



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos  
para redes inalámbricas móviles Ad-hoc**

AUTOR:

Chamba Macas, Fernando Vinicio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Guayaquil, 2 de junio del 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 **Chamba Macas, Fernando Vinicio** 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, 2 de junio del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Chamba Macas, Fernando Vinicio**

**DECLARÓ QUE:**

El Trabajo de Titulación “**Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc**”, 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, 2 de junio del 2017

EL AUTOR

---

Chamba Macas, Fernando Vinicio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Chamba Macas, Fernando Vinicio**

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 reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 2 de junio del 2017

EL AUTOR

---

Chamba Macas, Fernando Vinicio

# REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a sidebar displays document metadata: **Documento**: Chamba Fernando MET2016.docx (D25187752); **Presentado**: 2017-01-23 01:18 (-05:00); **Presentado por**: fernandopm23@hotmail.com; **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: Revisión Fernando Chamba [Mostrar el mensaje completo](#). A yellow highlight indicates that 1% of the document's pages are text-based. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible, listing various document links with checkboxes. At the bottom, a toolbar contains icons for navigation and actions like '0 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

Lista de fuentes	Bloques		
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	▣
+		<a href="#">FINAL_TESIS_RL_05012017_v1.docx</a>	<input type="checkbox"/>
+	>	<a href="#">FINAL_TESIS_RL_01122016_FINAL_MAESTRIA_1.2.docx</a>	<input type="checkbox"/>
+		<a href="#">Trabajo de titulacion Santiago Ramos Oficial.docx</a>	<input type="checkbox"/>
+		<a href="#">Trabajo de titulacion Paola Santos. Final.docx</a>	<input type="checkbox"/>
+		<a href="https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13183/T...">https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13183/T...</a>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

TEMA: Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc

AUTOR: Chamba Macas, Fernando Vinicio

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

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Guayaquil, 9 de Enero del 2017

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

## **Dedicatoria**

### **A mis padres.**

Raúl y Rosa por haberme ayudado día a día durante todo esta etapa estudiantil dándome su fuerza, cariño y dedicación para poder culminar esta meta.

### **A Dios.**

Por iluminar mi mente en cada difícil instante que lo necesite y por permitirme estar aquí con vida culminando esta meta. Gracias a Dios por darnos este hermoso regalo de la vida.

### **A mis maestros.**

Por enseñarnos también una parte muy importante de ser profesional, la ética y el respeto a los demás.

Por guiarnos e instruirnos con sus conocimientos y experiencia adquirida.

## **Agradecimientos**

Sin duda alguna estoy muy agradecido con Dios por su amor y por su misericordia con todos nosotros. Gracias a él estoy aquí culminando una meta más propuesta en la vida.

Agradezco a toda mi familia padres y hermanos por estar presentes conmigo y ayudarme de una u otra forma para poder estar aquí de pie culminando esta maestría.

Agradezco a mi tutor Palacios Meléndez, Edwin Fernando por su entrega, dedicación y empeño en la culminación de esta tesis.

De igual manera agradezco al decano Romero Paz, Manuel de Jesús por haberme permitido formar parte de esta prestigiosa universidad y llenarme nuevamente de conocimientos profesionales.



**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
Resumen .....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	15
1.1.    Introducción.....	15
1.2.    Antecedentes.....	16
1.3.    Definición del problema .....	17
1.4.    Objetivos.....	17
1.5.    Hipótesis.....	18
1.6.    Metodología de investigación. ....	18
Capítulo 2:Fundamentación teórica. ....	19
2.1.    Tipos de redes de comunicaciones. ....	19
2.2.    Redes inalámbricas móviles Ad-hoc (MANET).....	19
2.3.    Tipos de redes MANETs.....	21
2.4.    Aplicaciones de redes MANETs. ....	23
2.5.    Enrutamiento o encaminamiento en redes Ad-hoc.....	24
2.6.    Tipos de enrutamientos en redes Ad-hoc.....	26
2.6.1.    Protocolos de enrutamiento proactivos. ....	26
2.6.2.    Protocolos de enrutamiento reactivos. ....	27
2.7.    Protocolos de enrutamiento de MANETs.....	27
2.8.    Técnicas de encaminamiento en comunicaciones inalámbricas. ...	30
2.8.1.    Enrutamiento de difusión.....	30
2.8.2.    Enrutamiento dinámico.....	31
2.9.    Caracterización de los protocolos de enrutamiento a simular. ....	31
2.9.1.    Protocolo AODV.....	31
2.9.2.    Protocolo DSR.....	37

2.9.3. Protocolo OLSR (enrutamiento de estado de enlace optimizado) ..	40
Capítulo 3: Desarrollo y Evaluación. ....	44
3.1. Parámetros para evaluación del rendimiento de protocolos. ....	44
3.1.1. Parámetro de retardo. ....	45
3.1.2. Parámetro de carga de la red. ....	46
3.1.3. Parámetro de rendimiento. ....	46
3.2. Diseño de red inalámbrica móvil Ad-hoc. ....	47
3.2.1. Escenario 1: Red Ad-hoc de 20 nodos móviles. ....	47
3.2.2. Escenario 2: Red Ad-hoc de 40 nodos móviles. ....	47
3.2.3. Escenario 3: Red Ad-hoc de 80 nodos móviles. ....	48
3.3. Resultados obtenidos. ....	49
3.3.1. Aplicación del protocolo AODV para escenario 1. ....	49
3.3.2. Aplicación del protocolo DSR para escenario 1. ....	52
3.3.3. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 1. ....	53
3.3.4. Aplicación del protocolo AODV para escenario 2. ....	54
3.3.5. Aplicación del protocolo DSR para escenario 2. ....	55
3.3.6. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 2. ....	56
3.3.7. Aplicación del protocolo AODV para escenario 3. ....	58
3.3.8. Aplicación del protocolo DSR para escenario 3. ....	60
3.3.9. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 3. ....	61
3.4. Análisis comparativo entre los protocolos de enrutamiento. ....	62
Conclusiones .....	64
Recomendaciones .....	66
Bibliografía .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1:Esquemático general de una MANET.....	20
Figura 2. 2:MANETs vehiculares - VANET. ....	22
Figura 2. 3:MANETs basadas en internet - IMANET. ....	23
Figura 2. 4:Protocolos de enrutamiento en MANETs.....	28
Figura 2. 5:Servicios que soporte a los protocolos MANET.....	28
Figura 2. 6:Procesos de solicitud y respuesta de ruta. ....	35
Figura 2. 7:Propagación del paquete mediante solicitud de ruta. ....	36
Figura 2. 7:Propagación del paquete mediante respuesta de ruta. ....	37
Figura 2. 9:Descubrimientos de ruta DSR. ....	38
Figura 2. 10:Mensaje de error.....	40
Figura 2. 11:Esquemático relé multipunto – MPR.....	42
Figura 2. 12:Esquemático del mensaje Hello para el protocolo OLSR. ....	43

### Capítulo 3:

Figura 3. 1:Simulación red ad-hoc de 25 nodos móviles. ....	48
Figura 3. 2:Simulación red ad-hoc de 40 nodos móviles. ....	49
Figura 3. 3:Simulación red ad-hoc de 40 nodos móviles. ....	50
Figura 3. 4: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo AODV. ....	51
Figura 3. 5: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo DSR. ....	52
Figura 3. 6: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo OLSR.....	53
Figura 3. 7: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo AODV.....	55
Figura 3. 8: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo DSR. ....	57
Figura 3. 9: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo OLSR. ....	58

Figura 3. 10: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo AODV. ....	60
Figura 3. 11: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo DSR. ....	61
Figura 3. 12: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo OLSR. ....	62

## Resumen

El presente trabajo de examen complejo se encarga de modelar redes inalámbricas móviles Ad-hoc, también conocidas como MANETs utilizando protocolos de enrutamiento o encaminamiento reactivos y proactivos. Para ello, se describe los fundamentos teóricos de redes MANETs y sus respectivos protocolos de enrutamiento. La herramienta de simulación escogida fue Opnet, cuyo programa permite modelar diferentes redes de comunicaciones y realizar mediciones de rendimiento, retardo y carga de la red. Posteriormente, se realiza el diseño de una red inalámbrica móvil Ad-hoc con diferentes escenarios, cuya variante está en el número de nodos móviles, que son 20, 40 y 80 para cada escenario. Después, se realiza la ejecución de las simulaciones durante 240 segundos. Finalmente, se realiza el análisis de las métricas de retardo, carga y rendimiento de la red para los tres escenarios utilizando los protocolos AODV, DSR y OLSR. Finalmente, el protocolo OLSR resulta ser el mejor en relación a los protocolos AODV y DSR.

**Palabras clave:** PROTOCOLOS, ENRUTAMIENTO, AODV, DSR, OLSR, METRICAS.

## **Abstract**

This complex review paper is responsible for modeling Ad-hoc mobile wireless networks, also known as MANETs using reactive and proactive routing protocols. For this, the theoretical foundations of MANETs networks and their respective routing protocols are described. The simulation tool chosen was Opnet, whose program allows the modeling of different communication networks and performance, delay and load measurement of the network. Later, the design of an Ad-hoc mobile wireless network with different scenarios, whose variant is in the number of mobile nodes, is 20, 40 and 80 for each scenario. Then, the simulations are executed for 240 seconds. Finally, the analysis of the network delay, load and performance metrics for the three scenarios using the AODV, DSR and OLSR protocols is performed. Finally, the OLSR protocol proves to be the best in relation to the AODV and DSR protocols.

**Key words:** PROTOCOLS, ROUTERING, AODV, DSR, OLSR, METRICS.

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

### **1.1. Introducción.**

Las redes móviles Ad-hoc (*Mobile Ad-hoc Networks, MANETs*) se ha convertido en una de las áreas de las telecomunicaciones que frecuentemente realizan diversas investigaciones en los últimos años debido a los retos que plantean los protocolos relacionados. MANET es la nueva tecnología emergente que permite a los usuarios comunicarse sin ninguna infraestructura física, independientemente de su ubicación geográfica, es por eso que a veces se denomina una red de menor infraestructura. La proliferación de dispositivos más baratos, pequeños y más potentes hacen de MANET una red de más rápido crecimiento.

Una red ad-hoc es auto-organizativa y adaptativa. Los dispositivos de redes móviles Ad-hoc deben ser capaces de detectar la presencia de otros dispositivos y realizar la configuración necesaria para facilitar la comunicación y el intercambio de datos y servicios. La red Ad-hoc permite a los dispositivos mantener conexiones a la red, así como agregar y quitar dispositivos fácilmente desde y hacia la red. Debido a la movilidad nodal, la topología de la red puede cambiar rápidamente e impredeciblemente con el tiempo. La red está descentralizada, donde la organización de la red y la entrega de mensajes deben ser ejecutadas por los propios nodos.

El enrutamiento de mensajes es un problema en un entorno de descentralización donde la topología fluctúa. Mientras que el camino más corto de una fuente a un destino basado en una función de coste dada en una red estática es generalmente la ruta óptima, este concepto es difícil de extender en MANET. El conjunto de aplicaciones para MANET es diverso, desde redes de gran escala, móviles, altamente dinámicas, hasta pequeñas redes estáticas que están restringidas por fuentes de energía.

Además de las aplicaciones heredadas que pasan del entorno de la infraestructura tradicional al contexto especial Ad-hoc, una gran cantidad de nuevos servicios pueden y serán generados para el nuevo entorno. MANET es más vulnerable que la red cableada debido a nodos móviles, amenazas de nodos comprometidos dentro de la red, seguridad física limitada, topología dinámica, escalabilidad y falta de administración centralizada. Debido a estas vulnerabilidades, MANET es más propenso a ataques maliciosos.

## **1.2. Antecedentes.**

Una red móvil Ad-hoc es una tecnología prometedora y de rápido crecimiento que se basa en una red auto-organizada y rápidamente desplegada. Debido a sus grandes características, MANET atrae a diferentes áreas de aplicación del mundo real donde la topología de las redes cambia muy rápidamente. Sin embargo, muchos investigadores están tratando de eliminar las principales debilidades de MANET como el ancho de banda limitado, la energía de la batería, la potencia de procesamiento y seguridades.

Las soluciones de seguridad existentes de las redes cableadas no pueden aplicarse directamente a MANET, lo que hace a un MANET mucho más vulnerable a los ataques de seguridad. Aunque, existen trabajos de investigación que implementan sistemas de seguridad para evitar ataques en este tipo de red. En este trabajo de examen complejo, no se discutirá de vulnerabilidades, ni aspectos de seguridad en MANETs.

Se encontraron diferentes trabajos publicados en revistas indexadas, repositorios de tesis de maestría que están relacionados a las redes móviles Ad-hoc y que realizan evaluaciones de diversos protocolos de enrutamiento. Ya se han desarrollado implementaciones de modelos de simulación de

redes inalámbricas móviles ad-hoc utilizando protocolos proactivos, reactivos e híbridos.

### **1.3. Definición del problema**

Las redes inalámbricas móviles Ad-hoc requieren de poca infraestructura, pero evaluar el comportamiento de la misma implicaría invertir en equipos y también en dispositivos que permitan realizar mediciones de campo. Debido a esto, surge la necesidad de implementar escenarios de simulación de una red inalámbrica móvil Ad-hoc utilizando tres protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General.**

Implementar protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc.

#### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Caracterizar la fundamentación teórica de las redes inalámbricas móviles Ad-hoc.
- ✓ Caracterizar los diferentes protocolos de enrutamiento proactivos y reactivos.
- ✓ Desarrollar modelos de simulación en Opnet para una red inalámbrica móvil Ad-hoc mediante tres escenarios que modifican el número de nodos móviles.
- ✓ Evaluar los resultados obtenidos de retardo, carga y rendimiento de la red inalámbrica móvil Ad-hoc.

## **1.5. Hipótesis**

Durante la ejecución de los tres escenarios utilizando 20, 40 y 80 nodos móviles en una red inalámbrica móvil Ad-hoc, se comprobará que el protocolo de enrutamiento OLSR resulta tener las mejores mediciones tanto en retardo, carga y rendimiento de la red MANET en relación a los protocolos AODV y DSR.

## **1.6. Metodología de investigación.**

La metodología de investigación tiene diferentes métodos y técnicas al momento de realizar un trabajo investigativo. El trabajo de examen complejo es de carácter analítico-empírico. El enfoque de la investigación es totalmente cuantitativo, ya que se obtienen datos promedios de las mediciones que se obtienen de retardo, carga y rendimiento de la red MANET. El método utilizado es simulación virtual, que corresponde al desarrollo de una red inalámbrica móvil Ad-hoc utilizando diferentes escenarios.

## **Capítulo 2:Fundamentación teórica.**

### **2.1. Tipos de redes de comunicaciones.**

Hay dos tipos de redes, la primera es la red cableada y otra es la red inalámbrica. En la red cableada la información se realiza a través de cables, mientras que en la red inalámbrica los datos se envían de un punto a otro a través de un medio inalámbrico. La red inalámbrica se divide además en dos grupos:

- Infraestructura de red inalámbrica
- Red ad hoc

La infraestructura de red inalámbrica utiliza una estación base o un punto de acceso para conectar nodos inalámbricos. Sin embargo, una red Ad-hoc conecta nodos a través de enlaces inalámbricos, por lo que también se conoce como red de menor infraestructura. Estos nodos inalámbricos también pueden comportarse como dispositivos de enrutamiento cuando sea necesario.

Las redes inalámbricas de menor infraestructura o redes Ad-hoc, son un tipo importante de redes inalámbricas. Estos son apropiados cuando las demandas de telecomunicaciones se limitan a un área pequeña. Estas redes comprenden dispositivos inalámbricos que son capaces de formar una red de forma autónoma.

### **2.2. Redes inalámbricas móviles Ad-hoc (MANET)**

Una red inalámbrica Ad-hoc que tenga nodos móviles se llama Mobile Ad-hoc Network (MANET). Durante varios años la investigación y el desarrollo está en proceso con respecto a MANET. Dentro de MANET, los

dispositivos inalámbricos tienen habilidad de enrutamiento y el reenvío de información se realiza de una manera de saltos múltiples. Éstos se despliegan cuando la infraestructura de telecomunicaciones existente no está disponible. Lo más atractivo de MANET es la flexibilidad de la comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar, tal como se muestra en la figura 2.1.

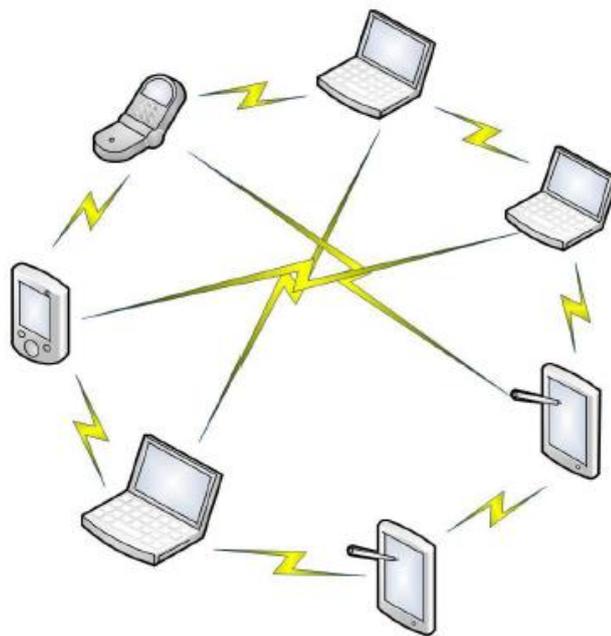


Figura 2. 1:Esquemático general de una MANET.

Fuente:

El despliegue de tal red es de gran desafío ya que no hay infraestructura. Los factores a considerar durante el despliegue de una MANET son:

#### **a. Ancho de banda**

Prohibición de errores en caso de redes inalámbricas que también son inseguras, debido a que tenemos menor capacidad y mayores problemas de congestión en el rendimiento, por lo que el ancho de banda es un actor clave al desplegar una MANET.

## **b. Eficiencia energética de los nodos**

El objetivo clave de la consideración es minimizar el consumo general de energía de la red.

## **c. Cambios de topología**

Este factor se considera porque la topología se cambia con el movimiento de los nodos móviles que resulta en cambios de ruta que conducen a la partición de red y en las ocurrencias más grandes con pocas pérdidas de paquetes. La característica de una MANET es que es auto-configurable y autogestión, que sería aún más difícil cuando la red está llena de nodos. Todos los protocolos Ad-hoc se desarrollan de tal manera que pueden justificar la naturaleza dinámica del entorno MANET. Algunos de estos protocolos de enrutamiento son FSR, OLSR, TBRPF, AODV, DSR y ZRP.

El enfoque de la investigación en MANET se debe a la capacidad de extender los servicios de red a aquellas áreas donde no existe infraestructura. Los trabajos de investigación existentes apoyan a MANET como parte de las redes 4G, ya que MANETS puede unirse a las redes tradicionales para mejorar el servicio. La formación y la deformación se hacen dinámicamente en MANETs, así que los cambios de la topología tienen efecto en la formación y el mantenimiento de rutas.

## **2.3. Tipos de redes MANETs.**

A continuación, se muestran las tres redes MANETs típicas, que son:

1. Redes vehiculares Ad-hoc (VANET)

2. Redes vehiculares Ad-hoc inteligentes (Intelligent VANET)
3. Red ad hoc móvil basada en Internet (IMANET)

Para Doumenc(2008) el caso de una VANET, en si es una MANET que proporciona comunicación entre dos vehículos y equipos fijos, tal como se muestra en la figura 2.2. Utiliza el estándar IEEE 802.11b para la comunicación entre vehículos. El propósito principal de una VANET es proporcionar seguridad, y para ello, hay un dispositivo electrónico especial colocado en vehículos que proporcionan características Ad-hoc. Cada vehículo tiene tal tipo de equipos y por lo tanto actúa como un nodo Ad-hoc, para lo cual puede recibir y retransmitir mensajes. El ejemplo más utilizado de VANET es el pago automático en estacionamientos privados.



Figura 2. 2:MANETs vehiculares - VANET.

Fuente:

Las VANETs inteligentes es el tipo modificado de una VANET que utiliza WIFI, IEEE 802.11p y WIMAX IEEE 802.16 para la comunicación entre los vehículos que tienen movilidad dinámica. Los vehículos pueden comunicarse entre sí, vehículos-vehículos (V2V), así como vehículos-carretera (V2R). Mientras que, las MANETs basadas en internet, es una red Ad-hoc en la que los nodos móviles están conectados a nodos de pasarela fijos, tal como se muestra en la figura 2.3.

## 2.4. Aplicaciones de redes MANETs.

La aplicación de MANETs normalmente incluye la comunicación en un entorno de campo de batalla. Estos se refieren a las redes tácticas, la supervisión del tiempo, las actividades de tierra y la generación de equipos de automatización. Estos son ejemplos de redes de sensores bajo el área de MANET. Las redes empresariales son un ejemplo de MANET en el que se puede tener acceso las PDAs desde cualquier lugar, en la cual las redes así formadas son redes de área personal.

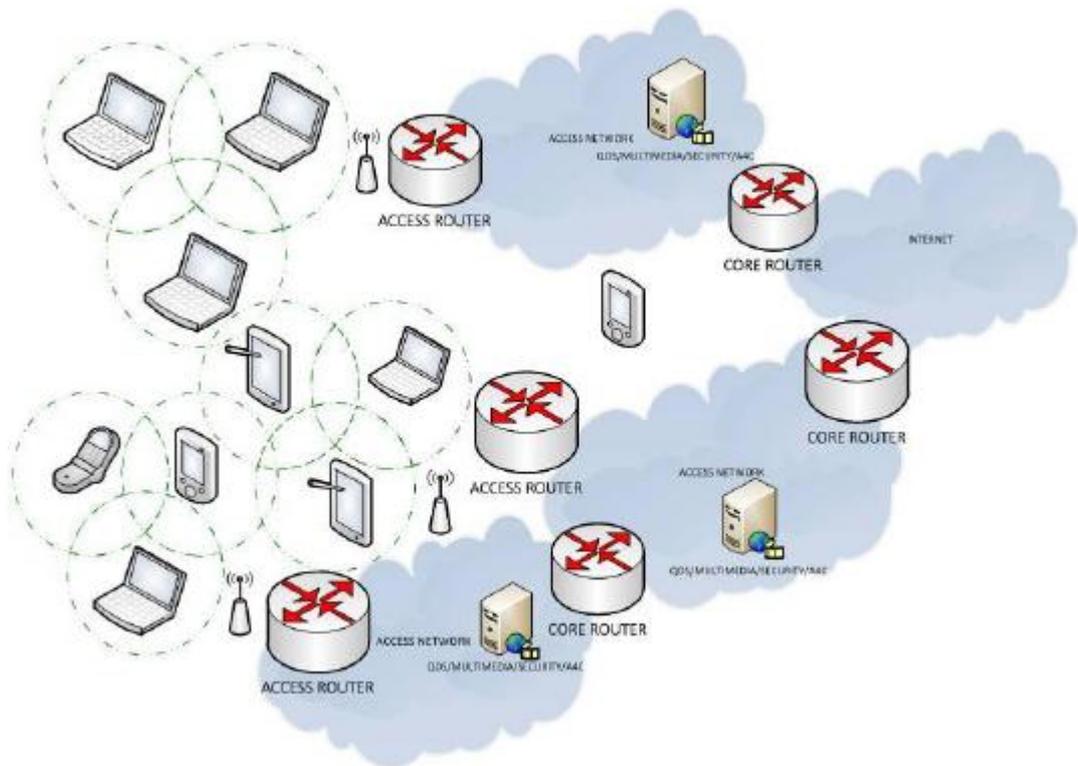


Figura 2. 3: MANETs basadas en internet - IMANET.

Fuente:

Estas aplicaciones se utilizan para fines educativos o comerciales. Una aplicación educativa se puede utilizar una conferencia virtual de llamadas

para dar conferencias o para reuniones, también es compatible con juegos multiusuario, mascotas robotizadas, etc. Mediante el uso de esta red, una llamada se puede reenviar en cualquier lugar, se puede utilizar para transmitir el espacio de trabajo real a la ubicación actual. La aplicación más común de una MANET, es la comunicación entre vehículos utilizados en Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS) en la que incluyen información de accidentes en una carretera, evitar colisiones en una encrucijada y conexión a Internet en los vehículos.

Las aplicaciones de MANETs han mejorado aún más la infraestructura de comunicaciones del equipo de rescate para operar en áreas afectadas por desastres durante 24 horas del día y lo mismo para aplicaciones militares modernas que se benefician en los campos de batalla.

## **2.5. Enrutamiento o encaminamiento en redes Ad-hoc.**

El enrutamiento de una red Ad-hoc todavía se realizan investigaciones dentro de áreas periféricas industriales y académicas. Muchos protocolos de enrutamiento se han desarrollado para redes Ad-hoc. Estos protocolos se pueden utilizar de acuerdo con los requisitos, opciones y enfoques que van desde la simple modificación de protocolos de Internet a esquemas complejos.

Durante el desarrollo de los protocolos en redes Ad-hoc, se deben considerar los siguientes factores para una comunicación más fiable entre los nodos móviles.

1. **Mínima supervisión de control:** el protocolo de enrutamiento debe diseñarse de tal manera que pueda manejar los mensajes de control según el requisito. El proceso de transmisión toma el doble de potencia en comparación con el proceso de recepción, pero

ambas operaciones siguen consumiendo energía. El protocolo tiene la capacidad de reducir los mensajes de control y puede ayudar a ahorrar energía en dispositivos móviles.

2. **Sobrecarga mínima de procesamiento:** un algoritmo de enrutamiento complejo requiere ciclos de procesamiento significativos en dispositivos que pueden causar más consumo de energía en dispositivos móviles. Los protocolos que son ligeros requieren menos procesamiento de los dispositivos móviles, reservando así la vida útil total de la batería.
3. **Capacidades de enrutamiento multi-hop:** la gama de transmisión inalámbrica de dispositivos móviles es muy limitada. No puede haber transmisión directa entre la fuente y el destino. El protocolo de enrutamiento debe ser capaz de descubrir las rutas multiusuario.
4. **Mantenimiento de topología dinámica:** la ruptura de enlaces en la red Ad-hoc es muy común. Los protocolos deben diseñarse de tal manera que puedan mantener los enlaces rápidamente con una sobrecarga mínima.
5. **Prevención de bucles:** cuando se produce un bucle de enrutamiento, los paquetes de datos pueden transversalizar la ruta varias veces hasta que la ruta sea fija o el tiempo de vida del paquete se aproxima a cero. El bucle de enrutamiento causa desperdicio de recursos de red, por lo que los protocolos deben diseñarse para evitar bucles todo el tiempo.

## **2.6. Tipos de enrutamientos en redes Ad-hoc.**

Los protocolos de enrutamiento utilizados en redes Ad-hoc se han dividido en dos categorías, que son:

- a. Enrutamientos proactivos.
- b. Enrutamientos reactivos.

### **2.6.1. Protocolos de enrutamiento proactivos.**

Los protocolos de enrutamiento proactivos se derivan de protocolos de estado de enlace desarrollados para la red cableada. La característica principal de los protocolos proactivos, es que cada nodo mantiene la ruta para cada otro nodo. La creación y el mantenimiento de la ruta se logran con la ayuda de actualizaciones de enrutamiento periódicas y activadas por eventos.

Las actualizaciones periódicas tienen lugar cuando se establecen intervalos de tiempo entre la actualización de enrutamiento y el evento activado se actualiza cuando se produce algún evento. Los protocolos proactivos pueden funcionar bien en una red donde un número significativo de sesiones de datos están involucrados.

No tiene un ancho de banda eficiente y no depende de si la ruta es necesaria o no. Los mensajes de control se transmiten periódicamente en protocolos de enrutamiento proactivos. La ventaja principal de los protocolos proactivos es que los nodos pueden conseguir fácilmente la información de enrutamiento para establecer la sesión.

La desventaja del protocolo de enrutamiento proactivo es que una gran cantidad de datos son guardados por los nodos para mantener la ruta. Los

protocolos proactivos muestran un mejor rendimiento sobre los protocolos reactivos e híbridos en el contexto del tráfico de enrutamiento, donde la topología está cambiando dinámicamente. Ejemplos de protocolos de enrutamiento proactivos son: FSR, OLSR y TBRF(Hidaldo Pastor, 2008).

### **2.6.2. Protocolos de enrutamiento reactivos.**

También se conoce como enrutamiento a petición, contrariamente al enfoque del rendimiento proactivo, los enrutamientos sólo se establecen cuando se requieren protocolos de enrutamiento reactivos. Cuando un nodo tiene que enviar datos a otro nodo, primero verifica la existencia de una ruta, y si la ruta no existe, el descubrimiento de la ruta se realiza hacia el nodo de destino. En el protocolo de enrutamiento reactivo, el ancho de banda se utiliza de manera eficiente (Roldán Gordillo, 2016)

Los protocolos reactivos sólo mantienen la información de enrutamiento de la comunicación activa. La principal desventaja de este enfoque es que cuando un establecimiento de la ruta se requiere, se produce una latencia finita. Ejemplos de protocolos de enrutamiento reactivos son: AODV y DSR.

### **2.7. Protocolos de enrutamiento de MANETs.**

La figura 2.4 y 2.5 muestran los protocolos generales que se utilizan en redes inalámbricas móviles Ad-hoc. La figura 2.4 muestra los esquemas planos (Proactivos, reactivos e híbridos) y jerárquicos.

La figura 2.5 muestra los servicios correspondientes que soportan los esquemas de la figura 2.4. Es evidente a partir de las figuras que diferentes protocolos soportan diferentes parámetros y pueden seleccionarse de acuerdo con los requisitos específicos del usuario.

## PROTOCOLOS MANET

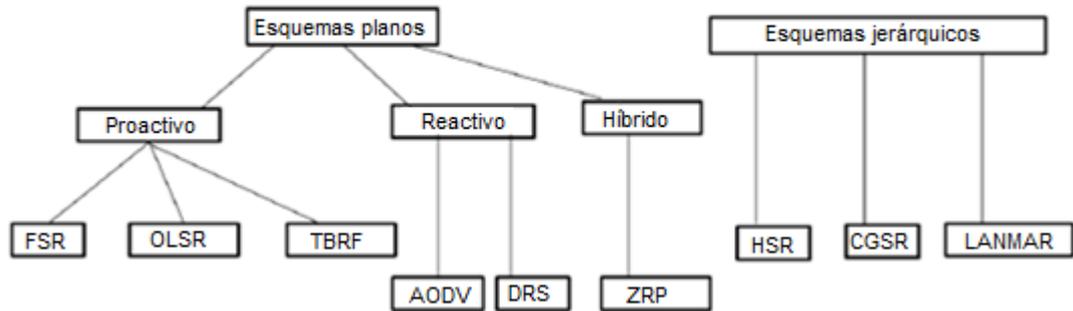


Figura 2. 4: Protocolos de enrutamiento en MANETs.  
Fuente: (Cuesta R., 2012)

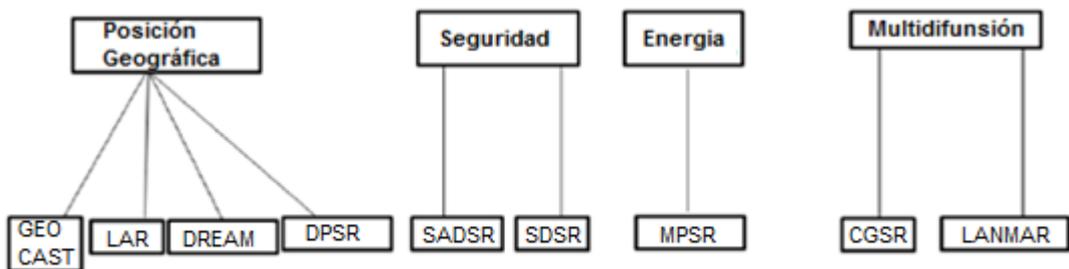


Figura 2. 5: Servicios que soportan a los protocolos MANET.  
Fuente: (Cuesta R., 2012)

**FSR:** enrutamiento de estado de ojo de pescado (*Fisheye State Routing, FSR*) representa el concepto de "ámbito" multinivel para disminuir la carga de actualización de enrutamiento en la red de gran tamaño (Jiménez, López, & Pedraza, 2012).

**TBRF:** la topología de difusión basada en el reenvío de rutas inversas (*Topology dissemination Based on Reverse-path Forwarding, TBRF*) ofrece enrutamientos de salto por salto, además de la ruta más corta a cada destino utilizando la forma modificada del algoritmo de Dijkstra (Mohan & Kasiviswanath, 2011).

**ZRP:** cuando los patrones de movilidad son diversos se emplea el protocolo de enrutamiento de zonas (*ZoneRoutingProtocol, ZRP*), en el cual cada nodo sostiene rutas dentro de una zona que es una región local. El protocolo ZRP controla la topología de la zona de enrutamiento con el fin de mejorar la eficiencia del mecanismo de respuesta (Leyton G., 2013).

**HSR:** la característica distintiva del enrutamiento estatal jerárquico (*HierarchicalStateRouting, HSR*) es el agrupamiento multinivel y la división lógica de nodos de red móvil.

**LANMAR:** el agrupamiento lógico es la idea clave detrás del protocolo de enrutamiento de Landmark (*LANdMArkRouting protocolo, LANMAR*).

**CGSR:** la base del enrutamiento de conmutación a través de cabeceras de cluster (*Cluster-head Gateway SwitchRouting, CGSR*) es el protocolo DSDV (Esparza D., 2015).

**GEOCAST:** en la difusión geográfica (GEOCAST) los paquetes están enviando a cada nodo sensor en una región específica con límites geográficos, para recopilar datos de estos nodos (Kamboj & Chawla, 2014).

**LAR:** el protocolo subyacente para el enrutamiento de localización asistida (*LocationAidedRouting, LAR*) es el enrutamiento de origen dinámico (DSR). Utiliza la información, que es la ubicación específica con el fin de disminuir la sobrecarga de enrutamiento, para este propósito se utiliza el sistema de posicionamiento global (*Global Position System*).

**DREAM:** en el protocolo DREAM cada nodo mantiene una tabla de localización, que contiene información sobre la ubicación de todos los nodos dentro de una red y envía regularmente un paquete de localización conocido como paquete de control.

**DPSR:** El protocolo subyacente del enrutamiento de origen P2P dinámico (*Dynamic P2P SourceRouting, DPSR*) es el enrutamiento de origen dinámico, que sería en si la integración de P2P con MANETs.

**SADSR:** en el protocolo de enrutamiento de origen dinámico de adaptativa seguridad (*Security-awareAdaptive DSR, SADSR*) la validación de los mensajes de protocolos de enrutamiento se realiza utilizando la firma digital puesta a tierra en criptografía asimétrica.

**SDSR:** el enrutamiento seguro bajo demanda (*Secureon-DemandRouting, SDSR*) utiliza firmas digitales y la observación de nodos permite garantizar la seguridad.

**MPSR:** en el protocolo de enrutamiento de múltiples rutas sensible a la energía (*MultipathPowerSensitiveRouting, MPSR*), todos los nodos ubicados en la red se tratan de la misma manera, por lo que la red global permanece en estado estacionario durante bastante tiempo.

## **2.8. Técnicas de encaminamiento en comunicaciones inalámbricas.**

### **2.8.1. Enrutamiento de difusión.**

Broadcasto difusión significa que un nodo puede enviar paquetes a todos los otros nodos de una red. Estos nodos son fácilmente adaptables a la flexibilidad. Los métodos de radiodifusión en redes inalámbricas móviles Ad-hoc se dividen en cuatro categorías, que son:

1. Inundación de la red: cada nodo en MANET puede retransmitir.
2. Basado en probabilidades: asignación de probabilidades a cada nodo para retransmitir.

3. Basado en el área de cobertura: se asume la distancia de transmisión común y se emitirá un nodo si hay suficiente área de cobertura.
4. Basado en nodos vecinos: se mantiene el estado en los nodos vecinos y esta información es utilizada por los nodos para retransmisión.

### **2.8.2. Enrutamiento dinámico**

En el enrutamiento dinámico, cada nodo puede reenviar paquetes hacia el destino específico. El reenvío de información depende de la distancia, la topología y la posición de los nodos. En este tipo de enrutamiento, la reparación de ruta se inicia después de detectar errores de enlace.

## **2.9. Caracterización de los protocolos de enrutamiento a simular.**

### **2.9.1. Protocolo AODV.**

El protocolo de enrutamiento de vector Ad-hoc bajo demanda (AODV), es una forma modificada del algoritmo de enrutamiento de vectores de distancia secuencial de destino altamente dinámico (DSDV). La principal tarea del protocolo DSDV era reducir el número de mensajes de difusión enviados a través de la red. AODV es un protocolo de enrutamiento bajo demanda que tiene la característica de facilitar los cambios producidos debido a las condiciones de enlace. Si el enlace falla, las notificaciones se envían solamente a los nodos afectados. Debido a la naturaleza de la demanda del protocolo hay tráfico de enrutamiento mínimo en la red y no permite que los nodos mantengan las rutas.

AODV crea y mantiene rutas sólo cuando sea necesario, ya que es un protocolo reactivo. Más importante es la información de los nodos vecinos

que también recibe y siempre que se rompa la ruta, los vecinos pueden ser notificados. Cuando dos nodos de una red Ad-hoc quieran comunicarse entre sí, AODV construirá rutas de salto múltiple entre estos nodos. AODV es un protocolo sin bucle, siendo esta una de las características claves del protocolo. El enrutamiento en AODV se hace con la ayuda de las siguientes secuencias:

**a) Secuencia de números:**

Los números de secuencia se utilizan para borrar alguna información que es antigua y no es importante. Los protocolos de vectores de distancia se evitan del problema de bucle por número de secuencia ya que actúan como marca de tiempo. Para cada host de destino individual, el número de secuencia de destino se almacena en una tabla de enrutamiento, cuando el anfitrión recibe el mensaje que tiene un número de secuencia más alto, se actualizará el número de secuencia de destino en la tabla de enrutamiento.

Si el host ofrece una nueva ruta a sí mismo, se produciría un cambio en el número de secuencia de destino en la tabla de enrutamiento. Para la posible ocurrencia de rodadura, el número de secuencia debe ser tratado como números enteros no asignados. AODV permite que el número de secuencia se desplace sin crear ningún problema.

**b) Tres mensajes:**

Si un nodo de origen quiere enviar algunos datos al nodo de destino, primero comprobará si existe una ruta que simplemente envía los paquetes y si la ruta no existe, comienza un proceso de descubrimiento de ruta. AODV trata con tres mensajes, que son:

1. Solicitud de ruta (RREQ)

2. Errores de ruta (RRER)
3. Respuestas de ruta (RREP)

Estos tres mensajes se utilizan para descubrir la ruta a través de la red utilizando el paquete de datagrama de usuario (*UserDatagramPacket, UDP*). Cuando un nodo solicita la localización de una ruta, envía su dirección IP como una dirección de origen y el encabezado IP del mensaje se transmite. El tiempo de vida (*Time To Live, TTL*) en los encabezados IP determina el número de saltos para los mensajes.

Para iniciar un procedimiento de descubrimiento de ruta, se emite un paquete de solicitud de ruta. Tal RREQ solicita el número de secuencias de destino para evitar la replicación de vieja información y el problema de bucle, que es necesario para los protocolos tradicionales de vector distancia. No agregamos nueva información de los hosts pasados, sino que sólo aumentamos su métrica de salto. Cada host que se pasa, actualiza la tabla propia de enrutamiento, por lo que la respuesta de destino puede ser fácilmente enrutado de vuelta, ayudada por el anfitrión a petición. El mensaje de respuesta de ruta (RREP) se utiliza para esta conexión.

Cuando un nodo recibe el paquete, el RREQ crea una ruta inversa al nodo emisor. La RREQ se actualiza con un recuento de saltos más de la fuente. Los nodos que reciben la RREQ comprueban si tiene una ruta activa hacia el destino. Si no contiene información sobre el destino, el nodo retransmite el paquete RREQ. Cuando el paquete RREQ alcanza el destino, el paquete RREP se genera desde el nodo de destino o nodo intermedio y utiliza la ruta inversa establecida.

Si hay un fallo de enlace, se genera un mensaje de error de ruta (RRER), el host hará una lista de destino afectado y también informa sobre nodos destinos y vecinos afectados. Finalmente, los nodos vecinos afectados

obtendrían el mensaje de error de ruta del host. Si hay muchos usuarios que necesitan información entonces el RRER sería difundido y si hay un usuario el RRER sería unicast.

### **c) Reparación:**

La reparación es hecha localmente por el anfitrión cuando hay rotura del acoplamiento y ninguna otra cantidad especificada de saltos. Para hacer la reparación, el número de secuencia de destino del enlace es el incremento por el host y el mensaje RREQ se emite al host. Para evitar la propagación para el proceso de reparación a toda la red, el TTL debe calcularse para la cabecera IP. El mensaje RREQ debe ser recibido de otro modo, para lo cual el estado de la tabla de enrutamiento no será válido.

Con la recepción de la cuenta de saltos de mensajes RREP la métrica se puede comparar. Si el mensaje anterior es menor que la métrica de salto, entonces el RRER con el campo N se transmite, el N archivado da la indicación sobre el enlace reparado. El mensaje recibido se considera el mensaje RREP original. La reparación antes de que los datos sean enviados al anfitrión se conoce como la reparación proactiva.

### **d) Mensajes de saludo:**

El protocolo reactivo, AODV, utiliza mensajes de saludo después de un tiempo fijo para decirles a sus nodos vecinos que el vínculo con el anfitrión está presente. Para evitar el reenvío de mensajes una y otra vez, el mensaje Hello es emitido con tiempo de vida igual a 1. Después de recibir este mensaje, se actualiza la tabla de enrutamiento. Si no hay información del nodo vecino durante un tiempo específico, la información se marcará como perdida. Entonces el mensaje RRER es necesario para informar a los

anfitriones sobre la rotura. Cuando se produce la rotura del enlace, las rutas que no se utilizan para el enrutamiento no deben generar el mensaje RERR.

Toda la información necesaria sobre las rutas se almacena en esta estructura de datos principal. Estos son los campos de la tabla: dirección de destino, número de secuencia de destino, cuenta de salto, próximo salto, vida útil, lista de precursores y estado de la ruta. La lista contiene la información acerca de los hosts a los que el mensaje es posible remitir y a qué nodo vecino se debe reenviar el error mientras se producen roturas.

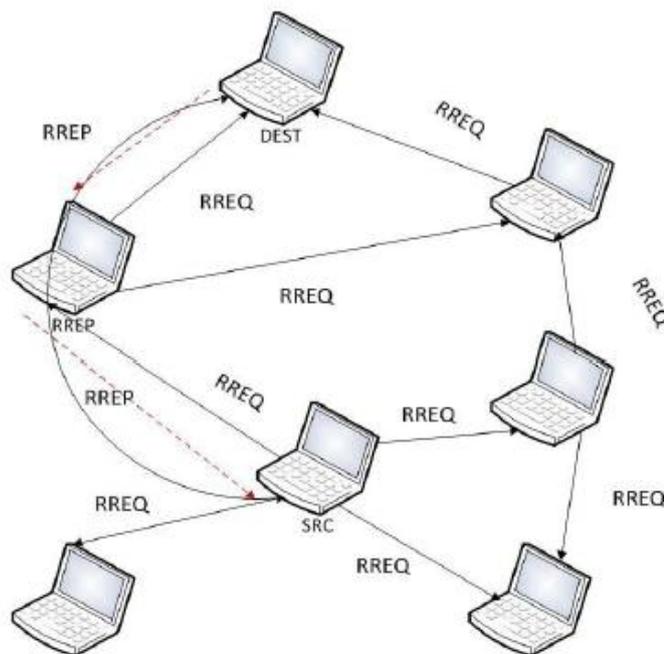


Figura 2. 6:Procesos de solicitud y respuesta de ruta.  
Fuente: (Patel, 2010)

El proceso de descubrimiento de ruta en AODV que implica paquetes RREP y RREQ se muestra en la figura 2.6. La fase de descubrimiento de rutas AODV también puede explicarse con el siguiente ejemplo que se muestra en la figura 2.7. Que el nodo F quiera comunicarse con el nodo B, envía un paquete RREQ en toda la red para mostrar que quiere comunicarse con B. Todos los nodos entre los puntos finales, que reciben RREQ,

transmiten el mensaje de nuevo, por primera vez recibe Y hacer que algunos estados no permanentes lleguen al nodo F.

Cuando RREQ es recibido por B, permite que B devuelva el mensaje RREP a F, lo que hace que se ejecuten los estados de reenvío entre los nodos (en este caso C). Ahora B recibe datos de F, los nodos entre B y F pueden tener conocimiento. Los nodos que están destinados a algún objetivo pueden responder y se detiene la propagación RREQ. En las figuras 2.7 y 2.8 muestran una propagación de los RREQ y RREP entre los nodos F y B.

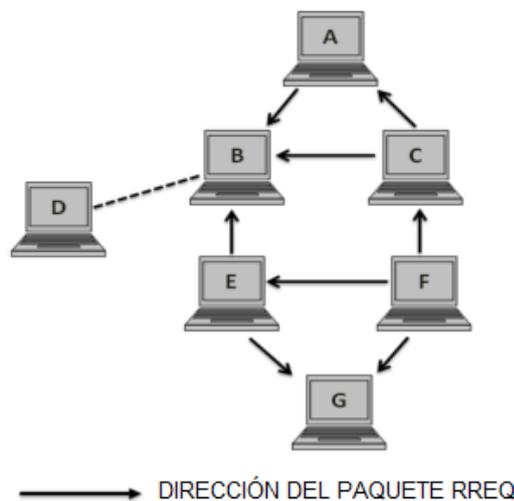


Figura 2. 7: Propagación del paquete mediante solicitud de ruta.  
Fuente: (Patel, 2010)

Para manejar el proceso de enrutamiento, el protocolo AODV no necesita ningún sistema de gestión central, porque, AODV es un protocolo de enrutamiento plano. La sobrecarga de los mensajes de tráfico de control se reduce al costo de una mayor latencia en la búsqueda de nuevas rutas mientras se utilizan protocolos reactivos como AODV.

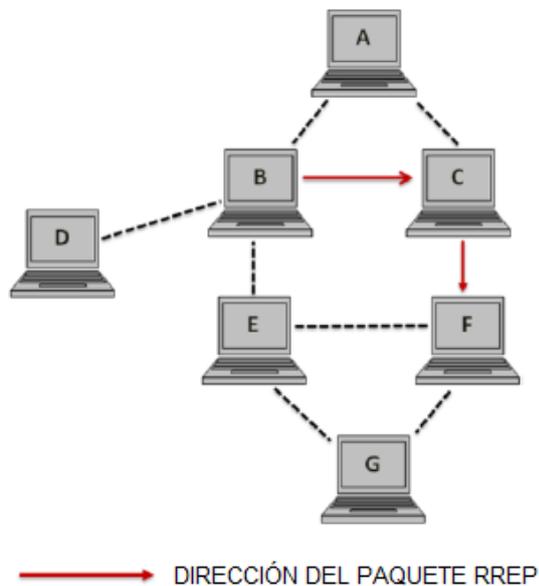


Figura 2. 8: Propagación del paquete mediante respuesta de ruta.  
Fuente: (Patel, 2010)

Además, AODV intenta reducir la sobrecarga del mensaje, si hay información sobre las rutas activas en la tabla de enrutamiento, y luego el proceso de enrutamiento es mínimo. Los RREQ y RREP no aumentan la sobrecarga de los mensajes de control. En general, el protocolo AODV es rápido en la reacción de los cambios y la actualización en la red a través del mensaje RRER. En este mensaje, HELLO también está limitado por lo menos la sobrecarga en la red. Finalmente, AODV evita los bucles y también evita el problema de contar hasta el infinito.

### 2.9.2. Protocolo DSR.

La característica prominente del protocolo de origen dinámico (DSR) es el uso del enrutamiento de origen. DSR es un protocolo de enrutamiento reactivo que tiene características de demanda. La información de ruta para que el paquete se mueva en una red es establecida por el remitente. En el enrutamiento de origen, las decisiones se toman por el nodo de origen.

El nodo de origen recoge toda la información entre ella mismo y el destino. Durante el proceso de descubrimiento de la ruta, esta información es utilizada por todos los demás nodos involucrados en ella. Utiliza un identificador (id) de flujo para facilitar el salto por salto de reenvío. La figura 2.9 describe el proceso de descubrimiento de ruta usando el protocolo DSR.

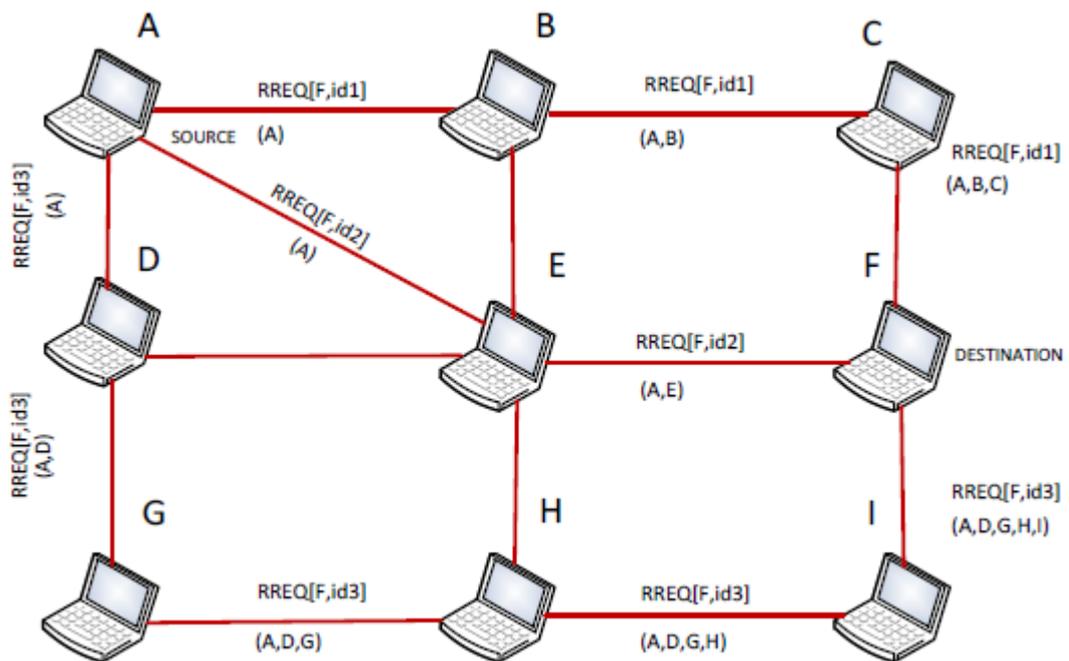


Figura 2. 9: Descubrimientos de ruta DSR.  
Fuente: (Patel, 2010)

El protocolo DSR sigue dos mecanismos para su funcionamiento, que son:

- Descubrimiento de ruta
- Mantenimiento de ruta

#### a. Descubrimiento de ruta

La información de ruta es conocida por el remitente de origen a destino. La caché de ruta se mantiene para este propósito. La ruta de origen se mantiene en el encabezado del paquete cuando la ruta no se conoce y un

nodo desea enviar el paquete de datos al destino, utiliza el proceso de descubrimiento de ruta.

La fase de descubrimiento de rutas del protocolo DSR contiene mensajes RREQ y RREP. Cuando un nodo desea enviar un mensaje, transmite un paquete RREQ a sus vecinos. Los nodos vecinos añaden su ID en el paquete RREQ y retransmiten el paquete. El mensaje de difusión llegará al destino o al nodo que contiene la ruta al nodo de destino. Cada nodo mantiene una caché de rutas. El nodo comprueba su caché antes de retransmitir el paquete RREQ.

Al mantener la caché de rutas, se reduce la sobrecarga generada por el descubrimiento de rutas. Si una ruta estaba disponible en la memoria caché del nodo, enviará un mensaje RREP en lugar de RREQ. El primer paquete que llega al nodo de destino tendrá información completa sobre la ruta. En el protocolo DSR se considera que la trayectoria obtenida es la trayectoria más corta.

Un paquete RREP se envía al nodo de origen que contiene la ruta al destino. El nodo de origen guarda esta ruta en su caché. En el caso de un enlace roto en la ruta fuente, el paquete RRER se utiliza para notificar al nodo fuente de modo que el origen despegue cualquier ruta que utilice este enlace desde su caché, si todavía hay necesidad de esta ruta un nuevo mecanismo de descubrimiento de ruta es iniciado por la fuente.

DSR utiliza el enrutamiento de origen y la ruta de almacenamiento en caché de manera muy excelente de tal manera que no hay necesidad de utilizar mecanismos especiales para descubrir bucles de enrutamiento.

## b. Mantenimiento de ruta

En este mecanismo se utilizan dos tipos de paquetes; RERR y acuse de recibo (ACK). El protocolo DSR verifica la existencia de la ruta sobre la base de ACK recibido desde el nodo vecino, que describe que el paquete ha sido entregado al siguiente salto.

El paquete ACK también contiene confirmaciones pasivas. También se genera un paquete RERR, cuando un nodo no recibe un mensaje ACK. Este paquete RERR se envía a la fuente para volver a inicializar la fase de descubrimiento de ruta si la ruta redundante hacia el destino no está disponible. Cuando el paquete RERR es recibido por el nodo, este elimina las entradas de la ruta de su caché de rutas que utiliza los enlaces fallidos.

Para reducir la sobrecarga, DSR también admite el estado de flujo que se establecerá en nodos intermedios. Este estado de flujo proporciona la facilidad de salto por salto que reenvía con la misma ruta basada en la fuente según lo proporcionado por la ruta original de la fuente. La característica más distintiva de DSR es que no intercambia mensajes HELLO, por lo que los nodos pueden ahorrar energía. El mantenimiento de la ruta DSR se explica en la figura 2.10.



Figura 2. 10:Mensaje de error.

Fuente: (Patel, 2010)

### 2.9.3. Protocolo OLSR (enrutamiento de estado de enlace optimizado)

En términos de optimización, el protocolo de enrutamiento de estado de enlace optimizado (OLSR) es considerado como la versión más proactiva y optimizada del protocolo de estado de enlace puro. Cuando se producen los

cambios topológicos, inunda la información topológica a todos los anfitriones activos en cuestión dentro de la red.

Para minimizar y superar la congestión en la red, OLSR hace uso de relés multipunto (MPR). El concepto principal de MPR es disminuir el exceso del flujo de las transmisiones reduciendo el número de mismas emisiones en algunas regiones de la red. Además, el camino más corto también puede ser instrumental en la reducción de las emisiones sobre las inundaciones.

El protocolo OLSR utiliza dos tipos de mensajes de control. Un tipo es mensajería Hello y el otro es el control de topología. Los mensajes Hello sirven para localizar la información relacionada con el estado del enlace y los vecinos del host. El mensaje Hello utiliza el selector de relés multipunto para construir el conjunto de selectores en una oferta para describir qué nodos vecinos han elegido actuar como MPR y esta información se utiliza para calcular el conjunto propio de MPRs del host.

Los mensajes de control de topología se utilizan para difundir a través de las redes. Anuncian la lista de selectores MPR menores basada en sus nodos vecinos. Sus mensajes se transmiten de forma intermitente y son transmitidos por MPR. Los mensajes de declaración de interfaz múltiple se transmiten para informar a las direcciones de la interfaz OLSR múltiple para publicidad. Son difundidos a través de la red por los llamados MPRs. Otro tipo de mensajes está soportado por la máquina y asociación de red (*Host Network Association, HNA*) que suministra la información de encaminamiento externo.

HNA notifica información acerca de la máscara de red y la red para OLSR puede supervisar el host para servir como la puerta de enlace para establecer las direcciones deseadas. HNA está destinado a ser una versión generalizada de la mensajería de control de la topología, pero este mensaje

puede compartir la información sobre el descarte de la ruta en la que la información HNA se elimina después de tiempo de espera.

En el protocolo OLSR, los nodos envían mensajes HELLO a sus nodos vecinos en intervalos predefinidos. Estos mensajes se envían para comprobar el estado de los enlaces entre los nodos. Suponga que el nodo A y B son vecinos, el nodo A envía el mensaje HELLO al nodo B. Si el nodo B recibe el mensaje, entonces se dice que el enlace es asimétrico. Lo mismo ocurre con el mensaje HELLO enviado desde el nodo B al nodo A. Cuando hay comunicaciones de dos vías, el enlace se dice que es simétrico. Una vez que se realizan las conexiones simétricas, un nodo selecciona un número mínimo de nodos MPR. Para seleccionar los MPRs en una red, cada nodo emite periódicamente una lista de su nodo vecino un salto mediante el uso del mensaje de bienvenida. Cada nodo selecciona un nodo vecino de salto del mensaje HELLO, cubriendo así a su nodo vecino de dos saltos. Los relés multipunto (MPRs) se muestran en la figura 2.11.

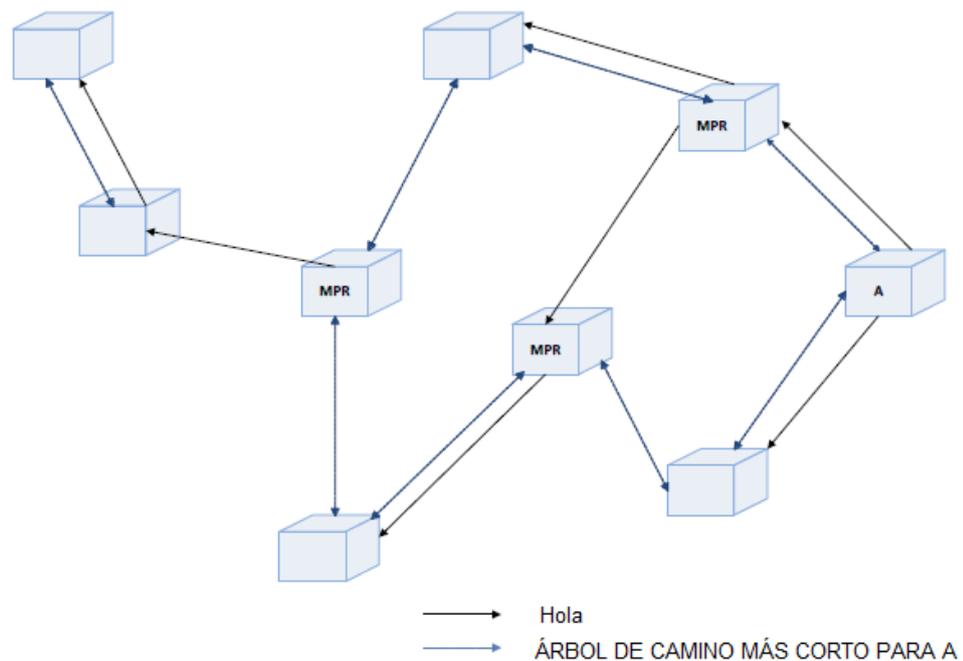


Figura 2. 11:Esquemático relé multipunto – MPR.

Fuente: (Patel, 2010)

Sólo MPR puede transmitir los paquetes, se utiliza la ruta entre la fuente y el destino ya construidos anteriormente. En OLSR, la tabla de enrutamiento se gestiona en cada nodo haciendo que la sobrecarga de enrutamiento para OLSR sea más alta en comparación con AODV y DSR. El siguiente ejemplo (véase las figuras 2.12 y 2.13) explica el funcionamiento del mensaje Hello para OLSR.

A → transmite B y C

C está conectado a A

B transmite a {A} → A, C, D y E sabe que B tiene como vecino A

D transmite a {B} → B tiene como vecino D

E transmite a {B} → F sabe que de E y el salto siguiente B

F transmite a {E} ahora C conoce de F

C transmite a {E} ahora C conoce de F

C transmite a {A, B, F} → A sabe que tiene como vecino C y el siguiente salto F.

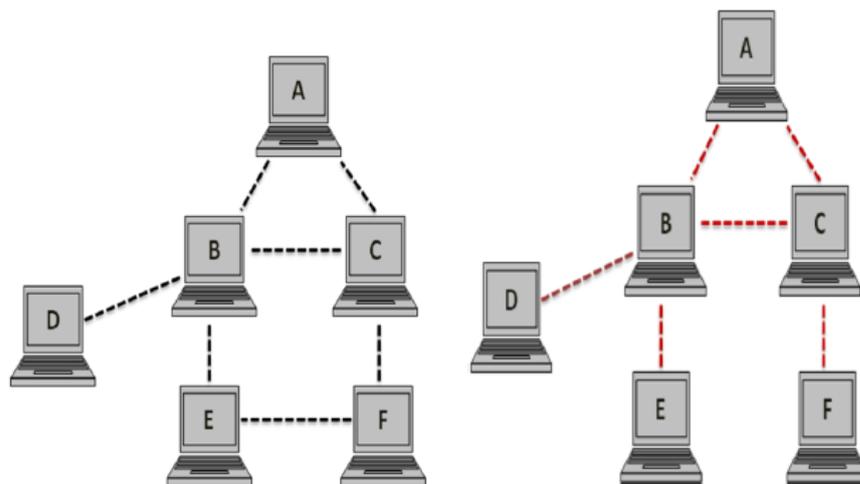


Figura 2. 12: Esquemático del mensaje Hello para el protocolo OLSR.  
Fuente: (Patel, 2010)

## Capítulo 3: Desarrollo y Evaluación.

### 3.1. Parámetros para evaluación del rendimiento de protocolos.

Existen diferentes tipos de parámetros para la evaluación del rendimiento de los protocolos de enrutamiento. Estos tienen comportamientos diferentes del rendimiento general de la red. Vamos a evaluar tres parámetros para la comparación de nuestro estudio sobre el rendimiento de la red en general. Los parámetros para la evaluación de protocolos son:

- a. retardo (delay),
- b. carga (load) de la red, y
- c. rendimiento (throughput).

Estos parámetros que se indican son importantes en la consideración de la evaluación de los protocolos de enrutamiento en una red de comunicación. Estos protocolos se deben comprobar contra ciertos parámetros para su funcionamiento. Para comprobar la eficacia del protocolo en la búsqueda de una ruta hacia el destino, buscaremos en la fuente cuánto controla los mensajes que envía. Proporciona la eficiencia del algoritmo interno del protocolo de enrutamiento. Si el protocolo de enrutamiento tiene mucho retardo extremo a extremo (end-to-end), por lo que probablemente este protocolo de enrutamiento no es eficiente en comparación con el protocolo que proporciona un bajo retardo end-to-end.

Del mismo modo un protocolo de enrutamiento que ofrece baja carga de la red se llama protocolo de enrutamiento eficiente. Lo mismo ocurre con el rendimiento, ya que representa las entregas exitosas de paquetes en el tiempo. Si un protocolo muestra un alto rendimiento, por lo que sería un protocolo eficiente y mejor que el protocolo de enrutamiento que tienen bajo

rendimiento. Estos parámetros tienen gran influencia en la selección de un protocolo de enrutamiento eficiente en cualquier red de comunicación.

### **3.1.1. Parámetro de retardo.**

El retardo de paquetes extremo a extremo, es el tiempo de generación de un paquete por la fuente (origen) hasta la recepción de destino. Así que este es el tiempo que un paquete toma para ir a través de la red. Este tiempo se expresa en segundos (s). Por lo tanto, todos los retardos en la red se denominan retardos de paquetes extremo a extremo, como las colas de búfer y el tiempo de transmisión. A veces, este retardo se puede llamar latencia; teniendo el mismo significado que el retardo.

Algunas aplicaciones son sensibles al retardo de paquetes, por ejemplo, la voz es una aplicación sensible al retardo. Así que la voz requiere un retardo medio bajo en la red. El protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*), es tolerante a ciertos niveles de retardos. Hay diferentes tipos de actividades debido a que el retardo de la red se incrementa. El retardo del paquete extremo a extremo, es una medida de cómo el sonido de un protocolo de enrutamiento se adapta a las diversas restricciones de la red para dar fiabilidad en el protocolo de enrutamiento.

Los retardos que vamos a ejecutar durante la simulación de los protocolos de enrutamiento, son:

- a. Retardo de procesamiento.
- b. Retardo de transmisión.
- c. Retardo de propagación.

A continuación, se muestra la ecuación para calcular el retardo extremo a extremo:

$$d_{ee} = d_{tx} + d_{prop} + d_{proc}$$

$d_{ee}$ , retardo extremo a extremo

$d_{tx}$ , retardo de transmisión

$d_{prop}$ , retardo de propagación

$d_{proc}$ , retardo de procesamiento

### 3.1.2. Parámetro de carga de la red.

La carga de red representa la carga total en bps enviado a las capas de red LAN inalámbrica por todas las capas superiores en todos los nodos WLAN de la red. Se toma el nombre de carga de la red, cuando hay más tráfico en la red, y es difícil de manejar todo este tráfico. La red eficiente puede hacer frente fácilmente con gran tráfico que ingresa y a su vez hacer una mejor red, para esto se introducen muchas técnicas. Una alta carga de red afecta a los paquetes de enrutamiento en redes inalámbricas móviles Ad-hoc y ralentiza la entrega de paquetes para llegar al canal, y como resultado el incremento de colisiones de estos paquetes de control. Por lo tanto, los paquetes de enrutamiento pueden tardar en estabilizarse.

### 3.1.3. Parámetro de rendimiento.

El rendimiento se define como, la relación de los datos totales que llegan a un receptor del remitente. El tiempo que toma el receptor para recibir el último mensaje se denomina rendimiento. El rendimiento, se expresa como bytes o bits por segundo (bps). Algunos factores afectan el rendimiento, tales como, si hay muchos cambios topológicos en la red, comunicaciones poco fiables entre nodos, ancho de banda limitado disponible y energía limitada. Un alto rendimiento es la opción absoluta en cada red. El rendimiento se puede representar matemáticamente como:

$$r = \frac{\# \text{ de paquetes entregados} \times \text{tamaño del paquete} \times 8}{\text{tiempo de simulación}}$$

### **3.2. Diseño de red inalámbrica móvil Ad-hoc.**

En esta sección se desarrollan los tres escenarios de simulación de una red inalámbrica móvil Ad-hoc utilizando protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos. El entorno de simulación de cada escenario es de 20, 40 y 80 nodos móviles. El tiempo de ejecución de todas las simulaciones es de 4 minutos. Se toma la configuración de tráfico del protocolo de transferencia de archivos para el análisis de efectos en los protocolos de encaminamiento. Los nodos móviles de la red tienen velocidad de datos de 11 Mbps.

#### **3.2.1. Escenario 1: Red Ad-hoc de 20 nodos móviles.**

En este primer escenario se utiliza 20 nodos móviles y un servidor WLAN fijo. El área de cobertura de la red es de 1000x1000 m. Se utiliza la asignación de direccionamiento IPv4 a todos los nodos. El protocolo de transferencia de archivos (FTP) fue seleccionado como tráfico de alta carga. El primer escenario se muestra en la figura 3.1. Adicionalmente, esta simulación es configurada con tres protocolos de enrutamiento, tales como: AODV, DSR y OLSR, para obtener las métricas de retardo, carga y rendimiento de la red.

#### **3.2.2. Escenario 2: Red Ad-hoc de 40 nodos móviles.**

El segundo escenario de red Ad-hoc consta de 40 nodos móviles. Todos los atributos del escenario 1, permanecen iguales excepto que el número de nodos se incrementó. Se vuelven a ejecutar los mismos protocolos de enrutamiento con los mismos parámetros. En la figura 3.2 se muestra el segundo escenario de simulación de la red Ad-hoc.



Figura 3. 1: Simulación red ad-hoc de 25 nodos móviles.  
Elaborado por: El Autor

### 3.2.3. Escenario 3: Red Ad-hoc de 80 nodos móviles.

Finalmente, en este escenario se incrementa el doble del anterior, es decir, se utiliza 80 nodos móviles. El mismo procedimiento de los dos escenarios anteriores se utilizará para este escenario. Todos los pasos siguen siendo los mismos sólo el número de nodos se incrementaron. La razón del aumento de los nodos móviles, es que podemos tener una mirada profunda en el rendimiento de los protocolos de enrutamiento. En la figura 3.3 se muestra el tercer escenario de simulación.

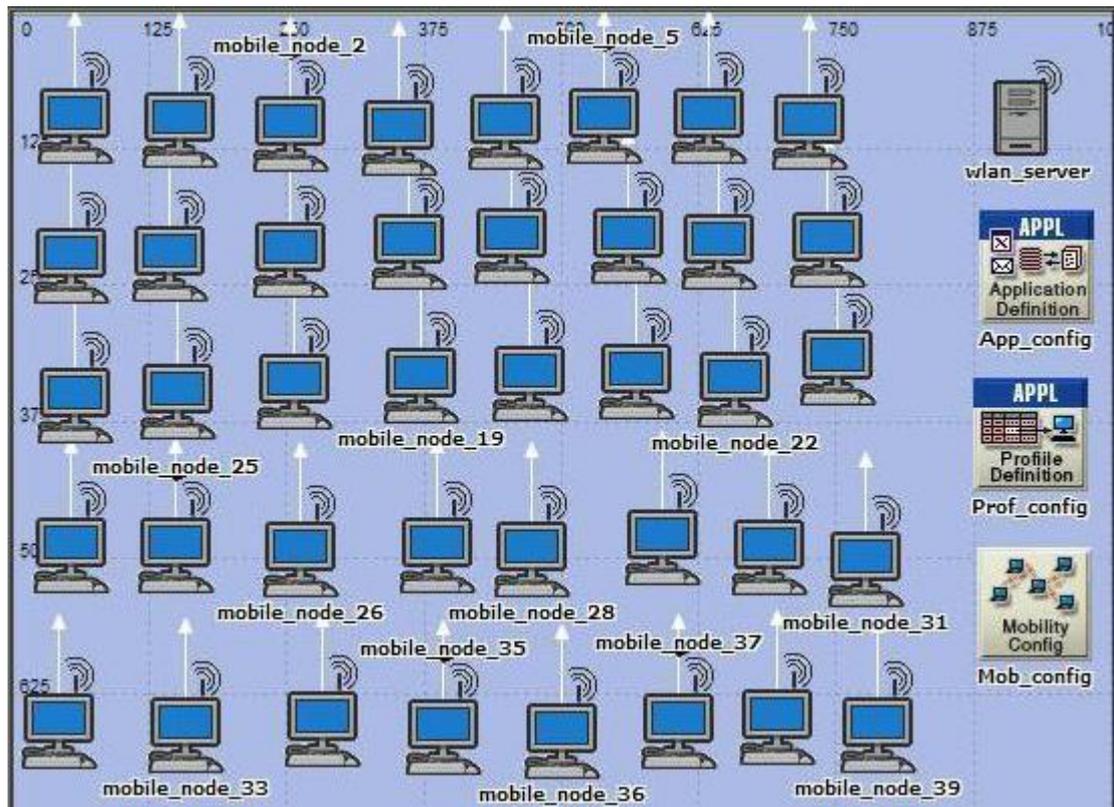


Figura 3. 2: Simulación red ad-hoc de 40 nodos móviles.  
Elaborado por: El Autor

### 3.3. Resultados obtenidos.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para una red inalámbrica móvil Ad-hoc con cada escenario de 20, 40 y 80 nodos móviles.

#### 3.3.1. Aplicación del protocolo AODV para escenario 1.

Se realiza la ejecución de la simulación para el primer escenario de la red inalámbrica móvil Ad-hoc con 20 nodos móviles utilizando el protocolo AODV. Se configura el escenario, para obtener tres parámetros ya explicados en la sección 3.1, tales como retardo, carga y rendimiento de la red.

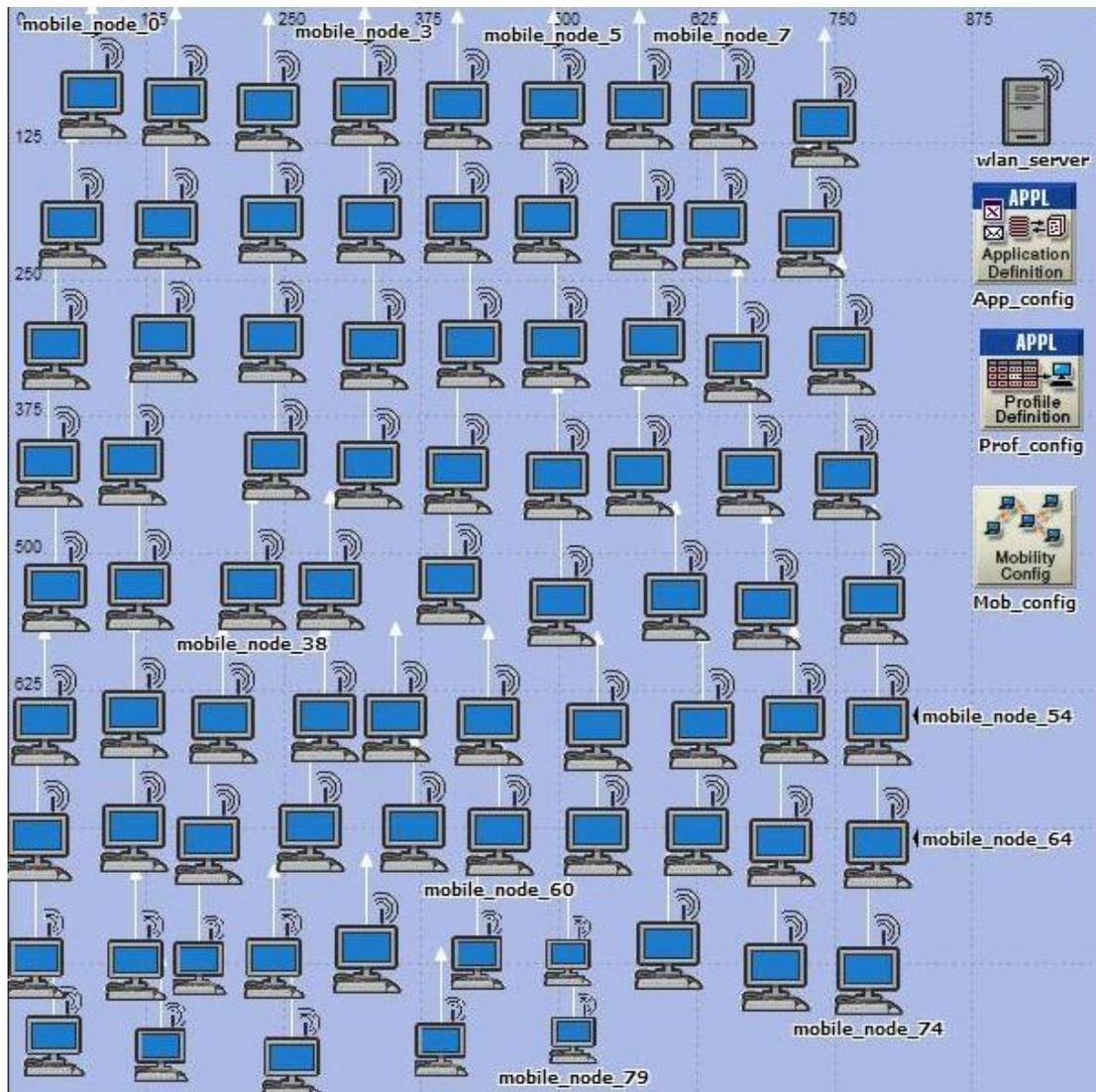


Figura 3. 3: Simulación red ad-hoc de 40 nodos móviles.  
Elaborado por: El Autor

El primer escenario al finalizar la ejecución, se obtiene los resultados requeridos tal como se muestran en la figura 3.4. Las gráficas nos muestran el tiempo promedio. En la gráfica superior, se muestra el retardo (s). En esta gráfica superior se observa el retardo promedio máximo de 22 ms. Este valor disminuye gradualmente hasta 1 ms y alcanza un valor constante de 0.8 ms. Este valor permanece constante después de algunos minutos.

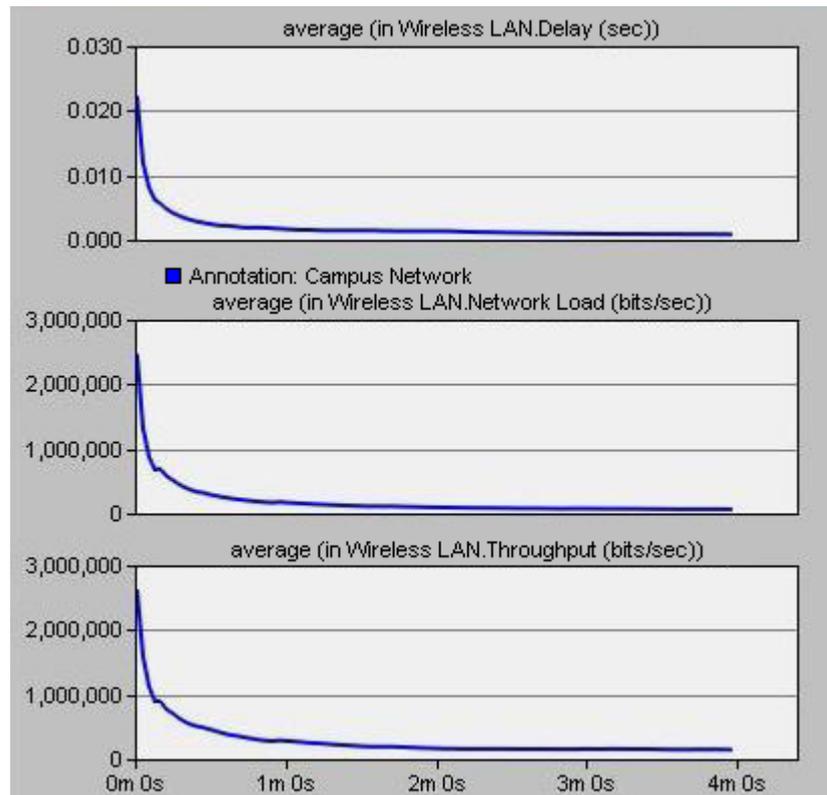


Figura 3. 4: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo AODV.  
Elaborado por: El Autor

La gráfica intermedia de la figura 3.4 muestra la carga de red para 20 nodos móviles. El valor máximo de carga de la red es 2.476Mbps. Después de este valor el gráfico cae gradualmente a un valor constante, pero con ligeros cambios a un valor de 75.38kbps. Para el tiempo de 237 s, el último valor de la carga de la red es 64 kbps. La última gráfica es el rendimiento del protocolo AODV, en el cual el eje x representa el tiempo en minutos y el eje y representa la velocidad de datos en bps. El valor máximo del rendimiento es 2.633 Mbps. Este rendimiento se reduce gradualmente a 280.09 kbps después de un minuto. El rendimiento sigue cambiando y su último valor fue de 145.07 kbps.

### 3.3.2. Aplicación del protocolo DSR para escenario 1.

En la figura 3.5 se muestran los resultados obtenidos para el protocolo DSR. Se utilizan las mismas configuraciones de la sección 3.3.1, es decir, el mismo número de nodos móviles 20, un servidor fijo WLAN, y el protocolo de origen dinámico fue ejecutado para medir tres parámetros como el retardo, carga de la red y rendimiento. La gráfica superior de la figura 3.5 muestra el retardo de la red. El valor máximo del retardo de red es 23.8 ms. Una caída repentina de 16 ms de retardo ocurre durante el tiempo 4,8 s de ejecución, y después de eso ocurre un ligero cambio y el retardo de 5.9 ms permanece constante a partir de 3.15 minutos de transcurrida la ejecución.

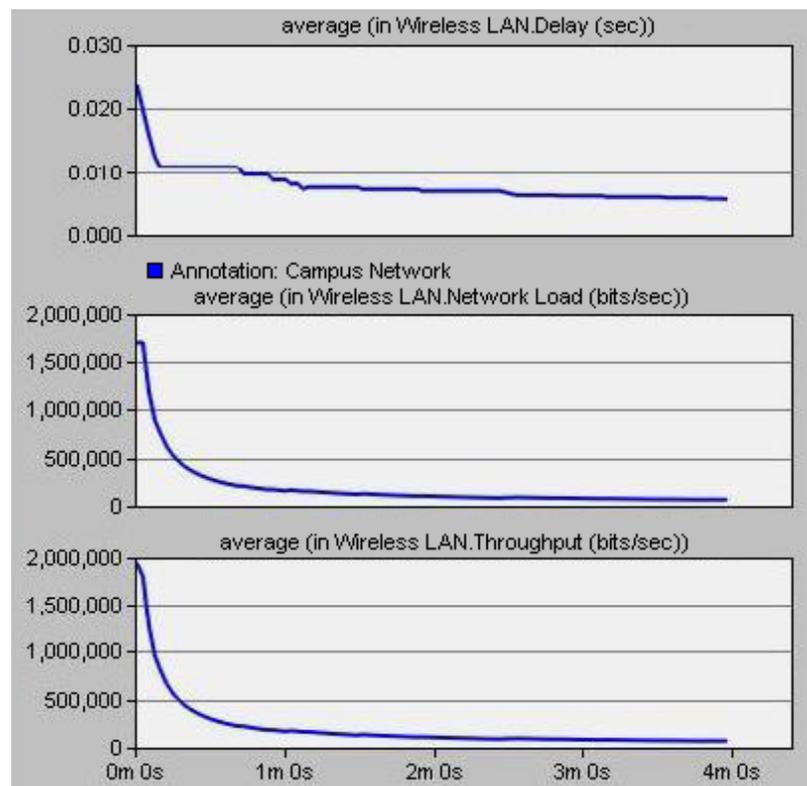


Figura 3. 5: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo DSR.

Elaborado por: El Autor

En la gráfica intermedia de la figura 3.5 se muestra la carga de la red. El valor máximo de la carga de red es 1.71 Mbps. La carga de red se reduce gradualmente a 79.782 kbps y el último valor en 3.95 minutos es 67.615 kbps. En la gráfica inferior de la figura 3.5 corresponde a la métrica del rendimiento. El valor máximo de rendimiento es 1.95 Mbps. Los valores de rendimiento bajan gradualmente a 169.46 kbps y permanecen constantes a 79.95kbps. El último valor del rendimiento después de 4 minutos de ejecución fue 69.09 kbps.

### 3.3.3. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 1.

Las siguientes gráficas (ver figura 3.6) muestran los resultados de las métricas de retardo, carga y rendimiento de la red utilizando el protocolo OLSR. El número de nodos móviles se mantuvo en 20 y también el servidor fijo WLAN.

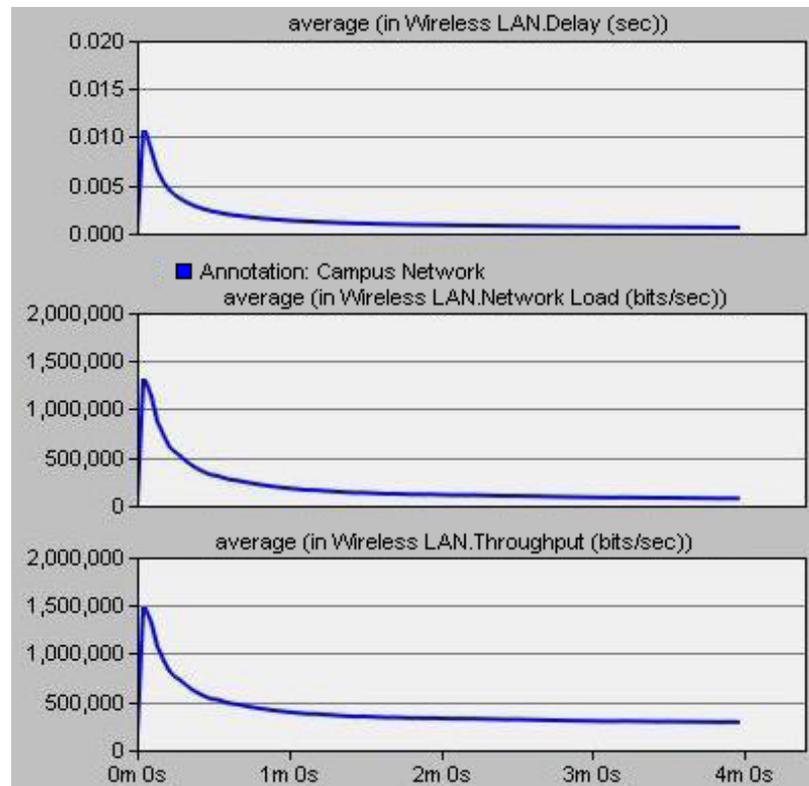


Figura 3. 6: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el primer escenario utilizando protocolo OLSR.

Elaborado por: El Autor

En la gráfica superior de la figura 3.6 nos muestra el retardo de la red. El primer retardo pico está en 10.8 ms. Después de algún tiempo el gráfico de retardo cae a un valor de 1 ms, y el último valor de retardo es 0.6ms. Al comparar este valor con los dos protocolos de enrutamiento, se encontró que el retardo OLSR es muy bajo. Es decir, que el protocolo OLSR está dando un retardo menor en comparación con los protocolos AODV y DSR.

La carga de la red se muestra en la gráfica intermedia de la figura 3.6. El primer valor máximo de la carga de la red es 1.312 Mbps. El valor de carga de red disminuye gradualmente hasta 107.69 kbps. El último valor de la carga de red es 75.95 kbps. El gráfico inferior de la figura 3.6, es la métrica del rendimiento del protocolo OLSR para 20 nodos móviles. El valor máximo del rendimiento es 1.49 Mbps, posteriormente, este valor disminuye gradualmente hasta 329.62kbps y el último valor del rendimiento es 291.52 kbps.

#### **3.3.4. Aplicación del protocolo AODV para escenario 2.**

El rendimiento del protocolo AODV se comprobará incrementando el número de nodos móviles, es decir, que los nodos móviles serán 40. Las métricas siguen siendo las mismas que los escenarios anteriores, es decir, retardo, carga y rendimiento de la red. En la gráfica superior de la figura 3.7 se muestra el retardo de los 40 nodos móviles utilizando el protocolo AODV. La diferencia en el gráfico se puede ver claramente, que cuando el número de nodos móviles aumenta el retardo se incrementa. El valor máximo del retardo es 33.7 ms, después este retardo se reduce gradualmente hasta 3.1 ms y el último valor de retardo es 2.7 ms.

El gráfico intermedio de la figura 3.7 corresponde a la carga de la red utilizando el protocolo AODV, se puede observar la diferencia en comparación con 20 nodos móviles. El valor máximo de carga de la red es

3.061 Mbps, y su valor después se reduce gradualmente a un valor de 166.98kbps. El último valor de la carga de la red 113.62 kbps. Mientras, que en la gráfica inferior de la figura 3.7 muestra el rendimiento pico de 3.54 Mbps del protocolo AODV.

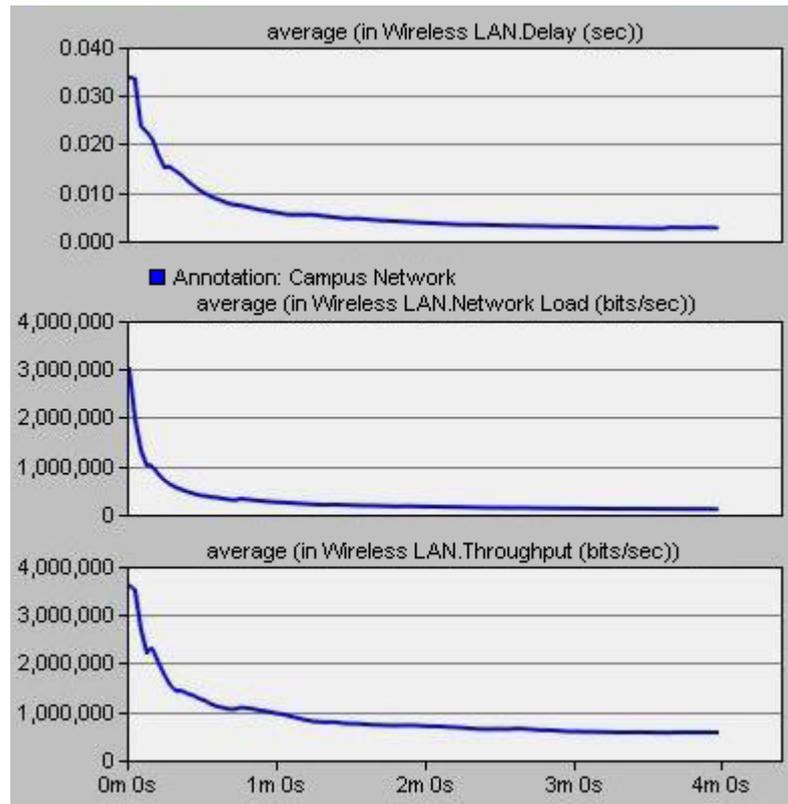


Figura 3. 7: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo AODV.

Elaborado por: El Autor

### 3.3.5. Aplicación del protocolo DSR para escenario 2.

El rendimiento del protocolo DSR se ejecutará incrementando el número de nodos móviles a 40 y un solo servidor fijo WLAN. Como en los demás escenarios las métricas que se obtienen a partir de la ejecución de la simulación del protocolo DSR son: retardo, carga y rendimiento de la red. En la figura 3.8 se muestran las gráficas los tres parámetros. La primera gráfica muestra el retardo, la diferencia en el retardo se puede ver claramente con

respecto a la figura 3.5 que para 20 nodos móviles el retardo era bajo, como 23.8 ms, y aquí el retardo se incrementa llegando al valor de 64.7 ms, por lo tanto, la diferencia en el retardo es clara. Este incremento en el retardo se debe a que los datos pasan a más nodos móviles a su destino, provocando así mayor retardo.

En la misma figura 3.8 el gráfico intermedio muestra la carga de la red, en la que la misma se incrementa debido al número creciente de nodos móviles. El valor pico de la carga de la red para 20 nodos móviles fue de 1.71Mbps (véase figura 3.5), y el valor máximo de la carga de la red cuando el número de nodos móviles aumentó a 40, es de 3.09 Mbps. La diferencia en la carga máxima de la red de ambos escenarios se puede ver claramente. La carga de la red en 40 nodos móviles es mayor que para 20 nodos móviles. El rendimiento puede verse también en la misma figura 3.8, el valor máximo del rendimiento para 40 nodos móviles fue 4.52 Mbps. Finalmente, cuando el retardo de red es bajo, el rendimiento de la red será alto.

### **3.3.6. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 2.**

En este escenario el número de nodos móviles se incrementan a 40 y se mantiene el servidor fijo WLAN. La figura 3.9 muestra las métricas obtenidas durante los 4 minutos de simulación del protocolo OLSR. La gráfica superior de la figura 3.9 muestra el retardo, que se observan cambios muy pequeños en comparación con el primer escenario cuyo número de nodos eran 20. Es decir, que para cuando se tenía 20 nodos móviles, el valor del retardo pico fue 10.8 ms; para 40 nodos móviles el retardo pico es 13.8 ms. En consecuencia, existen cambios muy ligeros en el retardo después de 4 minutos de ejecución.

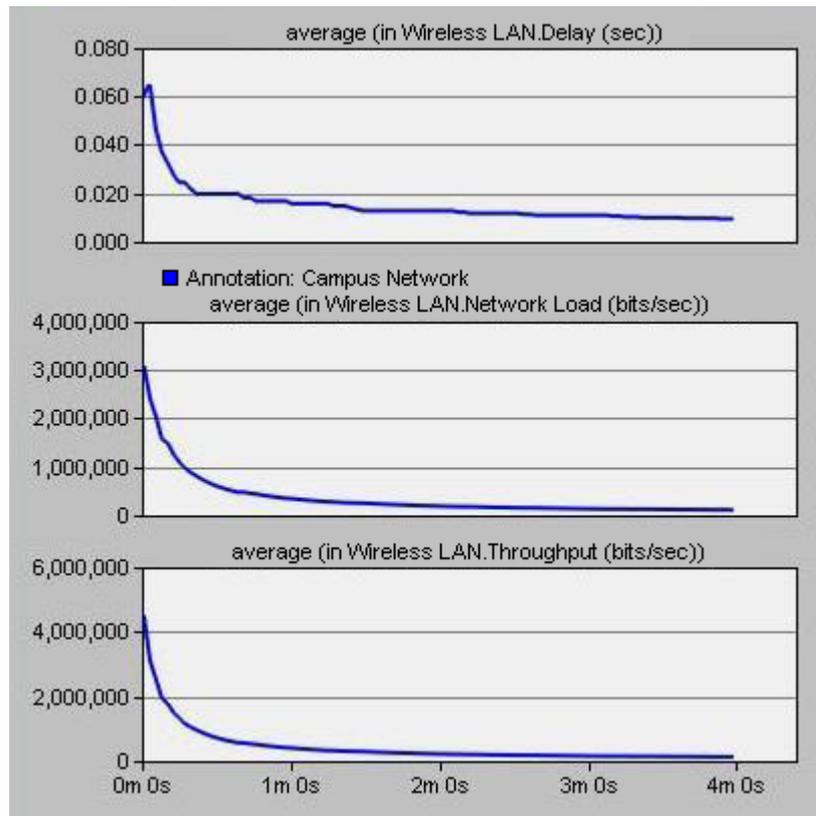


Figura 3. 8: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo DSR.  
Elaborado por: El Autor

La gráfica intermedia de la figura 3.9 muestra la carga de la red, en el cual el valor máximo de la carga de la red de 40 nodos móviles es 2.03 Mbps. Si comparamos este valor con la carga de la red para 20 nodos móviles que fue de 1.31 Mbps, este cambio obedece al incremento del número de nodos móviles, ya que los datos tienen que pasar a más nodos móviles a su destino. En consecuencia, al incrementarse el número de nodos móviles, la carga de la red también aumenta.

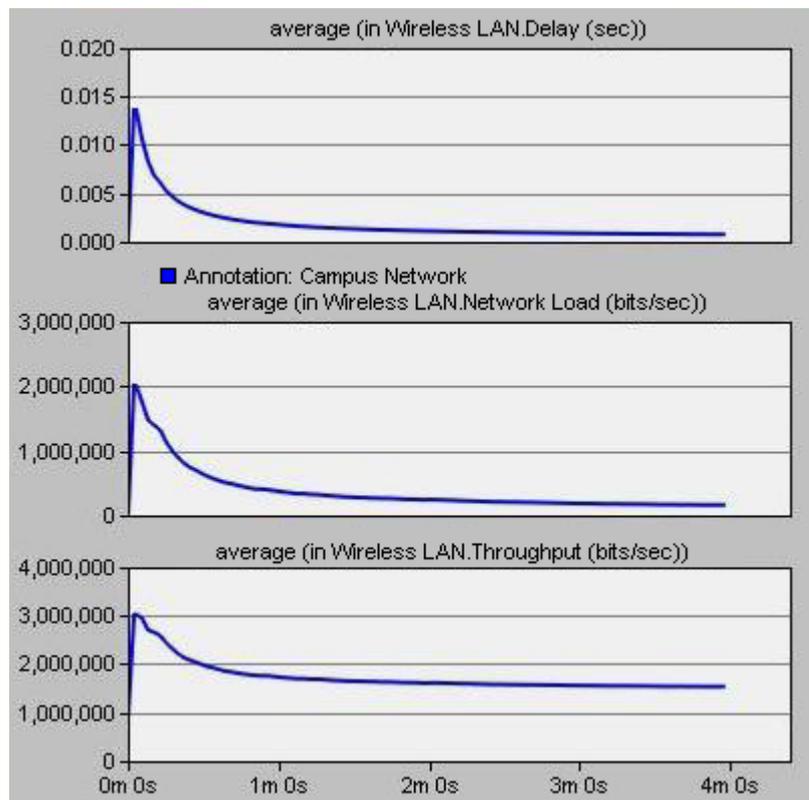


Figura 3. 9: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el segundo escenario utilizando protocolo OLSR.

Elaborado por: El Autor

La ultimagráfica de la figura 3.9 muestra el rendimiento de la red utilizando el protocolo OLSR. El valor pico del rendimiento para 40 nodos móviles es 3.03 Mbps. El valor pico del rendimiento para 20 nodos móviles fue 1.49 Mbps. La diferencia se produce por el incremento de nodos móviles, y esto provoca, que el retardo y rendimiento de la red se incremente.

### 3.3.7. Aplicación del protocolo AODV para escenario 3.

En la gráfica superior de la figura 3.10 se muestra el retardo de la red para el protocolo AODV utilizando 80 nodos móviles. Las gráficas intermedia e inferior muestran la carga y rendimiento de la red utilizando el protocolo AODV. El valor pico de retardo para 80 nodos móviles es 113.7 ms, mientras que el valor pico de retardo para 20 y 40 nodos móviles fueron 22.3 ms y

33.7 ms, respectivamente. La diferencia puede verse claramente a partir de los valores pico dados, es decir, que el valor de retardo para 80 nodos móviles es alto en comparación con 20 y 40 nodos móviles.

El retardo para el protocolo AODV disminuye gradualmente y alcanza un valor de 4.6 ms después de 4 minutos de ejecución de la red. La razón del porque se incrementa el retardo, es que cuando se incrementa el número de nodos móviles, entonces los datos necesitan más tiempo para entregar al destino específico. Concluyendo, los datos tienen que pasar por muchos más nodos móviles que ocasionan mayor retardo.

La gráfica intermedia de la figura 3.10 muestra la carga de la red, el valor pico de la carga es 3.252 Mbps. Mientras, que los valores pico de carga de la red cuando se tienen 20 y 40 nodos móviles, fueron 2.48 Mbps y 3.06 Mbps, respectivamente. La gráfica inferior (véase figura 3.10) muestra el rendimiento de la red, para lo cual el valor pico para 80 nodos móviles fue 7.76 Mbps. A continuación, el valor pico del rendimiento para cuando se tienen 20 y 40 nodos móviles, fueron 2.63 Mbps y 3.63 Mbps, respectivamente. La diferencia puede observarse a partir de los valores pico dados para 20, 40 y 80 nodos móviles. El último valor del rendimiento de la red utilizando el protocolo AODV después de 4 minutos de ejecutar la simulación fue 2.38 Mbps.

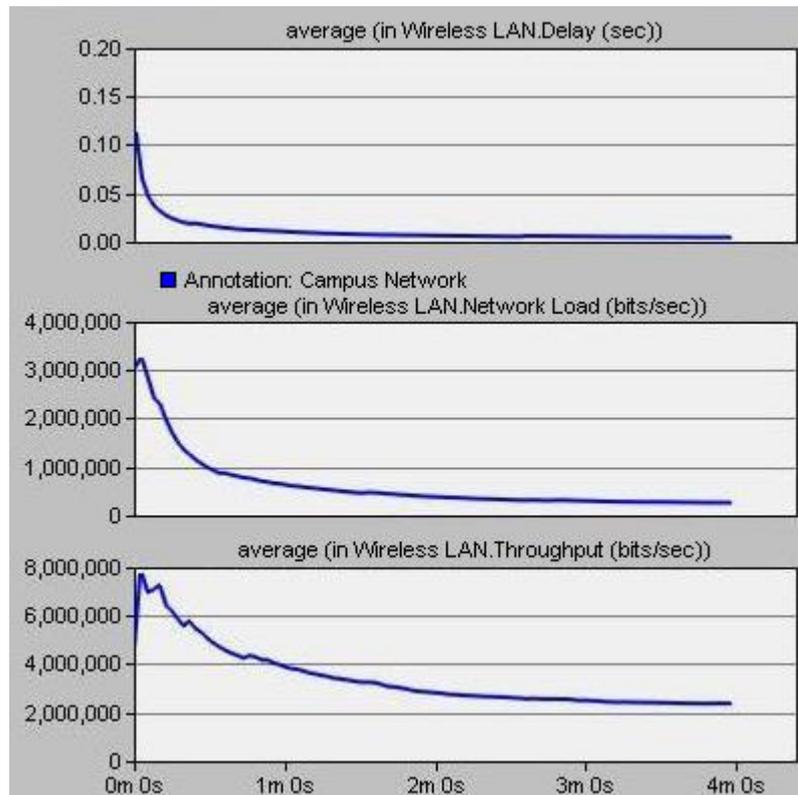


Figura 3. 10: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo AODV.  
Elaborado por: El Autor

### 3.3.8. Aplicación del protocolo DSR para escenario 3.

En la figura 3.11 se muestran las métricas del retardo, carga y rendimiento de la red utilizando el protocolo DSR. Los cambios pueden verse en cada gráfico de las métricas ya descritas. En la gráfica superior se muestra el retardo con su valor máximo de 15.3 ms, mientras que la carga de la red es 2.78 Mbps, y finalmente, el rendimiento de la red es 1.29 Mbps. Podemos concluir, que la carga de la red desempeña un papel vital en la escalabilidad de los protocolos de enrutamiento en redes inalámbricas móviles Ad-hoc (MANET). Una alta carga de red afecta a los paquetes de control de enrutamiento MANET y ralentiza la entrega compitiendo por el acceso al canal, y resulta en el aumento de las colisiones de estos paquetes de control. Por lo tanto, los paquetes de enrutamiento pueden tardar en estabilizarse.

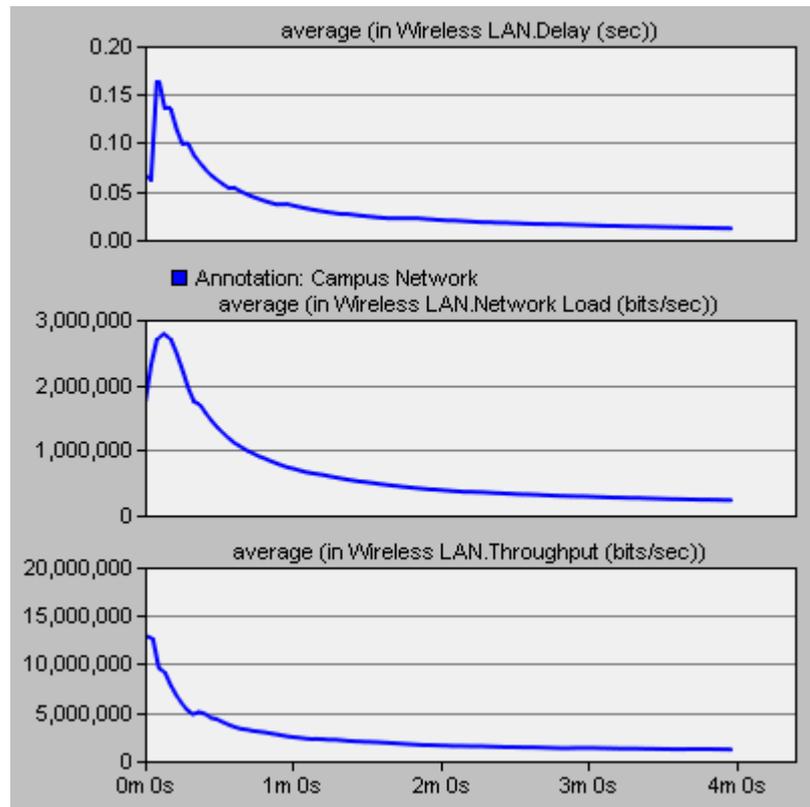


Figura 3. 11: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo DSR.  
Elaborado por: El Autor

### 3.3.9. Aplicación del protocolo OLSR para escenario 3.

En la figura 3.12 se muestran las gráficas de cada una de las métricas de retardo, carga y rendimiento de la red, obtenidas durante 4 minutos de ejecución de la simulación del protocolo OLSR. De los resultados obtenidos, tenemos que, el valor máximo de retardo es 15.3 ms, aunque la gráfica disminuye gradualmente hasta llegar a un valor de 2 ms y el último valor de retardo fue 1 ms. Comparando los valores de retardo para 20 y 40 nodos móviles que son 10.8 ms y 13.8 ms, respectivamente, vemos que la diferencia es clara a partir de los valores dados. Finalmente, los valores máximos de carga y rendimiento de la red fueron 2.78 Mbps y 11.02 Mbps, respectivamente.

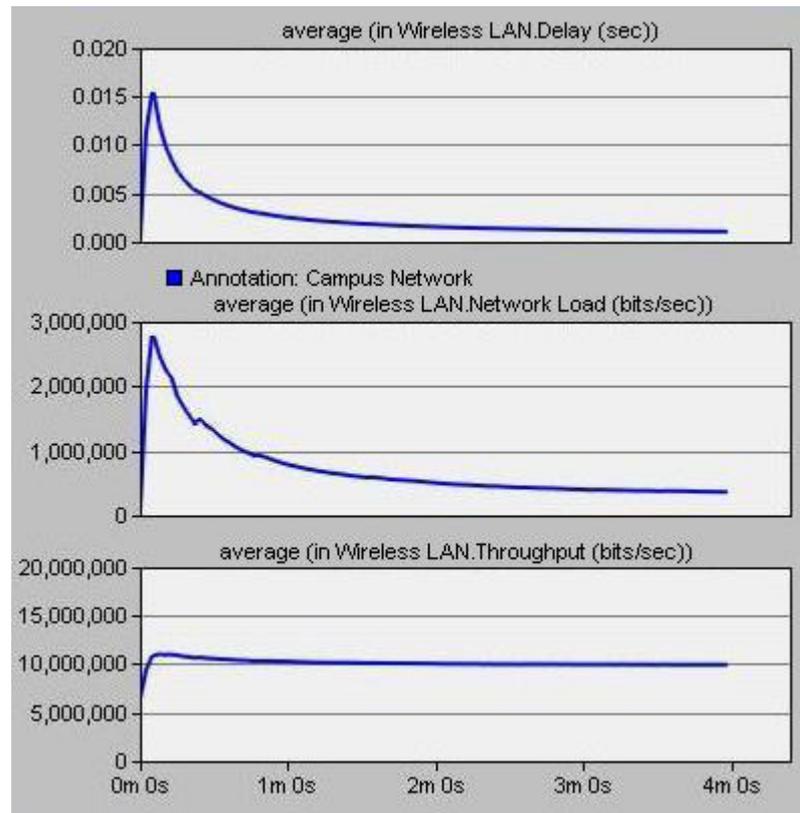


Figura 3. 12: Gráficas de retardo, carga y rendimiento de la red para el tercer escenario utilizando protocolo OLSR.

Elaborado por: El Autor

### 3.4. Análisis comparativo entre los protocolos de enrutamiento.

Las figuras obtenidas desde la sección 3.3.1 hasta la sección 3.3.3, podemos ver los comportamientos de los protocolos de enrutamiento para 20 nodos móviles y los valores promedios de las métricas, de retardo, carga y rendimiento de la red. El protocolo OLSR tiene el mejor rendimiento en todos los parámetros, es decir, el retardo, carga y rendimiento de la red. El retardo para el protocolo OLSR es el más bajo, en comparación con los protocolos AODV y DSR, de tal manera que en última instancia el rendimiento será alto. OLSR ofrecen baja carga en la red en relación a los otros dos protocolos, lo que significa que es el mejor en la carga de la red para 20 nodos móviles.

Las figuras obtenidas desde la sección 3.3.4 hasta la sección 3.3.6, podemos ver los comportamientos de los protocolos de enrutamiento para 40 nodos móviles y los valores promedios de las métricas, de retardo, carga y rendimiento de la red. Nuevamente, el protocolo OLSR es el mejor en el retardo y el rendimiento. Los valores promedios se toman de las gráficas (véase figura 3.7, 3.8 y 3.9) para comprobar el comportamiento de todos los protocolos de enrutamiento. El protocolo AODV tiene una baja carga en la red en comparación con los protocolos OLSR y DSR. En este escenario, el protocolo OLSR tiene baja carga de la red en comparación con el protocolo DSR.

En el último escenario, el protocolo OLSR vuelve a mostrar los mejores resultados en términos de retardo y rendimiento de la red para 80 nodos móviles. Mientras que la carga de la red para el protocolo AODV está mostrando mejores resultados en comparación con los protocolos DSR y OLSR. Finalmente, si comparamos los protocolos OLSR y DSR para la carga de la red, el protocolo DSR está poniendo carga baja en la red contra el protocolo OLSR.

## Conclusiones

1. Nuestro informe de tesis 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 arena 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 la misma, por ejemplo, en el caso de las redes móviles Ad-hoc, los protocolos de enrutamiento deben estar libres de bucles según nuestra investigación.
3. Se ha analizado de forma categórica que existen dos categorías de protocolos de enrutamiento utilizados en las redes móviles Ad-hoc que son protocolos de enrutamiento reactivos y protocolos de enrutamiento proactivos, ambas categorías tienen su propio uso, por lo que la selección de estas categorías en redes Ad-hoc es muy importante
4. El protocolo OLSR supera a los dos protocolos AODV y DSR en términos de retardo, carga y rendimiento de la red para 20 nodos móviles. Después, se incrementa a 40 nodos móviles y nuevamente, OLSR funciona bien en relación a los protocolos AODV y DSR, ya sea en el retardo y rendimiento de la red. Salvo que AODV tiene baja carga de red en relación a los protocolos OLSR y DSR. Finalmente, si el número de nodos se incrementa a 80, OLSR muestra de nuevo buenos resultados en retardo y rendimiento con respecto a AODV y DSR. AODV

nuevamente vuelve a ofrecer buenos resultados de carga de la red contra los parámetros OLSR y DSR

5. Claramente el protocolo OLSR muestra resultados sobresalientes en el retardo y el rendimiento, mientras que AODV funciona bien en la carga de la red. La carga de red alta afecta a los paquetes de control de enrutamiento MANET. Finalmente, se puede concluir que se cumple la hipótesis planteada al inicio, que el protocolo OLSR sería adecuado para la MANET.

## **Recomendaciones**

1. Modificar el trabajo de examen complejo utilizando otros protocolos de enrutamiento y de seguridad en una red MANET.
2. Desarrollar aplicaciones de sistemas de telecomunicaciones utilizando herramientas robustas de simulación, tales como, OMNeT, Opnet, Simulink, MatLab y LabView.

## Bibliografía

- Cuesta R., F. (2012). *Implementación del protocolo de encaminamiento AeroRP en el simulador de redes EXata*. Universidad de Sevilla.
- Doumenc, H. (2008). *Estudio comparativo de protocolos de encaminamiento en redes VANET*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Esparza D., R. (2015). *Estudio del desempeño del protocolo DSDV en una red Ad-hoc mediante un simulador de eventos discretos*. Instituto Politécnico Nacional.
- Hidalgo Pastor, F. J. (2008). *Estudio de viabilidad de la utilización de redes inalámbricas Ad-Hoc en edificios departamentales*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Jiménez, G., López, D., & Pedraza, L. F. (2012). Simulación y análisis de desempeño de protocolos unicast para Redes VANET. *Redalyc*, 16(31), 66–75.
- Kamboj, S., & Chawla, S. (2014). Geocast Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), 5365–5370.
- Leyton G., J. (2013). *Estudio y simulación de los protocolos de enrutamiento más utilizados en redes VANETs*. Universidad Católica de Pereira.
- Mohan, V., & Kasiviswanath, N. (2011). Routing Protocols for Wireless Mesh Networks. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(8). Retrieved from <http://www.ijser.org>
- Patel, R. B. (2010). Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV).
- Roldán Gordillo, A. (2016). *Simulación de protocolos de broadcast*

*probabilísticos para la mejora del proceso de descubrimiento de los protocolos de encaminamiento para redes móviles ad hoc.* Universidad de Sevilla.

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Chamba Macas, Fernando Vinicio**, con C.C: # 171020589-7 autor del trabajo de titulación: Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc, 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, 2 de junio del 2017

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

Nombre: **Chamba Macas, Fernando Vinicio**

C.C: **171020589-7**

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc		
<b>AUTOR(ES)</b>	Chamba Macas, Fernando Vinicio		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Luis Córdova Rivadeneira; MSc. Néstor Zamora Cedeño / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	02 de junio de 2017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	64
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Comunicaciones Inalámbricas, Gestión de Redes de Computadoras y Telecomunicaciones.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Protocolos, Enrutamiento, AODV, DSR, OLSR, Métricas.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente trabajo de examen complejo se encarga de modelar redes inalámbricas móviles Ad-hoc, también conocidas como MANETs utilizando protocolos de enrutamiento o encaminamiento reactivos y proactivos. Para ello, se describe los fundamentos teóricos de redes MANETs y sus respectivos protocolos de enrutamiento. La herramienta de simulación escogida fue Opnet, cuyo programa permite modelar diferentes redes de comunicaciones y realizar mediciones de rendimiento, retardo y carga de la red. Posteriormente, se realiza el diseño de una red inalámbrica móvil Ad-hoc con diferentes escenarios, cuya variante está en el número de nodos móviles, que son 20, 40 y 80 para cada escenario. Después, se realiza la ejecución de las simulaciones durante 240 segundos. Finalmente, se realiza el análisis de las métricas de retardo, carga y rendimiento de la red para los tres escenarios utilizando los protocolos AODV, DSR y OLSR. Finalmente, el protocolo OLSR resulta ser el mejor en relación a los protocolos AODV y DSR.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0986722313	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:e.amaguaya@hotmail.com">e.amaguaya@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> 0994606932		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec</a> / <a href="mailto:mromeropaz@yahoo.com">mromeropaz@yahoo.com</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			