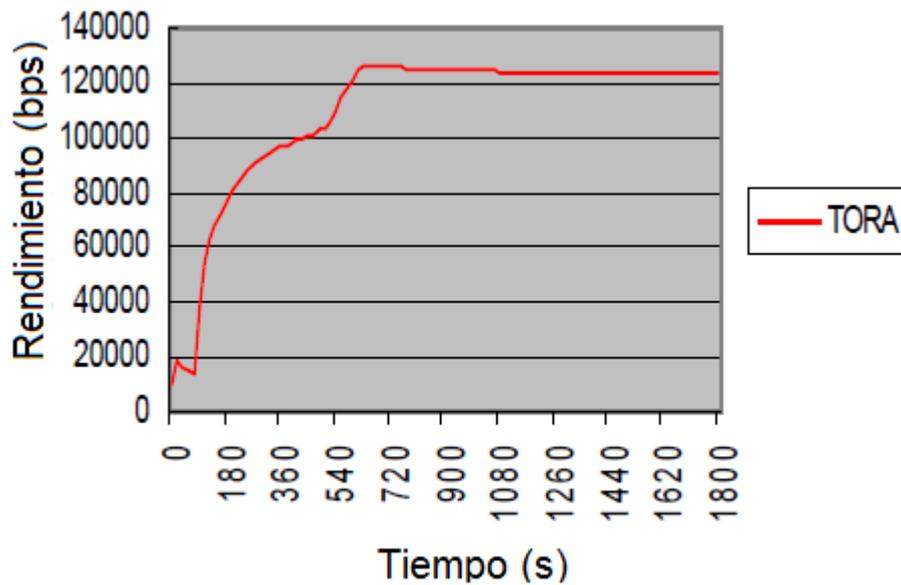


Figura 3. 10: Rendimiento del protocolo TORA para 25 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.11 muestra los resultados comparativos del rendimiento para el protocolo TORA de la red MANET de 10 y 25 nodos móviles. Como podemos ver en el gráfico, el rendimiento total de la red aumenta a medida que aumenta el número de nodos.

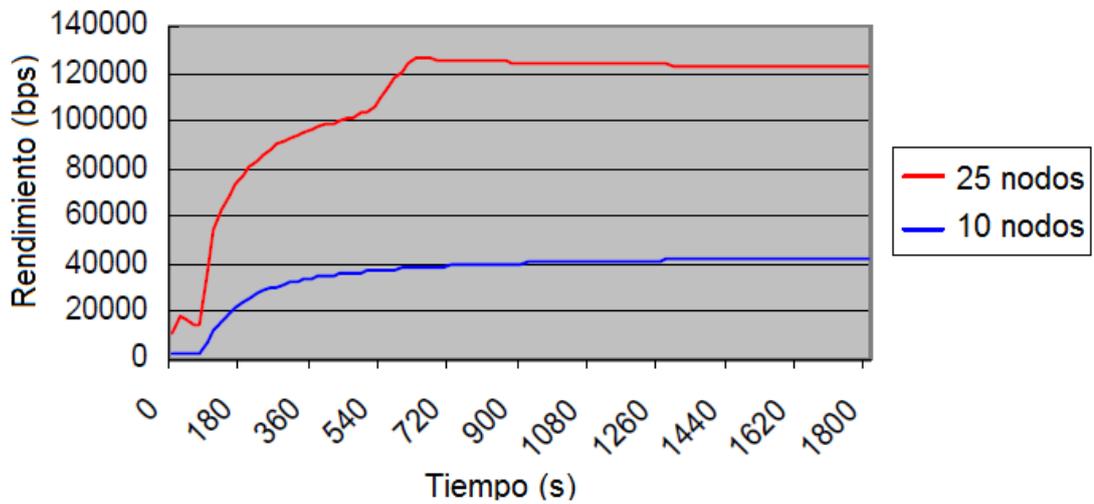


Figura 3. 11: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.12 muestra los resultados comparativos del rendimiento entre los protocolos DSR y TORA sobre la red MANET. El gráfico muestra que el protocolo DSR tiene un mejor rendimiento que el protocolo TORA para el escenario de red MANET estática de 10 nodos móviles.

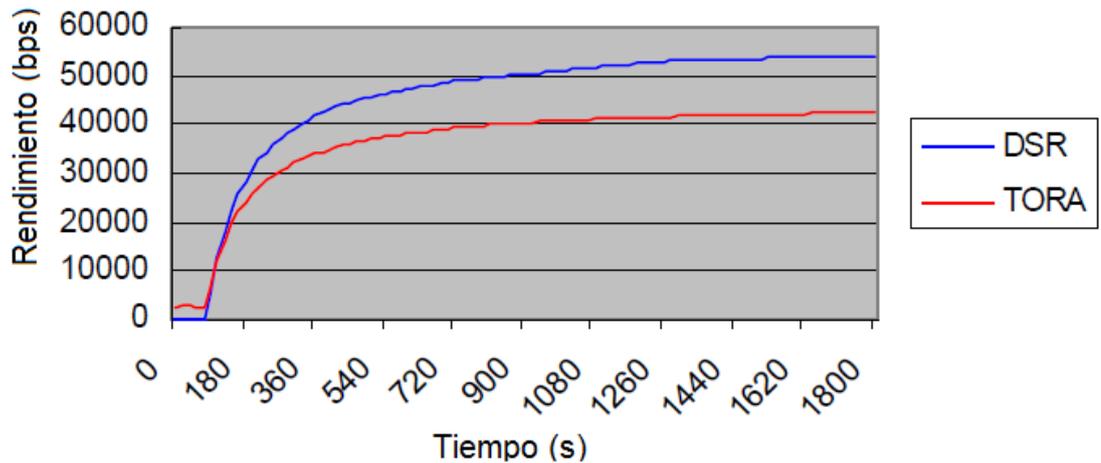


Figura 3. 12: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 10 nodos móviles.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.13 muestra la comparación del rendimiento entre los protocolos DSR y TORA. Los resultados obtenidos del escenario de red MANET estática de 25 nodos móviles. Como se muestra en el gráfico, el

protocolo DSR tiene un mayor rendimiento justo cuando alcanza el valor máximo de 140 kbps.

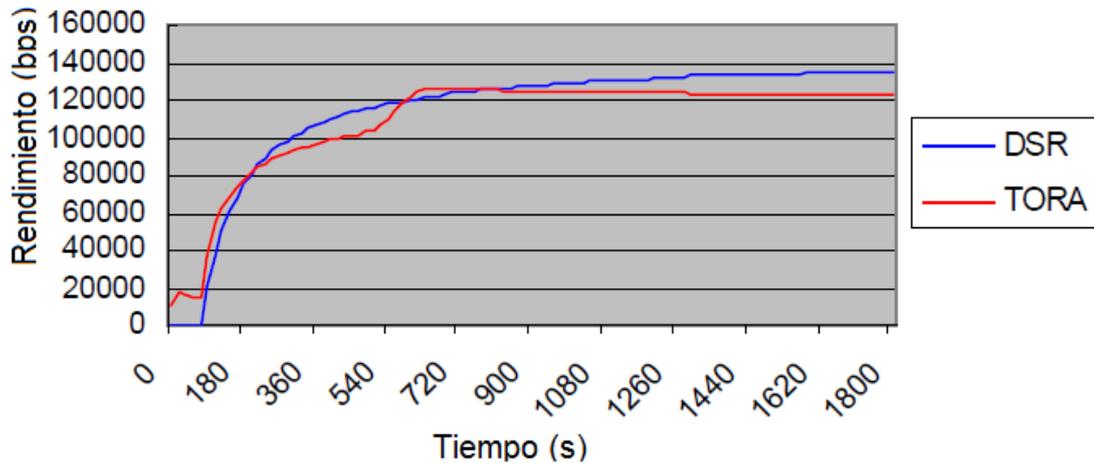


Figura 3. 13: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 25 nodos móviles.

Elaborado por: El Autor

Como se muestra en los gráficos de las figuras 3.12 y 3.13, el protocolo DSR supera al protocolo TORA y tiene un mejor rendimiento de red en ambos escenarios de red. Los resultados de rendimiento obtenidos muestran que el protocolo DSR funciona bien a medida que aumenta el número de nodos en entornos estáticos.

3.5.3. Resultados del rendimiento de redes MANET para el escenario con movilidad.

En esta sección, se ha aplicado el modelo de movilidad de Opnet para el despliegue de soporte de movilidad. Las figuras 3.14 a 3.21 muestran los resultados obtenidos de los escenarios de red MANET para 10 y 25 nodos móviles después de aplicar el modelo de movilidad. Las figuras 3.14 a 3.16 muestran el rendimiento del protocolo DSR mientras que las figuras 3.17 a 3.19 muestran el rendimiento del protocolo TORA.

Todas las simulaciones se ejecutan durante un tiempo de simulación de 30 minutos en un área rectangular de $100m \times 100m$. En la sección 3.4 se muestran los detalles sobre la configuración de la simulación. En las gráficas

de las figuras 3.20 y 3.21 se muestran los resultados obtenidos del rendimiento del protocolo DSR en comparación con el protocolo TORA para 10 y 25 nodos móviles.

Las figuras 3.14 y 3.15 muestran el rendimiento de la red MANET mediante el protocolo DSR en escenarios de soporte de movilidad de 10 y 25 nodos móviles, respectivamente.

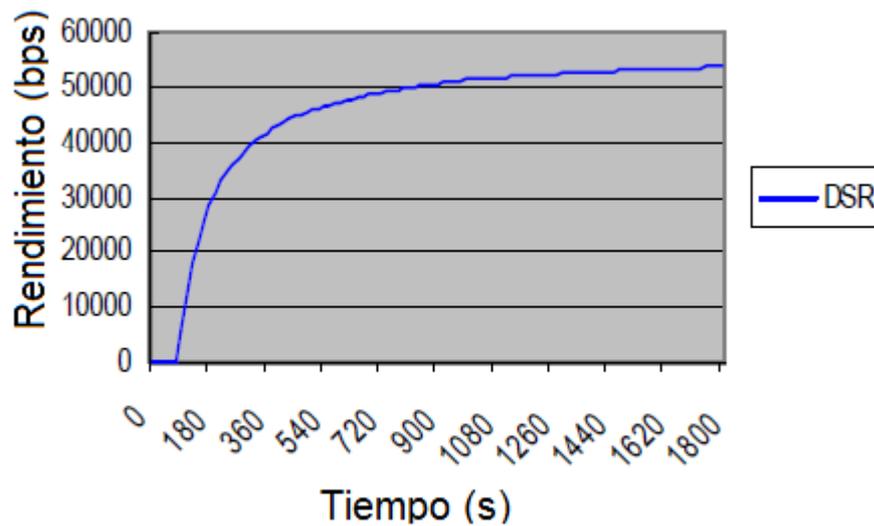


Figura 3. 14: Rendimiento del protocolo DSR para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.

Elaborado por: El Autor

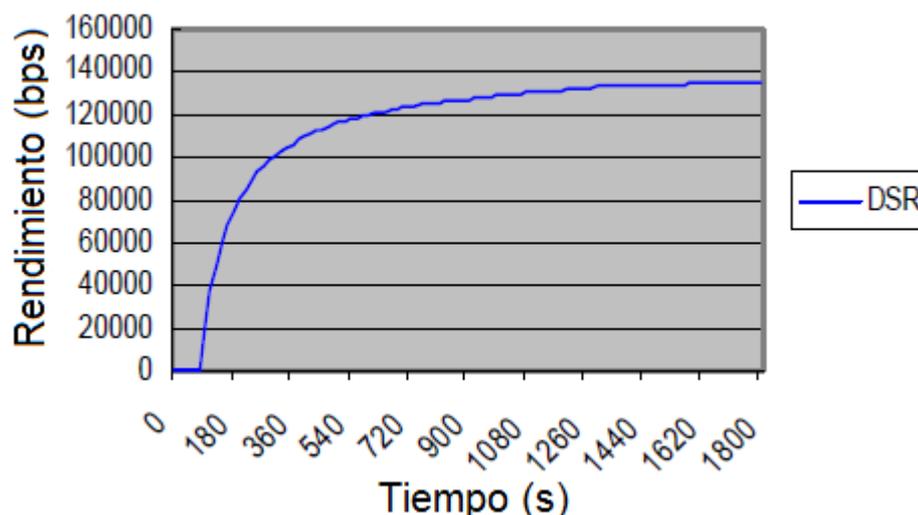


Figura 3. 15: Rendimiento del protocolo DSR para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.

Elaborado por: El Autor

La figura 3.16 muestra el rendimiento de la red MANET usando el protocolo DSR de dos escenarios diferentes. A medida que aumenta el número de nodos, en consecuencia, el rendimiento total aumenta.

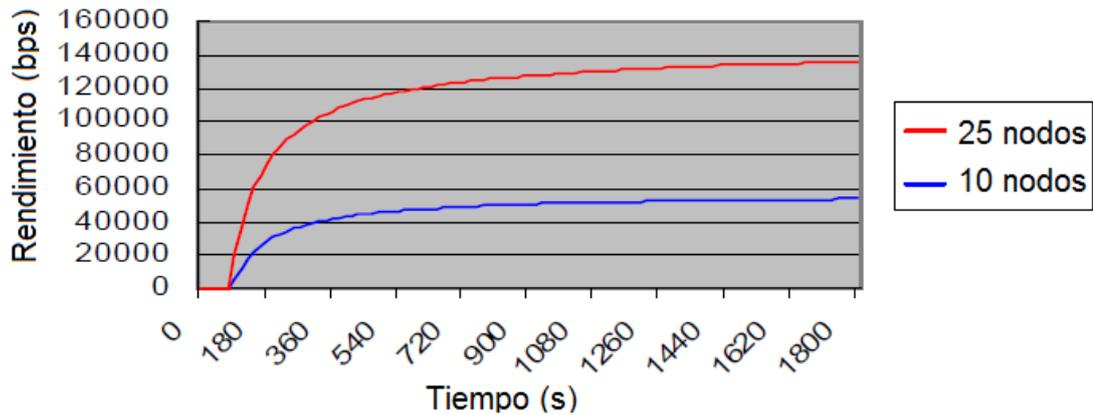


Figura 3. 16: Comparativa del protocolo DSR para 10 y 25 nodos móviles con soporte de movilidad.
Elaborado por: El Autor

Las figuras 3.17 y 3.18 muestran el rendimiento de la red MANET mediante el protocolo TORA cuyos escenarios tienen soporte de movilidad de 10 y 25 nodos móviles, respectivamente.

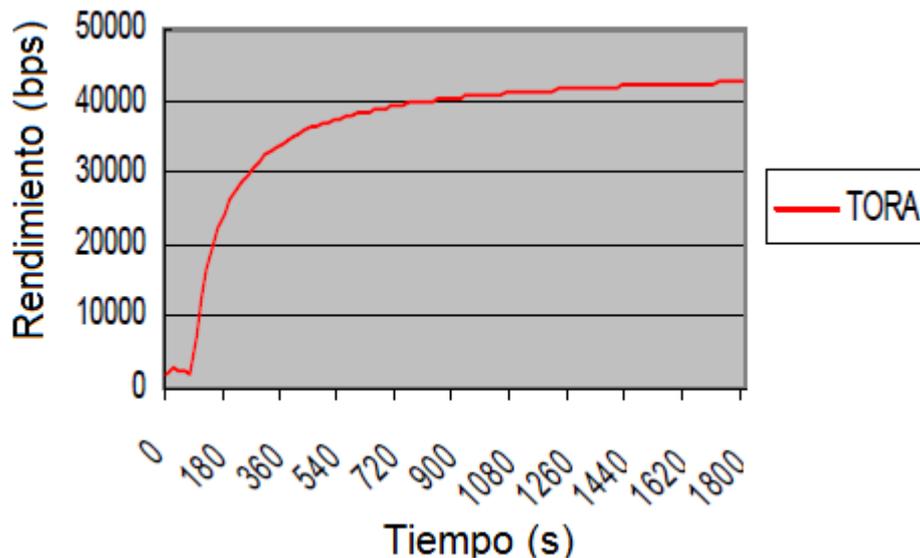


Figura 3. 17: Rendimiento del protocolo TORA para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.
Elaborado por: El Autor

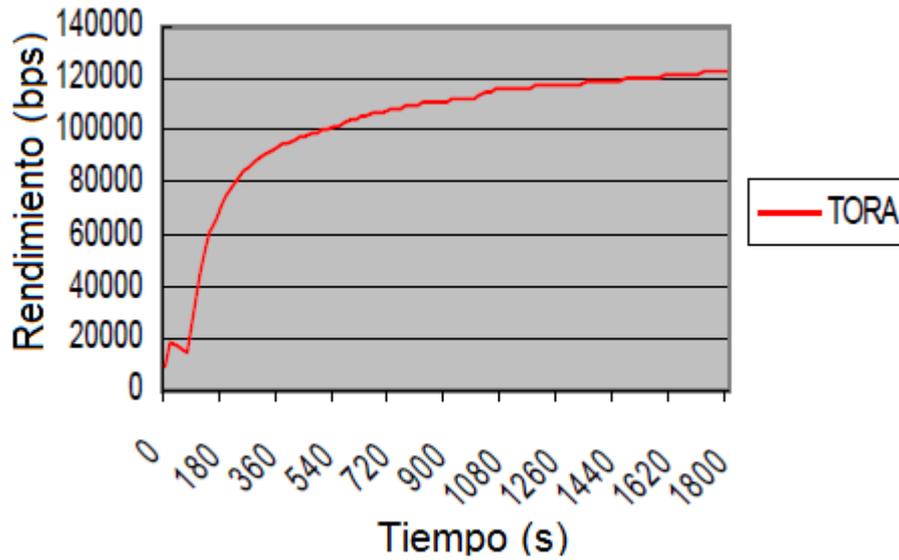


Figura 3. 18: Rendimiento del protocolo TORA para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.19 muestra el rendimiento comparativo de la red MANET mediante el protocolo TORA de dos escenarios diferentes para 10 y 25 nodos. A medida que aumenta el número de nodos, en consecuencia, el rendimiento total aumenta.

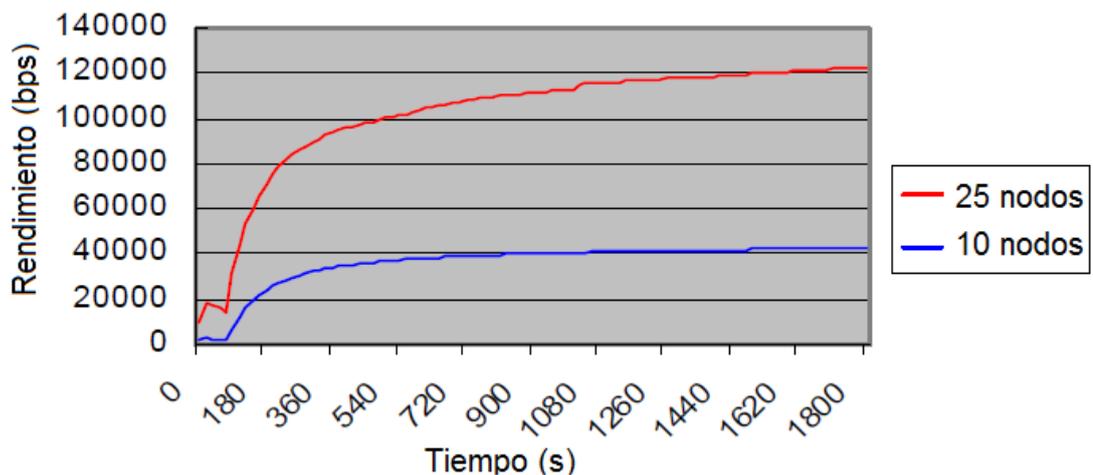


Figura 3. 19: Comparativa del protocolo TORA para 10 y 25 nodos móviles con soporte de movilidad.
Elaborado por: El Autor

Como se muestra en la figura 3.20 el protocolo DSR tiene mayor rendimiento que el protocolo TORA en escenarios con movilidad de la red MANET para 10 nodos móviles.

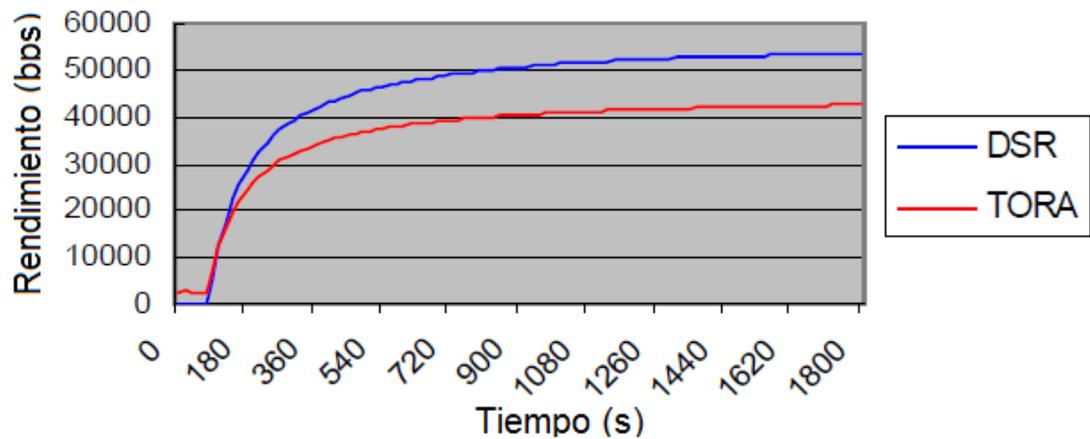


Figura 3. 20: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 10 nodos móviles con soporte de movilidad.

Elaborado por: El Autor

En la figura 3.21 se muestra el comparativo del rendimiento entre los protocolos DSR y TORA. Se puede ver como el protocolo DSR supera al protocolo y a la vez un mejor rendimiento que TORA en los escenarios con movilidad de la red MANET para 25 nodos móviles.

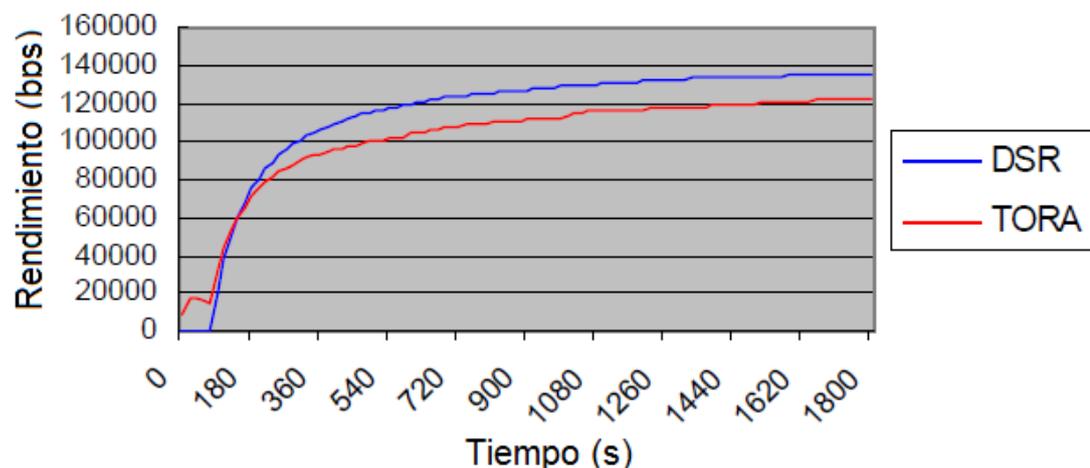


Figura 3. 21: Comparativa del rendimiento entre protocolos DSR y TORA para 25 nodos móviles con soporte de movilidad.

Elaborado por: El Autor

Los resultados obtenidos en las figuras 3.20 y 3.21 muestran que el protocolo DSR tiene un rendimiento mejor que el protocolo TORA, incluso en escenarios de soporte de movilidad. A medida que aumenta el número de nodos y se aplica el modelo de movilidad, el protocolo DSR tiene un rendimiento más alto hasta 140 kbps, mientras que el protocolo TORA tiene un rendimiento máximo hasta 120 kbps, como se muestra en la figura 3.21.

En resumen, a partir de los resultados obtenidos, podemos ver que el protocolo DSR tiene un mejor rendimiento de la red y supera el protocolo TORA en todos los escenarios de simulación incluyendo escenarios estáticos y de movilidad. Los resultados indican que el protocolo DSR es más adecuado que el protocolo TORA para realizar enrutamiento de paquetes en entornos de red MANET con la naturaleza estática de los nodos.

Conclusiones

1. Este trabajo se compone principalmente de dos estudios, uno es el estudio analítico y otro es el estudio de la simulación. De estudio analítico llegamos a la conclusión de que los protocolos de enrutamiento en la nueva era moderna de las telecomunicaciones, los sistemas de internet y en la comunicación sin fisuras juegan un papel prominente para desarrollar una mejor comunicación entre los usuarios finales.
2. Los diferentes protocolos de enrutamiento tienen diferentes atributos según sus escenarios. La selección del protocolo adecuado de acuerdo con la red aumenta definitivamente la fiabilidad de esa red, por ejemplo en el caso de las redes móviles Ad-Hoc, los protocolos de enrutamiento deben estar libres de bucle.
3. Se estudió el comportamiento de los protocolos de enrutamiento Ad-Hoc existentes mediante la comparación del rendimiento del protocolo DSR contra el protocolo TORA. Los resultados de la simulación mostraron que el protocolo DSR tiene un rendimiento de red mayor que el protocolo TORA en todos los escenarios de simulación incluyendo escenarios sin movilidad (estáticos) y con movilidad.
4. En el planteamiento de la hipótesis nula al principio asume que no hay diferencia entre estos dos grupos de datos de muestra. Pero a partir de los resultados podemos observar que los dos grupos de datos muestrales tienen una diferencia significativa menor de 0,05. Como resultado, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la exactitud de los datos de la muestra.

Recomendaciones

1. Analizar el desempeño en entornos de red de malla inalámbrica Ad-Hoc y comparar el rendimiento del protocolo SNR-DSR modificado contra los protocolos DSR y TORA originales.
2. Evaluar el rendimiento de dos protocolos de enrutamiento híbrido para redes de malla inalámbrica utilizando el simulador OPNET.

Bibliografía

- El-Desoky, A., Sarhan, A., & Arnous, R. (2014). A Simulated Behavioral Study of DSR Routing Protocol Using NS-2. *Journal of Engineering Research and Applications Wwww.ijera.com ISSN*, 4(2), 2248–962264. Retrieved from www.ijera.com
- Gahlaut, N., Sharma, J., Kumar, P., & Kumar, K. (2011). Comparative analysis and study of different QoS parameters of wireless Ad-Hoc network. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 1(2), 2231–1963.
- Gómez, P., Posada, G., Vallejo, M., Pérez, P., Ayde, M., & Velásquez, V. (2014). Evaluación del desempeño del protocolo de enrutamiento AODV para diferentes escenarios de redes de sensores inalámbricos. *Universidad Del Norte*, 32(1), 80–101.
- Jiménez, G., López, D., & Pedraza, L. F. (2012). Simulación y análisis de desempeño de protocolos unicast para Redes VANET. *Redalyc*, 16(31), 66–75.
- Kaur, R., & Singla, A. (2015). International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Performance Analysis of DSR Using Different Networks, 5(7).
- Manoj, K., & Sharma, S. (2009). Scheduler Based QoS Analysis in MANET For DSR Protocol. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(2).
- Mehrotra, A., Lecturer Arti Saxena, S., & Manoj Tolani, A. (2014). Performance Comparison of Different Routing Protocols for Traffic

Monitoring Application. *International Journal of Computer Applications*, 92(4), 975–8887.

Mittal, P., Singh, P., & Rani, S. (2013). Comparison of DSR protocol in mobile Ad-Ho network simulated with Opnet 14.5 by varying internode distance. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 2(8), 2319–4847.

Murazzo, M. A., Rodríguez, N. R., & Martínez, M. (2008). Evaluación del retardo de los protocolos de ruteo reactivos para redes Manet. *Ingeniería Electrónica, Automática Y Comunicaciones*, 29(1), 28–35. <http://doi.org/10.1234/RIELAC.V29I1.20>

Navarro, S. (2006). *Algoritmos Cross-Layer para la optimización de las prestaciones del TCP en redes wireless Ad-Hoc*. Universidad de Sevilla. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11306/direccion/TEORIA%252F>

Rocabado, S. (2013). *Caso de estudio de comunicaciones seguras sobre redes móviles Ad Hoc*. Universidad Nacional de la Plata. Retrieved from http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Magisters/Redes_de_Datos/Tesis/Rocabado_Moreno_Sergio.pdf

Singh, P., Barkhodia, E., & Walia, G. K. (2012). Evaluation of various Traffic loads in MANET with DSR routing protocol through use of OPNET Simulator. *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS)*, 3(3). <http://doi.org/10.5121/ijdps.2012.3308>

Singh, S. K., Singh, M. ., & Singh, D. K. (2010). Routing Protocols in Wireless Sensor Networks - A Survey. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 1(2), 63–83.

<http://doi.org/10.5121/ijcses.2010.1206>

Wan, J., Yuan, D., & Xu, X. (2008). A Review of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. In *2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* (pp. 1–4). IEEE. <http://doi.org/10.1109/WiCom.2008.946>

Zaballos, A., Vallejo, A., Corral, G., & Abella, J. (2014). AdHoc routing performance study using OPNET Modeler.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo**, con C.C: # 060354004-8 autor del trabajo de titulación: Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 30 de enero de 2017

f. _____

Nombre: **Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo**

C.C: **060354004-8**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación de protocolos de enrutamiento DSR y TORA en redes móviles Ad-Hoc usando Opnet		
AUTOR(ES)	Amaguaya Llamuca, Luis Eduardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Luis Córdova Rivadeneira; MSc. Nestor Zamora Cedeño / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	30 de enero de 2017	No. DE PÁGINAS:	60
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Inalámbricas, Gestión de Redes de Computadoras y Telecomunicaciones.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ad-Hoc, protocolos de enrutamiento, proactivo, reactivo, DSR, TORA.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El trabajo de examen complejo consistió en el desarrollo de escenarios de simulación del protocolo de enrutamiento de origen dinámico (DSR, Dynamic Source Routing) y del algoritmo de enrutamiento ordenado temporalmente (TORA, Temporally Ordered Routing Algorithm) bajo la plataforma de modelación Opnet. La metodología utilizada en la simulación es propia del autor, aunque para la mayoría del trabajo sigue con la metodología tradicional. El trabajo es de carácter descriptivo y explicativo, cuyo paradigma es empírico – analítico, con enfoque cuantitativo. Existen diversas plataformas para diseñar modelos de simulación, tales como, OMNeT ++, MatLab, OptiSystem, Opnet, entre otros. La plataforma de simulación que mejor se adapta para modelar los protocolos de enrutamiento, es Opnet. Aunque, las otras son muy buenas herramientas, pero Opnet dispone de librerías para modelar diferentes redes de telecomunicaciones, dispositivos, así como los protocolos proactivos, reactivos e híbridos. Los resultados obtenidos durante las pruebas de simulación entre los protocolos DSR y TORA, mostraron que el rendimiento de la red móvil inalámbrica Ad-hoc, es mejor si se implementa el protocolo de enrutamiento DSR tanto para escenarios estáticos y con movilidad.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0986722313	E-mail: e.amaguaya@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			