



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE ROUTING EN REDES MANETS MEDIANTE UNA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”**

**MÓNICA FERNANDA VIMOS REINOSO**

Trabajo de titulación modalidad: Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

Riobamba - Ecuador

Febrero 2019



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE ROUTING EN REDES MANETS MEDIANTE UNA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS”, de responsabilidad de la Srta. Mónica Fernanda Vimos Reinoso, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

**Lic. Pepita Ivonne Alarcón Parra. M.Sc**  
**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

**Ing. Diego Fernando Veloz Chérrez.M.Sc**  
**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

**Ing. Alberto Leopoldo Arellano**  
**Aucancela.M.Sc**  
**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

**Ing. Oswaldo Geovanny Martínez**  
**Guashima.M.Sc**  
**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

Riobamba, Febrero 2019

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Mónica Fernanda Vimos Reinoso soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**MÓNICA FERNANDA VIMOS REINOSO**

No. Cédula 060511431-3

©2019, Mónica Fernanda Vimos Reinoso

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Mónica Fernanda Vimos Reinoso, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de titulación de Maestría.

---

MÓNICA FERNANDA VIMOS REINOSO

No. Cédula 060511431-3

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser el autor de mis días.

A mi mamá Anita, quien es la mayor bendición en mi vida, por su esfuerzo, dedicación e incondicional apoyo; por ser la fuente del amor inagotable que permanece a mi lado para socorrerme en los momentos más difíciles, por sus palabras de aliento y cariño que me han permitido ser constante y continuar en el camino siempre hacia adelante, por ser mi ejemplo y mi guía no hay detalle que pueda superar mi deuda con ella.

A mis ángeles guardianes mami Anita y David, quienes transitan conmigo por el camino correcto y jamás soltarán mi mano.

A mi familia por su voz de aliento, cariño fraterno y grata compañía, por sus enseñanzas de constancia y humildad.

A Roberto, por constituirse en mi apoyo, mejor amigo, cómplice y novio, por su confianza y motivación a dar siempre lo mejor de mí y a saber que no existen límites cuando de alcanzar los sueños se trata.

**Ing. Mónica Fernanda Vimos Reinoso**

## **AGRADECIMIENTO**

A la ESPOCH, representada por el grupo de profesionales que laboran como docentes del IPEC, por aportar constantemente en la formación personal y académica de sus maestrantes.

Al Ing. Diego Veloz, Director de esta investigación y a los Ingenieros: Alberto Arellano y Oswaldo Martínez Asesores, por dedicar su valioso tiempo para el buen desarrollo de este trabajo, además de brindarme su orientación, don de gente y confianza.

A todas y cada una de las personas con quienes compartimos placenteros fines de semana en busca del aprendizaje.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xix
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Problema de Investigación.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1.1. Planteamiento del Problema.....</i>	<i>1</i>
<b>1.2. Formulación del Problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Preguntas Directrices .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Justificación de la Investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<i>1.5.1. Objetivo General .....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>4</i>
<b>1.6. Hipótesis General .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Estado del Arte .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Redes Inalámbricas .....</b>	<b>11</b>
<i>2.2.1. Ventajas de Redes Inalámbricas .....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2. Desventajas de Redes Inalámbricas .....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.3. Tipos de Redes Inalámbricas .....</i>	<i>12</i>
<b>2.3. Red Manet.....</b>	<b>13</b>
<i>2.3.1. Características de la Red Manet .....</i>	<i>14</i>
<i>2.3.2. Restricciones en Manets .....</i>	<i>14</i>
<i>2.3.3. Aplicaciones de la Red Manet.....</i>	<i>15</i>
<b>2.4. Algoritmos de Routing AD-HOC.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5. Protocolos de Enrutamiento.....</b>	<b>16</b>
<i>2.5.1. Reactivos (On Demand) .....</i>	<i>16</i>



2.5.1.1. <i>Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Protocol (AODV)</i> .....	17
2.5.1.2. <i>Dynamic source routing (DSR)</i> .....	19
2.5.1.3. <i>Temporally Ordered Routing (TORA)</i> .....	21
<b>2.5.2. Proactivos (Table Driven)</b> .....	23
2.5.2.1. <i>Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)</i> .....	23
2.5.2.2. <i>Optimized Link State Routing (OLSR)</i> .....	24
2.5.2.3. <i>Loop-avoiding distance-vector (BABEL)</i> .....	26
2.5.2.4. <i>Geographic Routing Protocols (GRP)</i> .....	27
2.5.2.5. <i>Better Approach To Mobile Ad-Hoc Networking (BATMAN)</i> .....	28
<b>2.6. Métricas de Enrutamiento</b> .....	29
<b>2.7. Video Streaming</b> .....	30
<b>2.8. Mecanismos de Videoconferencia en Redes AD-HOC</b> .....	30
<b>2.9. Técnicas de Codificación de Video</b> .....	31
<b>2.10. Plataformas de Simulación de Eventos Discretos</b> .....	31
2.10.1. <i>Network Simulator 2 (NS-2)</i> .....	31
2.10.2. <i>OMNeT++</i> .....	32
2.10.3. <i>Network Simulator 3 (NS-3)</i> .....	32
2.10.4. <i>Riverbed Modeler Academic</i> .....	33
2.10.5. <i>Optimized Network Engineering Tool (OPNET Modeler)</i> .....	34
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>35</b>
3.1. <b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	35
3.2. <b>Métodos y Técnicas de Investigación</b> .....	35
3.3. <b>Proceso para el desarrollo del trabajo de investigación</b> .....	36
3.3.1. <i>Comparativa y Selección de Protocolos de Enrutamiento para Redes MANETS</i> .....	36
3.3.2. <i>Selección de las Métricas de Rendimiento</i> .....	40
3.3.3. <i>Tamaño de la Muestra</i> .....	41
3.3.4. <i>Evaluación y Selección de la Plataforma de Simulación de Eventos Discretos</i> .....	41
3.3.4.1. <i>OPNET Modeler</i> .....	43

3.3.4.2. <i>Nodos de OPNET</i> .....	43
<b>3.3.5. <i>Diseño de la Red Manet</i></b> .....	<b>44</b>
3.3.5.1. <i>Distribución de los Escenarios</i> .....	45
3.3.5.2. <i>Modelado de la Red Manet</i> .....	45
3.3.5.3. <i>Creación de la Red Manet</i> .....	46
3.3.5.4. <i>Configuración de la Red</i> .....	47
3.3.5.5. <i>Configuración de los Protocolos de Enrutamiento</i> .....	47
3.3.5.6. <i>Configuración de Movilidad</i> .....	48
3.3.5.7. <i>Configuración de la Aplicación</i> .....	49
3.3.5.8. <i>Configuración del Perfil</i> .....	49
3.3.5.9. <i>Configuración de los Nodos</i> .....	52
<b>3.3.6. <i>Ejecución de la Red en OPNET</i></b> .....	<b>54</b>
 <b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>4. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i></b> .....	<b>56</b>
<b>4.1. <i>Escenario con 20 Nodos Móviles</i></b> .....	<b>56</b>
<b>4.2. <i>Escenario con 40 Nodos Móviles</i></b> .....	<b>59</b>
<b>4.3. <i>Análisis de los Escenarios con 20 y 40 Nodos Móviles</i></b> .....	<b>62</b>
<b>4.3.1. <i>Rendimiento AODV 20 y 40 Nodos Móviles</i></b> .....	<b>62</b>
4.3.1.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	62
4.3.1.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	63
4.3.1.3. <i>Jitter</i> .....	63
4.3.1.4. <i>Latencia</i> .....	64
4.3.1.5. <i>Porcentaje de utilización del canal</i> .....	65
4.3.1.6. <i>Throughput</i> .....	65
<b>4.3.2. <i>Rendimiento DSR 20 y 40 Nodos Móviles</i></b> .....	<b>65</b>
4.3.2.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	66
4.3.2.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	66
4.3.2.3. <i>Jitter</i> .....	67
4.3.2.4. <i>Latencia</i> .....	67

4.3.2.5. <i>Porcentaje de utilización del canal</i> .....	68
4.3.2.6. <i>Throughput</i> .....	68
<b>4.3.3. Rendimiento TORA 20 y 40 Nodos Móviles</b> .....	<b>68</b>
4.3.3.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	69
4.3.3.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	69
4.3.3.3. <i>Jitter</i> .....	70
4.3.3.4. <i>Latencia</i> .....	70
4.3.3.5. <i>Porcentaje de utilización del canal</i> .....	71
4.3.3.6. <i>Throughput</i> .....	71
<b>4.3.4. Rendimiento GRP 20 y 40 Nodos Móviles</b> .....	<b>71</b>
4.3.4.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	72
4.3.4.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	72
4.3.4.3. <i>Jitter</i> .....	73
4.3.4.4. <i>Latencia</i> .....	73
4.3.4.5. <i>Porcentaje de utilización del canal</i> .....	74
4.3.4.6. <i>Throughput</i> .....	74
<b>4.3.5. Rendimiento OLSR 20 y 40 Nodos Móviles</b> .....	<b>74</b>
4.3.5.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	75
4.3.5.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	75
4.3.5.3. <i>Jitter</i> .....	76
4.3.5.4. <i>Latencia</i> .....	76
4.3.5.5. <i>Porcentaje de utilización del canal</i> .....	77
4.3.5.6. <i>Throughput</i> .....	77
<b>4.4. Análisis del Rendimiento para 20 nodos móviles</b> .....	<b>77</b>
4.4.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	78
4.4.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	78
4.4.3. <i>Jitter</i> .....	79
4.4.4. <i>Latencia</i> .....	80
4.4.5. <i>Porcentaje de Utilización del Canal</i> .....	80

4.4.6. <i>Throughput</i> .....	81
<b>4.5. Análisis del Rendimiento para 40 Nodos Móviles</b> .....	<b>81</b>
4.5.1. <i>Tráfico de Enrutamiento</i> .....	81
4.5.2. <i>Pérdida de Paquetes</i> .....	82
4.5.3. <i>Jitter</i> .....	82
4.5.4. <i>Latencia</i> .....	83
4.5.5. <i>Porcentaje de Utilización del Canal</i> .....	84
4.5.6. <i>Throughput</i> .....	84
<b>4.6. Resumen de Resultados entre protocolos</b> .....	<b>85</b>
<b>4.7. Comprobación de la Hipótesis</b> .....	<b>86</b>
4.7.1. <i>Hipótesis General</i> .....	86
4.7.2. <i>Demostración de la hipótesis</i> .....	86
4.7.3. <i>Prueba Kolmogorov-Smirnov</i> .....	87
4.7.4. <i>Prueba de Kruskal-Wallis</i> .....	88
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>90</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>91</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Criterio de evaluación para los protocolos de enrutamiento.....	37
Tabla 2-3: Comparación entre Protocolos Reactivos.....	38
Tabla 3-3: Comparación entre Protocolos Proactivos.....	39
Tabla 4-3: Comparación de trabajos anteriores vs. Métricas de rendimiento .....	40
Tabla 5-3: Características de las plataformas.....	42
Tabla 6-3: Ponderación de las plataformas .....	42
Tabla 7-3: Ponderación de las plataformas .....	43
Tabla 8-3: Distribución de los escenarios .....	45
Tabla 9-3: Parámetros Mobility Config .....	48
Tabla 10-3: Parámetros Application Definition.....	49
Tabla 11-3: Parámetros Profile Definition.....	51
Tabla 12-3: Parámetros Nodo Servidor.....	53
Tabla 13-3: Parámetros Nodos Intermedios.....	53
Tabla 14-3: Parámetros Nodos clientes.....	54
Tabla 1-4: Datos del Tráfico de Enrutamiento en 20 nodos móviles.....	57
Tabla 2-4: Datos del Tráfico de Enrutamiento en 40 nodos móviles.....	60
Tabla 3-4: Mediana de valores métricas vs. protocolos reactivos y proactivos .....	85
Tabla 4-4: Prueba de Kolmogorov-Smirnov de las muestras de la red Manet.....	87
Tabla 5-4: Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis en SPSS .....	88
Tabla 6-4: Resumen de las métricas de rendimiento con los protocolos .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Redes Inalámbricas .....	11
Figura 2-2: Redes Inalámbricas de Infraestructura .....	12
Figura 3-2: Redes Inalámbricas Ad-hoc .....	13
Figura 4-2: Conectividad entre nodos en una Manet .....	14
Figura 5-2: Clasificación de los protocolos de enrutamiento ad-hoc .....	16
Figura 6-2: Mensajes de encaminamiento en AODV .....	18
Figura 7-2: Enrutamiento en AODV .....	18
Figura 8-2: Descubrimiento de la ruta en DSR .....	20
Figura 9-2: Mantenimiento de la ruta en DSR .....	21
Figura 10-2: Grafo acíclico dirigido arraigado en el destino .....	22
Figura 11-2: Relé multipunto OLSR .....	25
Figura 12-2: Diagrama de BATMAN .....	29
Figura 13-2: Transmisión de video .....	30
Figura 14-2: Codificación de video .....	31
Figura 15-2: Plataforma NS-2 .....	32
Figura 16-2: Plataforma OMNeT++ .....	32
Figura 17-2: Interfaz NS-3 .....	33
Figura 18-2: Interfaz Riverbed Modeler .....	33
Figura 19-2: Plataforma OPNET .....	34
Figura 1-3: Diagrama de bloques del trabajo de investigación .....	36
Figura 2-3: Nodos en OPNET para Manet .....	44
Figura 3-3: Tecnología Manet del proyecto .....	46
Figura 4-3: Tecnología de la red .....	46
Figura 5-3: Topología de la red .....	46
Figura 6-3: Escenario en OPNET con 20 nodos móviles .....	47
Figura 7-3: Protocolo de enrutamiento AD-HOC .....	47
Figura 8-3: Configuración de movilidad en OPNET .....	48

Figura 9-3: Configuración de la aplicación en OPNET .....	49
Figura 10-3: Tiempo de Simulación del perfil y la aplicación.....	50
Figura 11-3: Configuración del perfil en OPNET.....	51
Figura 12-3: Estadísticas de Simulación .....	54
Figura 13-3: Visualización de las métricas de rendimiento .....	55
Figura 1-4: Simulación Escenario con 20 nodos móviles .....	56
Figura 2-4: Simulación Escenario con 40 nodos móviles .....	59

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Tráfico de enrutamiento AODV 20 y 40 nodos móviles.....	63
Gráfico 2-4: Pérdida de paquetes AODV 20 y 40 nodos móviles.....	63
Gráfico 3-4: Jitter AODV 20 y 40 nodos móviles .....	64
Gráfico 4-4: Latencia AODV 20 y 40 nodos móviles.....	64
Gráfico 5-4: Porcentaje de utilización del canal AODV 20 y 40 nodos móviles.....	65
Gráfico 6-4: Throughput AODV 20 y 40 nodos móviles.....	65
Gráfico 7-4: Tráfico de enrutamiento DSR 20 y 40 nodos móviles.....	66
Gráfico 8-4: Pérdida de paquetes DSR 20 y 40 nodos móviles .....	66
Gráfico 9-4: Jitter DSR 20 y 40 nodos móviles .....	67
Gráfico 10-4: Latencia DSR 20 y 40 nodos móviles .....	67
Gráfico 11-4: Porcentaje de utilización del canal AODV 20 y 40 nodos móviles.....	68
Gráfico 12-4: Throughput DSR 20 y 40 nodos móviles .....	68
Gráfico 13-4: Tráfico de enrutamiento TORA 20 y 40 nodos móviles.....	69
Gráfico 14-4: Pérdida de paquetes TORA 20 y 40 nodos móviles .....	69
Gráfico 15-4: Jitter TORA 20 y 40 nodos móviles .....	70
Gráfico 16-4: Latencia TORA 20 y 40 nodos móviles .....	70
Gráfico 17-4: Porcentaje de utilización del canal TORA 20 y 40 nodos móviles .....	71
Gráfico 18-4: Throughput TORA de 20 y 40 nodos móviles .....	71
Gráfico 19-4: Tráfico de enrutamiento GRP 20 y 40 nodos móviles.....	72
Gráfico 20-4: Pérdida de paquetes GRP 20 y 40 nodos móviles .....	72
Gráfico 21-4: Jitter GRP 20 y 40 nodos móviles .....	73
Gráfico 22-4: Latencia GRP 20 y 40 nodos móviles .....	73
Gráfico 23-4: Porcentaje de utilización del canal GRP 20 y 40 nodos móviles .....	74
Gráfico 24-4: Throughput GRP 20 y 40 nodos móviles .....	74
Gráfico 25-4: Tráfico de enrutamiento OLSR 20 y 40 nodos móviles .....	75
Gráfico 26-4: Pérdida de paquetes OLSR 20 y 40 nodos móviles.....	75
Gráfico 27-4: Jitter OLSR de 20 y 40 nodos móviles.....	76



Gráfico 28-4: Latencia OLSR de 20 y 40 nodos móviles .....	76
Gráfico 29-4: Porcentaje de Utilización del canal OLSR 20 y 40 nodos móviles .....	77
Gráfico 30-4: Throughput OLSR 20 y 40 nodos móviles .....	77
Gráfico 31-4: Tráfico de enrutamiento con 20 nodos móviles.....	78
Gráfico 32-4: Paquetes perdidos con 20 nodos móviles .....	79
Gráfico 33-4: Jitter con 20 nodos móviles .....	79
Gráfico 34-4: Latencia con 20 nodos móviles .....	80
Gráfico 35-4: Porcentaje de utilización del canal con 20 nodos móviles .....	80
Gráfico 36-4: Throughput con 20 nodos móviles .....	81
Gráfico 37-4: Tráfico de enrutamiento con 40 nodos móviles.....	82
Gráfico 38-4: Paquetes perdidos con 40 nodos móviles .....	82
Gráfico 39-4: Jitter con 40 nodos móviles .....	83
Gráfico 40-4: Latencia con 40 nodos móviles .....	83
Gráfico 41-4: Porcentaje de utilización del canal con 40 nodos móviles .....	84
Gráfico 42-4: Throughput con 40 nodos móviles .....	84

## **RESUMEN**

El objetivo fue evaluar los algoritmos de routing en Redes Manets mediante una plataforma de simulación de eventos discretos para determinar el más adecuado para la transmisión de videoconferencia. El estudio planteado, emplea el método documental para la recopilación de datos, el método científico para la formulación del problema y formular posibles soluciones, el método inductivo en la etapa de observación, el método deductivo para la obtención de conclusiones mediante un razonamiento lógico y el analítico el cual permitió establecer una comparación para el análisis de variables específicas como: tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y throughput, dichas variables determinan el rendimiento de la red Manet con cada uno de los protocolos de enrutamiento analizados; Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing(AODV), Dynamic Source Routing (DSR), Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA), Geographic Routing Protocol (GRP) y Optimized Link State Routing (OLSR). Para la ejecución de las simulaciones se establecieron escenarios de aplicación compuestos por una red de 20 y 40 nodos móviles con un área de cobertura de 1000m x 1000m. Para determinar la plataforma a utilizar se realizó un estudio mediante el método de Likert señalando a OPNET como la plataforma más adecuada para el análisis del trabajo de investigación, los valores obtenidos de la simulación han sido analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis para valores no paramétricos. Los resultados obtenidos determinaron que; tanto para 20 como para 40 nodos móviles el protocolo con mejores métricas de enrutamiento frente a los demás es GRP, debido a que presenta una menor pérdida de paquetes, un menor jitter, una menor latencia, un porcentaje promedio de utilización del canal al igual que un tráfico de enrutamiento y un mayor throughput.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <REDES MANETS>, <OPNET>, <AD-HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR ROUTING (AODV)>, <DYNAMIC SOURCE ROUTING (DSR)>, <TEMPORALLY ORDERED ROUTING ALGORITHM (TORA)>, <GEOGRAPHIC ROUTING PROTOCOL (GRP)>, <OPTIMIZED LINK STATE ROUTING (OLSR)>.

## SUMMARY

The objective was to evaluate the Manets routing algorithms through an event simulation platform to determine the best for the videoconference transition. The proposed study uses the documentary method for data collection, the scientific method for formulating the problem and the form of possible solutions, the inductive method in the observation stage, the deductive method for obtaining results through logical reasoning and the analytic which can be established a comparison for the analysis of the variables such as: routing traffic, packet loss, latency, percentage of channel use and performance, these variables determine the performance of the Manet network with each one of the routing protocols analyzed; Routing of distance vectors under demand (AODV), dynamic source routing (DSR), temporarily ordered routing algorithm (TORA), geographic routing protocol (GRP) and optimized link state routing (OLSR). For the execution of the simulations, the application scenarios for the compounds of a network of 20 and 40 mobiles with a coverage area of 1000m x 1000m were established. To determine the platform use a study trough Likert method is indicated to OPNET as a suitable platform for the analysis of the research work, the values of the simulation have been analyzed by the Kruskal-Wallis test for non-parametric values. The results were determined that; For both 20 and 40 mobile nodes, the protocol with the best routing metrics against the others is GRP, because it has a lower packet loss, better jitter, lower latency, average channel usage, as well as a Routing traffic and higher performance.

**KEYWORDS:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <TELECOMMUNICATIONS>, <MANETS NETWORKS>, <OPNET>, <AD-HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR (AODV)>, <DYNAMIC SOURCE ROUTING (DSR)>, <TEMPORALLY ORDERED ROUTING ALGORITHM (TORA)>, <GEOGRAPHIC ROUTING PROTOCOL (GRP)>, <OPTIMIZED LINK STATE ROUTING (OLSR)>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de Investigación

#### *1.1.1. Planteamiento del Problema*

Las redes inalámbricas hoy en día poseen una gran importancia gracias al avance de la tecnología que aporta características como: ahorro de espacio, ahorro en gastos y facilidad de comunicación entre diferentes tipos de dispositivos inalámbricos como ordenadores portátiles, celulares, access point, routers, entre otros. Los mismos que reciben los datos utilizando como medio de transmisión el aire, así los usuarios pueden acceder o realizar intercambio de información en tiempo real. Existen algunas tecnologías inalámbricas como: Wi-Fi que transmite información a través de ondas de radio, el infrarrojo que transmite por medio de ondas de calor, el bluetooth que comunica por medio de ondas de radio de corto alcance y microondas que son señales transmitidas a gran escala mediante antenas, estos son ejemplos del desarrollo dinámico y acelerado de las tecnologías de comunicación no guiadas.

Debido a este avance tecnológico, existe un sin número de tipos de redes inalámbricas, como:

- WWAN que son redes inalámbricas que cubren un área extensa y se caracterizan por ser económicas, flexibles y pueden utilizar conexiones satelitales o antenas de radio microondas.
- WMAN son redes de conexión de banda ancha con una alta velocidad y cubren un área extensa como una ciudad.
- WLAN son redes dentro de una localidad geográfica para compartir sus recursos y que utilizan señales de radio para comunicarse.
- WPAN son redes cuya cobertura se encuentran en un rango pequeño de muy pocos metros para la comunicación y sincronización de datos.
- Redes AD-HOC donde las estaciones o dispositivos son capaces de comunicarse por sí mismos sin necesidad de un punto de acceso para el intercambio de información.

Así mismo, dentro del desarrollo de las Redes AD-HOC aparecen las redes inalámbricas Mobile Ad-Hoc Wireless Networks (MANET), donde cuya importancia radica en su capacidad de desarrollo sin la implementación de una infraestructura física, son redes que se crean en lugares que no se puede implementar redes cableadas o se requiere de nodos móviles para la comunicación entre ellos, estos nodos pueden cambiar su posición con frecuencia debido a su naturaleza propia para trabajar como emisor, receptor o router. Los nodos de este tipo de redes están comunicados entre sí utilizando protocolos de enrutamiento diseñados para las redes inalámbricas ad-hoc. Estos protocolos de enrutamiento ad-hoc controlan el encaminamiento correcto de paquetes dentro de las MANET. El enrutamiento característico dentro de las MANET ha ocasionado que se desarrollen los siguientes tipos de protocolos:

- Protocolos reactivos: como AODV, DSR, TORA que encuentran las rutas de comunicación entre un nodo origen y destino solo cuando desean transmitir un paquete.
- Protocolos proactivos: como DSDV, OLSR, BABEL, WRP, BATMAN que mantienen las tablas de rutas o información de direccionamiento actualizada periódicamente mediante intercambios de paquetes a intervalos fijos.

Por todo lo precedente y la importancia del tema de transmisión de video, se direcciona la presente investigación para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets con lo cual se pretende evaluar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento en la transferencia del tráfico de video a través de la plataforma de simulación de eventos discretos.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Permitirá la plataforma de simulación de eventos discretos evaluar el rendimiento de los algoritmos de routing en Redes Manets para transporte de tráfico de video?

## **1.3. Preguntas Directrices**

¿Cuáles son los algoritmos y protocolos de enrutamiento utilizados actualmente en las Redes Manets?

¿Qué parámetros evalúan el rendimiento de protocolos de encaminamiento en una Red Manet?

¿Cuál es el área de cobertura adecuado para la transmisión de video para Redes Manets?

¿Cuál es el retardo máximo soportado por las aplicaciones de video por Redes Manets?

#### **1.4. Justificación de la Investigación**

La investigación se centra en evaluar y determinar de manera metodológica los objetivos propuestos al igual que el efecto sobre las redes inalámbricas ad-hoc, mediante la simulación de escenarios que evidencien los procesos de enrutamiento al momento de la ejecución del proyecto y establecer los cambios generados en cada una de las situaciones planteadas.

Se pretende simular y evaluar una red inalámbrica mobile ad-hoc con un número variable de nodos y una área de cobertura fija empleando una comunicación entre nodos con los protocolos reactivos y proactivos que soporta este tipo de red. Estos protocolos son capaces de descubrir la ruta adecuada para mantener una comunicación entre dos o más dispositivos gracias a los algoritmos que emplean, constituyéndose así en la base de los protocolos de enrutamiento para redes móviles ad-hoc.

Los trabajos o estudios realizados en redes se los debe evaluar para conocer que tan eficiente es el resultado obtenido. Así como el artículo científico en el que se realizó la comparación entre cuatro protocolos AODV, GRP, DSR y OLSR con cargas de tráfico una base de datos en términos de retraso, carga, retraso de acceso al medio, carga de red, retransmisión y rendimiento. Los resultados se tabulan utilizando OPNET Simulator 14.5 mostrando el protocolo adecuado para la transmisión del tráfico (Puneet , Paramjeet, & Shaveta, 2013).

Otro artículo menciona la investigación del análisis del rendimiento con varios protocolos ad-hoc y la medición de los parámetros de rendimiento usando el simulador QualNet, donde el protocolo DSR es el mejor en caso de fluctuación promedio. AODV y DYMO dan un rendimiento constante y ZRP arroja malos resultados (Kumar, Singh, Panda, & Bhadauria, 2016).

Los beneficiarios de la investigación serán empresas y profesionales que se dedican a la comunicación de redes inalámbricas mobile ad-hoc y que requieran evaluar dichos resultados así como el impacto que tendrá emplear una Red Manet.

La importancia de la investigación está en que a partir de este estudio se podrá emplear el protocolo que proporcione los mejores resultados para el transporte de tráfico de video, ya que se va a comparar los resultados para determinar el protocolo más adecuado en base a los parámetros de tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y throughput.

## **1.5. Objetivos**

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

Evaluar los algoritmos de routing en Redes Manets mediante una plataforma de simulación de eventos discretos.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Realizar un estudio de las plataformas de simulación de eventos discretos existentes para Redes Manets.
- Analizar los protocolos reactivos y proactivos utilizados en redes inalámbricas ad-hoc que soporta la plataforma de simulación de eventos discretos para la aplicación de simulaciones.
- Diseñar los escenarios de prueba para la verificación del funcionamiento de las Redes Manets.
- Determinar y evaluar el protocolo de enrutamiento más adecuado dentro de Redes Manets para la transmisión de video.

## **1.6. Hipótesis General**

La plataforma DES para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets permitirá determinar el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado del Arte

Para realizar el proyecto se usa como referencia los estudios anteriormente desarrollados sobre temas afines a la propuesta que respaldan la investigación y establecen métodos de análisis. Entre estos trabajos se tienen los siguientes:

En el trabajo de investigación realizada por (Abdulrahman Ahmed, 2013), con el tema “Performance Analysis and Comparison of Ad Hoc Routing Protocols AODV and OLSR on Video Conferencing using OPNET Simulator” de la Eastern Mediterranean University, en donde se estudia, analiza y compara dos protocolos de enrutamiento ad-hoc, AODV y OLSR los cuales se eligieron en función de su rendimiento en estudios posteriores mediante una aplicación de videoconferencia. Se crearon 24 escenarios diferentes al cambiar la densidad de nodos, la movilidad y cantidad de clientes que participan en videoconferencia. Los protocolos de enrutamiento se analizan con respecto al número de saltos por ruta, tiempo de descubrimiento de ruta, tráfico de enrutamiento enviado y tráfico de enrutamiento recibido. Para la comparación entre los protocolos mencionados, se usaron métricas que son importantes para las aplicaciones de videoconferencia, como la variación de retardo de paquete, el retardo de extremo a extremo del paquete y la carga de enrutamiento normalizada. Se emplea el simulador OPNET versión 17.1 el mismo que se usa para modelar y simular redes ad-hoc.

Obteniendo de este trabajo las siguientes conclusiones:

- Este estudio deja claro que la inversión de redes ad-hoc con diferentes protocolos de enrutamiento es necesaria para definir sus roles principales y que efecto tienen en el rendimiento de estas redes. No existe un solo protocolo que funcione mejor en todas las condiciones; algunos protocolos pueden funcionar mejor que otros en algunas métricas específicas con diferentes parámetros de red. Por lo tanto, elegir un protocolo de enrutamiento para una red depende de las condiciones de la red y del tipo de aplicación.
- De acuerdo con los resultados obtenidos de las simulaciones de videoconferencia, se puede llegar a las siguientes conclusiones: OLSR tiene un mejor rendimiento en la variación del retardo de paquetes para 25 y 80 nodos en la red. El rendimiento de los protocolos AODV y OLSR es mejor en casos fijos debido a los cambios que se



producen en la topología durante el tiempo de simulación para casos móviles. El protocolo OLSR tarda menos tiempo en transferir un paquete desde el origen al destino, que el protocolo AODV. AODV tiene menos (mejor) tráfico de enrutamiento normalizado que OLSR en una red de alta densidad (80 nodos) y también es mejor en redes de baja densidad cuando pocos clientes se comunican con el servidor. Por otro lado, la carga de enrutamiento normalizada de OLSR se está reduciendo en comparación con AODV cuando aumenta el número de nodos de comunicación (clientes).

Mientras en el trabajo realizado por (Sajjad & Asad, 2009) bajo el tema “Performance Analysis of AODV, DSR and OLSR in MANET” del Department of Computing at Blekinge Institute of Technology Sweden, establece una comparativa de tres protocolos de enrutamiento, AODV, DSR y OLSR desplegados sobre MANET utilizando el tráfico FTP analizando su comportamiento con respecto a tres parámetros: retraso, carga de red y rendimiento. La herramienta de simulación es modeler OPNET. El rendimiento de estos protocolos de enrutamiento se analiza mediante tres métricas: retraso, carga de red y rendimiento.

Otorgando como conclusiones:

- A partir del estudio analítico, se concluye que los protocolos de enrutamiento en el nuevo escenario moderno de las telecomunicaciones, los sistemas de internet y la comunicación fluida desempeñan una función destacada para desarrollar una mejor comunicación entre los usuarios finales. La selección del protocolo adecuado de acuerdo con la red definitivamente aumenta la confiabilidad de esa red, por ejemplo, en el caso de las redes móviles ad-hoc, los protocolos de enrutamiento deberían estar libres de bucles según esta investigación.
- Existen dos categorías de protocolos de enrutamiento utilizados en redes móviles ad-hoc que son protocolos de enrutamiento reactivo y protocolos de enrutamiento proactivo, ambas categorías tienen su propio uso, por lo que la selección de estas categorías en redes ad-hoc es muy importante.
- Se obtuvo dos tipos de resultados, uno son los gráficos de simulación y otro es el promedio de datos estadísticos concluidos de estos gráficos. Teniendo que OLSR supera a los dos protocolos AODV y DSR en términos de retraso, carga de red y rendimiento en 20 nodos móviles. En 40 nodos móviles, nuevamente OLSR funciona mejor que AODV y DSR en retardo y rendimiento. AODV posee carga baja que OLSR y DSR respectivamente. En 80 nodos móviles, OLSR vuelve a mostrar buenos resultados en retardo y rendimiento que AODV y DSR, respectivamente.

AODV ofrece buenos resultados al ofrecer baja carga en la red que OLSR y DSR, respectivamente. Los valores promedio se toman de los gráficos. A partir de los gráficos dados anteriormente, se muestra claramente que el OLSR ofrece los resultados sobresalientes en cuanto a la demora y el rendimiento y AODV tiene un buen rendimiento en la carga de la red. La alta carga de red afecta los paquetes de control de enrutamiento MANET. Al comparar AODV y DSR los resultados en las cifras completas, se puede ver que AODV funciona mejor que DSR en cuanto a retraso, carga de red y rendimiento.

- El estudio de estos protocolos de enrutamiento muestra que el OLSR es mejor en MANET de acuerdo con nuestros resultados de simulación, pero no es necesario que OLSR funcione siempre mejor en todas las redes, su rendimiento puede variar al cambiar la red. Al final se llega al punto del estudio analítico y de simulación de que el rendimiento de los protocolos de enrutamiento varía según la red y la selección de protocolos de enrutamiento precisos según la red, lo que en última instancia influye de manera magnífica en la eficiencia de esa red.

En la tesis de investigación realizada por (Andino Jurado, 2010) con el tema “Estudio comparativo de protocolos de ruteo en redes ad hoc aplicado a redes móviles” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo indica que: “Al tener que gestionar enlaces en una red móvil de tipo ad-hoc, se debe resolver el problema principal que es el enrutamiento. Para ello cada nodo debe contar con la capacidad de gestionar sus tablas de ruteo”.

Este trabajo aporta con las siguientes conclusiones mas relevantes:

- Los protocolos diseñados para dar soporte a las redes móviles inalámbricas brindan una solución para los requerimientos de estas, por ello, constantemente se crean nuevos protocolos que brinden una mejor solución a casos específicos, de esta manera podemos encontrar gran cantidad de protocolos generados a partir de los más generalizados.
- El estudio comparativo permitió determinar que el protocolo OLSR y DSR son los más adecuados al momento de trabajar con una red móvil, OLSR gracias a su desarrollo y complejidad permite un análisis más preciso de la red, mientras que DSR por su simplicidad obtiene buenos resultados al trabajar en redes extensas y propensas a cambios.

Por otro lado, en la tesis de investigación realizada por (Ramírez Gámez, 2015) con el tema “Simulación de un algoritmo de encaminamiento en redes MANET basado en reputación” de la Universidad Politécnica de Catalunya propone: “implementar un algoritmo en los nodos de una red los mismos que se encargan de asignar al resto de nodos una reputación de reenvío”. Donde

dicha reputación que es asignada al nodo en la red se calcula de acuerdo al reenvío de las rutas en el que es participe y se expresa mediante un valor probabilístico. Las reputaciones se utilizarán para definir las rutas que tienen menor probabilidad de pérdida de paquetes.

De igual manera, este trabajo investigativo aporta con las siguientes conclusiones más relevantes:

- La pérdida de paquete es mínima cuando se emplea la reputación para el encaminamiento de la información en las simulaciones, lo que permite realizar una comparación con las pérdidas de paquetes basadas en la métrica del menor salto, obteniendo además una gran diferencia al emplear el timeout o tiempo de espera luego del inicio de sesión del protocolo DSR. Obteniendo como conclusión que el algoritmo planteado también puede definir las rutas con un menor valor probabilístico en escenarios móviles con respecto a la pérdida de paquetes.
  
- Al finalizar el trabajo se ha podido demostrar que a pesar de que a un nodo perteneciente a la red se le atribuye una mala reputación, el mismo podrá recuperar la ruta debido al movimiento que presenta dentro de la red. Dicho de otro modo, su mala reputación después de cierto tiempo y debido a la movilidad alguna ruta le utilizará, volviendo a ser parte del entorno recobrando su reputación. Este análisis permite determinar que en escenarios dinámicos el algoritmo de reputaciones opera de manera correcta.

(Sharma, Singh, Kaur, & Banga, 2012) en su estudio “Performance evaluation of reactive routing protocols in MANET networks using GSM based voice traffic applications” indica que: la movilidad de los nodos en cambios frecuentes e impredecibles de la topología de la red, conduce a cambios de ruta regulares, particiones de red y posiblemente pérdidas de paquetes, haciendo del enrutamiento una tarea desafiante en la red MANET. Los protocolos de enrutamiento más utilizados en estas redes son proactivos, reactivos e híbridos, pero una estrategia de enrutamiento reactivo es la técnica más popular para el enrutamiento ad-hoc inalámbrico que proporciona una solución escalable a topologías de red relativamente grandes. Este trabajo evalúa el desempeño de los protocolos de enrutamiento reactivo AODV y DSR en la red MANET usando tráfico de voz de calidad GSM mediante el cálculo de matrices tales como retraso de extremo a extremo de voz, carga de red, rendimiento, número de saltos por ruta, tiempo de descubrimiento de ruta, tráfico enviado y recibido mediante OPNET Modeler 14.5.

Aportando con la siguiente conclusión:

- El modelo de simulación de la red MANET se desarrolla utilizando el simulador OPNET 14.5 y se analiza para diferentes protocolos de enrutamiento ad-hoc reactivos

con diferentes nodos móviles que transmiten datos de tráfico de voz GSM. Se concluye que el protocolo de enrutamiento AODV tiene la menor carga de red de extremo a extremo en comparación con DSR. Además, AODV tiene un rendimiento promedio máximo y el tráfico recibido en comparación con DSR. El protocolo de enrutamiento DSR no escala bien con redes de gran tamaño. Los resultados de la simulación también mostraron que el protocolo de enrutamiento reactivo AODV es el más adecuado para las redes MANET en una densa población de nodos, mientras que DSR tiene QoS muy pobre en redes de nodos de alta densidad con datos de tráfico de voz GSM.

Mientras que el artículo científico realizado por (Coya Rey, Ledesma Quiñones, & Baluja García, 2014) de Cuba con el tema “Selección del protocolo de enrutamiento para la implementación de una manet” indica un breve análisis de los principales protocolos según una serie de parámetros de interés, y la selección de aquel que se ajusta mejor a una MANET, utilizando tanto dispositivos móviles como dispositivos estáticos. Además, se muestran los resultados obtenidos utilizando el protocolo seleccionado en un escenario práctico.

Aportando con la siguiente conclusión:

- Los nodos que forman parte de una red ya sea alamburada o totalmente inalámbrica como las MANETS, necesitan que los paquetes de datos puedan ser enrutados y entregados a su destino. Con esta finalidad se introducen los denominados protocolos de enrutamiento. El protocolo OLSR ha sido seleccionado luego de un amplio análisis como el más conveniente a utilizar en la implementación de una red híbrida, con dispositivos estáticos y dispositivos móviles, entre los que se encuentran teléfonos celulares con sistema operativo Android. Esta selección se debe fundamentalmente a las facilidades de implementación de OLSR, tanto en el sistema operativo Linux como en Android y otras características ventajosas del mismo. La aplicabilidad del protocolo OLSR en una MANET se confirmó en un escenario real, donde se realizaron pruebas para verificar el correcto establecimiento de la comunicación entre varios nodos de una red híbrida, obteniéndose resultados satisfactorios. Se incluyeron en las pruebas varios teléfonos Android, comprobándose su utilidad en implementaciones de MANETS que luego pueden emplearse en diversos escenarios de usuarios.

Por otro lado en el artículo científico realizado por (Puneet , Paramjeet, & Shaveta, 2013) con el tema: “Performance Analysis of AODV, OLSR, GRP and DSR Routing Protocols with Database Load in Manet” propone un estudio de los protocolos de enrutamiento más empleados en MANET comparando el rendimiento del protocolo de enrutamiento AODV, OLSR, GRP y DSR mediante el simulador OPNET 14.5 con la carga de tráfico una base de datos bajo las métricas de carga, retransmisión, retraso, retraso de acceso al medio, y rendimiento.

Obteniendo las siguientes conclusiones:

- Para la carga; GRP tiene un mejor rendimiento que AODV, DSR y OLSR debido a que transfiere una gran cantidad de bits en comparación con el resto de protocolos. Para el retraso; AODV se comporta mejor que el protocolo DSR, GRP y OLSR. Para el retraso de acceso al medio DSR y OLSR es mejor que AODV y GRP porque el valor de caída es menor que GRP y AODV. Para el rendimiento, GRP es mejor que OLSR, DSR y AODV porque GRP transfiere más datos en bits desde la capa inferior a la capa superior.
- Los resultados en forma gráfica muestran que protocolo funciona mejor que otro correspondiente a varias cargas de tráfico para las métricas evaluadas.

Y por último, en el artículo científico realizado por (Lara, Olmedo, & Rodríguez), con el tema “Evaluación de Protocolos de Enrutamiento usados en las Redes Móviles Ad Hoc, utilizando el software Network Simulator 2” propone un estudio de los principales protocolos de enrutamiento utilizados en una Red Ad-Hoc Móvil (MANET), utilizando la herramienta de simulación NETWORK SIMULATOR NS2, basada en parámetros de tiempo de convergencia y sobrecarga de paquetes de enrutamiento.

Las conclusiones que aportó este estudio fueron:

- El desempeño proporcionado por los protocolos reactivos es superior al presentado por los protocolos proactivos en base al tiempo de convergencia de la red y paquetes de enrutamiento introducidos.
- DSR es el protocolo que presenta mejor rendimiento de los tres simulados. Presenta seis saltos de distancia, uso de múltiples rutas y desempeño satisfactorio en redes grandes.
- AODV es semejante a DSR, por lo que presenta las mismas respuestas ante la red a diferencia de no aceptar múltiples rutas ocasionando bajo rendimiento en redes grandes. Además, no presenta optimización de energía de los nodos, por no ser reactivo puro.
- DSDV, a diferencia de los anteriores protocolos señalados, es un protocolo proactivo y presenta un bajo rendimiento ante topologías de red grandes y de alta movilidad. Se obtuvo que el número de saltos máximo presentado es 3.



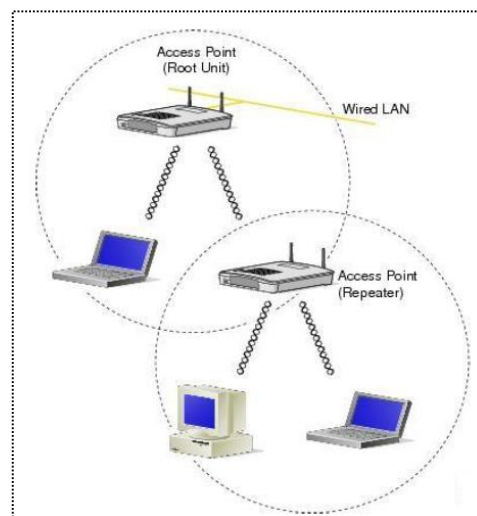
### 2.2.3. Tipos de Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas se las clasifica en dos grupos para poder establecer una conexión entre nodos, se tiene:

*De Infraestructura:* Emplean un punto de acceso para la comunicación entre hosts.

- WWAN: Esta red cubre una área extensa para transferir datos, así por ejemplo son utilizadas por las universidades o instituciones que requieran conectarse únicamente a una red para compartir información.
- WMAN: Esta red de área metropolitana se basa en la tecnología WiMAX establecido con la norma IEEE 802.16 para interoperabilidad mundial para acceso con microondas, la misma que posee mayor cobertura y ancho de banda.
- WLAN: Es una conexión inalámbrica que permite compartir recursos debido a que esta red está localizada dentro de una localidad geográfica, emplean señales de radio las mismas que captan las tarjetas de los demás dispositivos como laptops y computadoras de escritorio.
- WPAN: La red de área personal se conecta entre dispositivos que se encuentran en un rango de pocos metros. Abarca tecnologías como: Bluetooth, HomeRF para conectar de los dispositivos móviles y ordenadores de casa, ZigBee para aplicaciones domóticas, RFID para el almacenamiento y recuperación de datos remotos.

Las redes de infraestructura WPAN, WLAN, WMAN y WWAN, se muestra en la figura 2-2. con su respectiva aplicación.

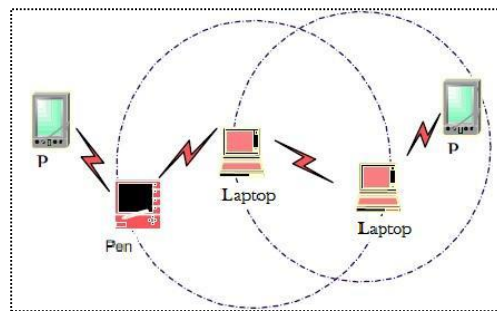


**Figura 2-2:** Redes Inalámbricas de Infraestructura

Fuente: (Abdulrahman Ahmed, 2013)

*Redes Ad-hoc:* Son redes que para su comunicación no necesitan una infraestructura, es decir poseen nodos independientes como se observa en la figura 3-2. Dentro de estas redes se encuentran:

- VANET: Son redes vehiculares ad-hoc, es una comunicación que emplean los vehículos como nodos de la red.
- MANETS: Son redes móviles ad-hoc, poseen nodos móviles y es una red de dispositivos o nodos móviles conectados por wireless y son auto-configurables.
- WSN: Son redes de sensores que poseen dispositivos autónomos y utilizan sensores de monitoreo para condiciones ambientales o físicas.
- WMN: Son redes inalámbricas mesh o redes de malla, estas mallas ofrecen redes resistentes y también tienen la capacidad de cambiar las rutas de datos cuando se presenta algún inconveniente.



**Figura 3-2:** Redes Inalámbricas Ad-hoc

Fuente: (Abdulrahman Ahmed, 2013)

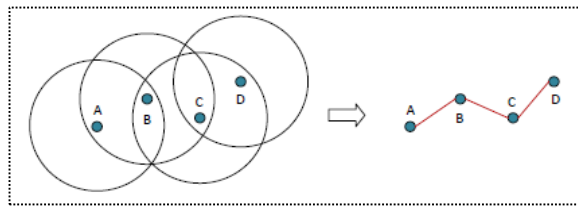
### 2.3. Red Manet

La red Manet se caracteriza por poseer un conjunto de dispositivos móviles independientes conectados por medios no guiados como son los enlaces inalámbricos. Son redes móviles descentralizadas o que no hay un punto de acceso o estación base, los nodos se comunican entre sí directamente. Dichos nodos solicitan datos de otros nodos y también actúan como enrutadores al reenviar los datos recibidos a otro nodo, al mismo tiempo los nodos se mueven en direcciones aleatorias en toda el área de la red. Los nodos móviles son dispositivos auto-configurables por lo que pueden conectar a todos los otros nodos en el área de cobertura de la red inalámbrica.

Este tipo de redes pueden conectarse en algunos puntos a otras redes o trabajar de forma aislada. La transmisión de datos depende de las posiciones de los nodos, de las áreas de cobertura y los niveles de ruido e interferencias permitiendo manejar una conectividad multi-salto entre nodos, de esta forma un nodo puede comunicarse con otro nodo que desee aunque este no se encuentre dentro del rango de transmisión. Esto es posible gracias a la transmisión de información mediante otros nodos, como se ilustra en la figura 4-2, donde se observa un ejemplo de



transmisión de datos desde el nodo origen A hacia el nodo destino D encaminando los paquetes a través de los nodos B y C (Ramírez Gámez, 2015):



**Figura 4-2:** Conectividad entre nodos en una Manet

Fuente: (Ramírez Gámez, 2015)

Una red Manet se caracteriza por su flexibilidad, de fácil implementación y las aplicaciones que se pueden usar en ella. Manet es una red que se puede usar para problemas de emergencia. Sin embargo, una red ad-hoc se vuelve difícil de manejar por la operación del nodo, el mantenimiento de una tabla de enrutamiento y el envío de paquetes a los vecinos que son responsabilidades de cada nodo. Por lo tanto MANET necesita protocolos de enrutamiento confiables y eficientes debido a su topología cambiante (Abdulrahman Ahmed, 2013).

### **2.3.1. Características de la Red Manet**

- Descentralizada: Cada nodo se encargan de gestionar las tareas de la red, iniciando por descubrir nuevas rutas para el reenvío de paquetes desde el origen hacia el destino.
- Nodos móviles: Es una topología dinámica donde los nodos que pertenecen a la red están en la capacidad de moverse libremente, obteniendo una red impredecible que cambia aleatoriamente, formando nuevos enlaces con hots diferentes que se encuentran en su mismo rango de cobertura.
- Multi-Salto: La información a transmitirse por esta red da múltiples saltos para poder alcanzar a su destino.
- No requiere de infraestructura: Carece de administración central, es decir los dispositivos pueden trabajar como emisor, receptor o router según sea el caso.
- Seguridad: Este parámetro es esencial en estas redes debido a que son más vulnerables que las redes alámbricas por su medio de transmisión que es el aire, lo cual afecta al procesamiento de información de los nodos y en consecuencia se toma como medida de seguridad la encriptación.

### **2.3.2. Restricciones en Manets**

Topología dinámica: esta topología se da por la movilidad en la red, tomando en cuenta que los enlaces de comunicación son susceptibles a pérdidas durante los movimientos de un nodo.

Ancho de banda restringido: debido a los errores que afectan al enlace inalámbrico (interferencia, condiciones ambientales, etc.), la capacidad de una conexión inalámbrica es menor que la de los enlaces por cable. Teniendo como resultado la degradación de la señal recibida y hace que la tasa de error de bit sea alta.

Limitación de la seguridad física: los dispositivos de esta red son susceptibles de ser robados más que los nodos fijos. El enlace inalámbrico es relativamente fácil de robar y usar para acceder a los servicios de red.

Auto-operación e infraestructura: debido a la falta de puntos de acceso en esta red, se requiere una gestión de sistema compleja para obtener un funcionamiento eficiente del sistema (Abdulrahman Ahmed, 2013).

### ***2.3.3. Aplicaciones de la Red Manet***

Dentro del campo de aplicaciones las redes MANETs se diseñaron al principio con fines militares, operaciones de rescate, entornos civiles para compartir información entre los usuarios, pero ahora tienen muchas áreas de uso, como:

- Recopilación de datos en dichas áreas militares de algunas regiones.
- Áreas afectadas por desastres
- Clase virtual y conferencias

## **2.4. Algoritmos de Routing AD-HOC**

Los algoritmos de enrutamiento, se encargan de seleccionar la ruta de un costo mínimo mediante el cual se enviará los datos hacia el nodo destino. A continuación se describe los algoritmos que se emplean en las redes MANET:

Algoritmo de Estado de Enlace: a cada enlace se le atribuye un costo y la topología de la red es administrada por cada nodo con un mapa completo de la red. El costo de los enlaces a los que se conecta es difundido periódicamente por cada nodo, y los nodos que restan tienen como función primordial actualizar la tabla de enrutamiento y el mapa de la red.

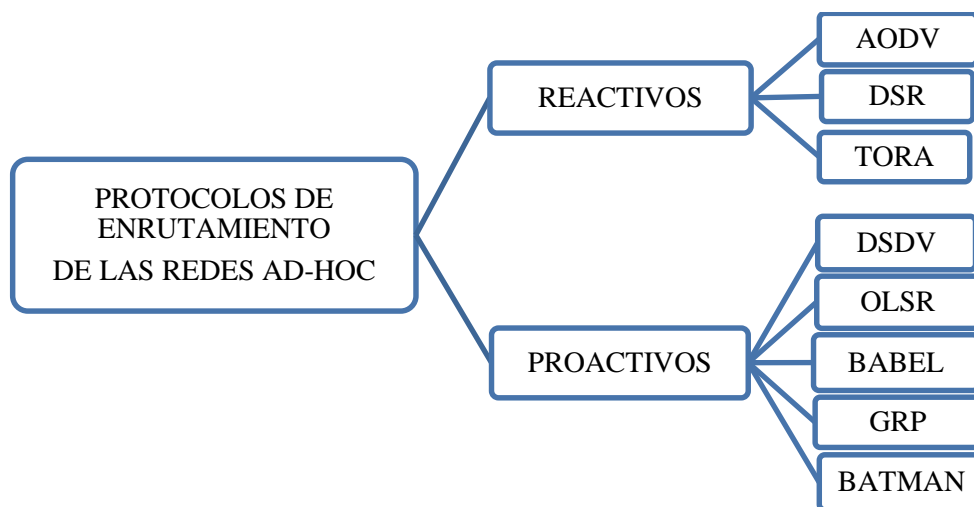
Algoritmo Vector-Distancia: cada nodo debe conocer el costo de los enlaces que forman parte de su red o se encuentra conectado. Es decir todos los nodos deben informar a su vecino que nodos puede conseguir y el costo. Teniendo como función que los nodos pertenecientes a la red recalculen su propia tabla de enrutamiento de acuerdo a la información recibida.

Enrutamiento de Origen (Source Routing): la responsabilidad de las decisiones de enrutamiento las toma el origen siguiendo los paquetes de datos un camino establecido.

## 2.5. Protocolos de Enrutamiento

El enrutamiento es el proceso de elegir una ruta de comunicación entre dos nodos. Este proceso está controlado por los protocolos de enrutamiento. Un protocolo de red es un objeto que se ha caracterizado con los tipos y el formato de los mensajes que se intercambian con otros pares y las acciones que tendrán lugar después de recibir un mensaje. Los protocolos de enrutamiento en redes ad-hoc móviles son responsables de buscar y encontrar una ruta de comunicación desde un nodo a todos los otros nodos y para compartir paquetes de datos en la red. En una red ad-hoc, el enrutamiento se realiza con el uso de tablas de enrutamiento, las mismas que se almacenan en la memoria caché de nodos.

Los protocolos de enrutamiento ad-hoc tienen algunos estándares que controlan la elección de rutas que se usarán para transmitir paquetes de datos desde el origen hasta el destino. Cuando un nuevo nodo desea ingresar a la red, intentará descubrir la topología mediante un anuncio sobre su presencia y escuchando transmisiones desde otros nodos de la red. El descubrimiento de la ruta se realiza de diferentes maneras dependiendo del tipo de algoritmo de protocolo de enrutamiento (Abdulrahman Ahmed, 2013). Existen algunos protocolos de enrutamiento para redes inalámbricas móviles ad-hoc por lo cual se clasifican según la estrategia de enrutamiento como se muestra en la figura 5-2:



**Figura 5-2:** Clasificación de los protocolos de enrutamiento ad-hoc

**Fuente:** (Abdulrahman Ahmed, 2013)

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R. 2018

### 2.5.1. Reactivos (*On Demand*)

Los protocolos no mantienen la información de la tabla de enrutamiento en los nodos cuando no hay comunicación. Dicho de otra manera las rutas son buscadas cuando son necesarias, a través del flooding de la red solicitando la ruta. Para transmitir la información primero debe

iniciarse el descubrimiento de la ruta hacia el destino, el nodo debe iniciar un proceso de descubrimiento de ruta. Luego de encontrar la ruta adecuada, el nodo la mantiene hasta que ya no sea requerida o dicho destino se encuentre inaccesible. Limitando el número de destinos y reduciendo el tamaño de las tablas de enrutamiento.

Entre las desventajas de los protocolos reactivos se encuentra la latencia durante el descubrimiento de ruta y la posible saturación de la red por causa del flooding. Estos protocolos producen una sobrecarga menor y mayores retardos debido a su trabajo de enviar información buscando la ruta hacia el destino.

#### *2.5.1.1. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Protocol (AODV)*

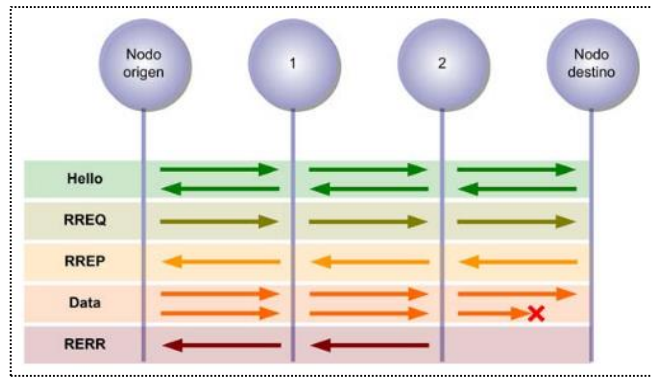
##### Principios Básicos

Protocolo reactivo ad-hoc que se basa en el algoritmo de vector distancia y enrutamiento de fuente dinámico, donde según la solicitud del nodo la ruta es descubierta o mantenida. Cuando se presenta fallas en los enlaces o se requiere de un cambio de topología de la red los nodos móviles responden en el momento que así lo ameriten. Para el momento de fallar el enlace, los nodos defectuosos son notificados con el mensaje, mientras los nodos afectados utilizarán el enlace perdido para revocar las rutas.

AODV utiliza los tipos de mensaje: Solicitud de ruta (RREQ), Respuestas de ruta (RREP) y Error de ruta (RERR) para encontrar la ruta de origen a destino.

##### Fases de Operación

- Descubrimiento de la ruta: Cuando una fuente tiene datos para transmitir a un nuevo destino, emite un RREQ para ese destino. El nodo de un vecino que recibe el RREQ verifica si no ha recibido la misma solicitud antes de usar el ID DE RUTA. No es el destino y no tiene una ruta actual hacia el destino, sino que retransmite el RREQ y al mismo tiempo se crea una ruta hacia atrás hacia la fuente. Si el nodo receptor es el destino o tiene una ruta actual al destino, genera un RREP. El RREP se propaga; cada nodo intermedio crea una ruta al destino. Cuando la fuente recibe el RREP, registra la ruta hacia el destino y comienza a enviar datos. Si la fuente recibe múltiples RREP, se elige la ruta con el recuento de salto más corto. En caso de que se detecte un salto de enlace, se envía un mensaje RERR a la fuente. A medida que el RERR se propaga hacia la fuente, cada nodo intermedio invalida la ruta hacia destinos inalcanzables. Cuando la fuente de los datos recibe el RERR, invalida la ruta y reinicia el descubrimiento de la ruta. Este proceso de descubrimiento de ruta se observa en la figura 6-2.

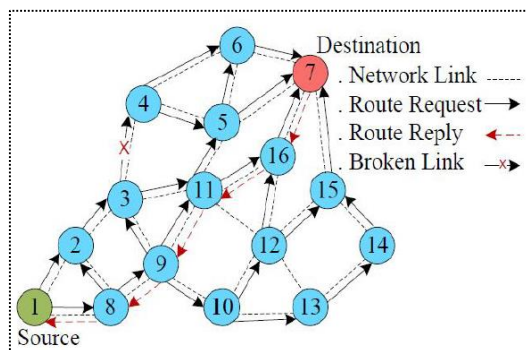


**Figura 6-2:** Mensajes de encaminamiento en AODV

Fuente: (Gil M)

- Mantenimiento de la ruta: el mismo que se lleva a cabo una vez que se establece la ruta, un protocolo de mantenimiento de ruta proporciona información sobre los enlaces de la ruta y permite modificar la ruta. El mantenimiento de la ruta descubierta/establecida es necesaria para lograr la estabilidad en la red y reducir la sobrecarga al descubrir una nueva ruta y enviar los paquetes hacia su destino (Puneet , Paramjeet, & Shaveta, 2013).

Como se ilustra en la figura 7-2, cuando el enlace entre los nodos 3 y 4 se separa, los nodos transmiten directamente mensajes de actualización para eliminar la ruta afectada por la falla del enlace. Cuando se produce un error en el enlace, la reparación de la ruta se realiza empleando la reparación de ruta local y global. Una reparación de ruta local es cuando los nodos intermedios intentan reparar la ruta al principio; sin embargo, si no hay rutas disponibles en los nodos intermedios, se envía un mensaje a la fuente y esta inicia una reparación de ruta global (Abdulrahman Ahmed, 2013).



**Figura 7-2:** Enrutamiento en AODV

Fuente: (Abdulrahman Ahmed, 2013)

#### Tabla de Enrutamiento

Cuando se necesita transferir un paquete a los nodos, se actualiza la tabla de enrutamiento. La tabla está formada inicialmente por los nodos más cercanos, pero posteriormente puede ser

ampliada cuando un nodo desea comunicarse con otro del cual no tiene la ruta requerida (Gómez Puerta, Posada Pérez, & Vallejo Velásquez, 2014).

#### Ventajas

- Su velocidad de convergencia, es decir que solo mantiene las rutas cuando las necesita, esto permite disminuir el tráfico en la red.
- Este protocolo soporta tráfico unicast, y broadcast.
- Utiliza números de secuencia y registro de costes para solucionar problemas de bucles cuando el enlace se rompe.
- Mantiene actualizadas las rutas con los nodos vecinos mediante el envío de paquetes Hello para descubrir las nuevas rutas hacia los nodos vecinos.

#### Desventajas

- La seguridad que ofrece AODV es muy poca por lo que la suplantación de identidad puede ser muy fácil, así como la implantación de un nodo maligno tampoco puede ser detectado por este protocolo.
- Tratar de implementar la seguridad en AODV resulta complicado, y agregar seguridad aumentaría su overhead.

#### 2.5.1.2. *Dynamic source routing (DSR)*

##### Principios Básicos

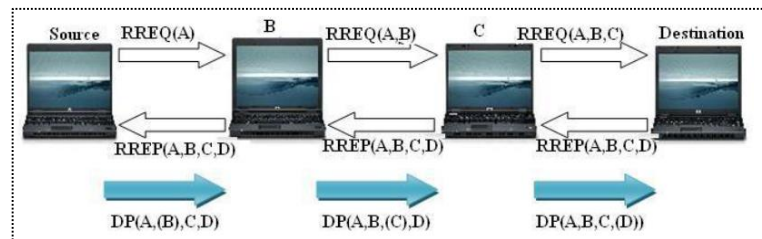
DSR o Enrutamiento de Fuente Dinámico utiliza el concepto de enrutamiento de origen. En el enrutamiento de origen, el remitente conoce todas las rutas salto por salto al destino. Todas las rutas se almacenan en el caché de ruta.

Tiene la capacidad de manejar enlaces unidireccionales. El remitente de los paquetes seleccionan y controlan la ruta utilizada para sus propios paquetes, que también admite funciones como el equilibrio de carga.

##### Fases de Operación

- Descubrimiento de la ruta: Durante este proceso, el nodo de origen descubre una trayectoria del nodo origen al nodo destino, exclusivamente cuando se tiene de por medio una petición, llamada flooding route request o solicitud de ruta de inundación (RREQ), la misma que envía y retransmite los nodos vecinos, para establecer la mejor ruta. Cuando el paquete alcanza el nodo destino, se transmite un mensaje RREP, confirmando la llegada de dicho paquete.

La figura 8-2 ilustra el procedimiento de descubrimiento de ruta. En el cual se tiene cuatro nodos (A, B, C y D), donde el origen es el nodo A y el destino el nodo D. Para enviar un paquete de datos del nodo A al nodo D, primero se verificará el caché de ruta, ya sea que tenga una ruta directa al nodo D o no. En el caso de que el nodo A no tenga una ruta directa al nodo D, debe transmitir un mensaje RREQ en la red que será recibido por el nodo vecino B. El nodo B verificará su caché de ruta, ya sea que tenga una ruta directa al nodo de destino D o no, si la ruta es encontrada al nodo destino D. Entonces, enviará un mensaje RREP al nodo origen A. En la respuesta de ese mensaje, el nodo origen A iniciará a enviar los paquetes de datos (DP) en la ruta descubierta. Por el contrario, si no descubrió la ruta de B hacia D, reenvía el mensaje RREQ al siguiente nodo C y almacena la ruta AB en el caché. El proceso continúa hasta que el mensaje RREQ llega al nodo de destino D, almacenando en caché las rutas AB, BC y CD y envía un mensaje RREP al nodo origen A.

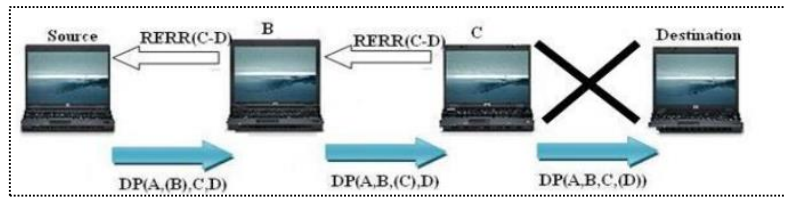


**Figura 8-2:** Descubrimiento de la ruta en DSR

Fuente: (Sajjad & Asad, 2009)

- Mantenimiento de la ruta: Utiliza dos tipos de mensajes, es decir, error de ruta (RERR) y acuse de recibo (ACK). Los mensajes recibidos con éxito por los nodos de destino envían un acuse de recibo al remitente. Tales como los paquetes transmitidos con éxito a los vecinos siguientes. Si hay algún problema en la red de comunicación, un mensaje de error de ruta denotado por RERR se transmite al emisor, que hay algún problema en la transmisión. En otras palabras, la fuente no obtuvo el paquete ACK debido a algún problema. Entonces la fuente obtiene el paquete RERR para reiniciar un nuevo descubrimiento de ruta. Al recibir el mensaje RERR, los nodos eliminan las entradas de la ruta.

La figura 9-2 ilustra cuatro nodos, es decir, A, B, C y D. El nodo A envía un mensaje al nodo de destino D. El mensaje continúa hasta el nodo C, mientras recibe el mensaje ACK hasta el nodo B. Cuando el nodo C reenvía el mensaje RREQ al nodo D y no recibe el mensaje ACK del nodo D. El nodo C reconoce que hay algún problema en la transmisión. Entonces, el nodo C envía un mensaje RRRER al nodo de origen A. A cambio, busca una nueva ruta al nodo de destino D (Sajjad & Asad, 2009).



**Figura 9-2:** Mantenimiento de la ruta en DSR

Fuente: (Sajjad & Asad, 2009)

#### Tabla de Enrutamiento

Su tabla de enrutamiento contiene las rutas completas con todos los nodos que la conforman la misma que permite forzar o evitar que un paquete pase por determinados nodos.

#### Ventajas

- Las rutas solo se mantienen entre nodos que quieren comunicarse.
- La sobrecarga es minimizada de acuerdo a su funcionamiento, debido al envío de mensajes periódicamente. Estos mensajes se transmiten solo si es necesario.

#### Desventajas

- Durante el descubrimiento de la ruta el encabezado del paquete puede ser grande debido al número de nodos por los que tiene que pasar para llegar al destino y en consecuencia al enrutamiento en el origen.
- El mecanismo de mantenimiento de ruta no repara localmente un enlace roto y la información de caché de ruta obsoleta también podría provocar inconsistencias durante la fase de reconstrucción de ruta. A pesar de que el protocolo funciona bien en entornos estáticos y de baja movilidad, el rendimiento se degrada al aumentar la movilidad.
- La inundación de la solicitud de ruta RREQ puede llegar a todos los nodos de la red.

#### 2.5.1.3. Temporally Ordered Routing (TORA)

##### Principios Básicos

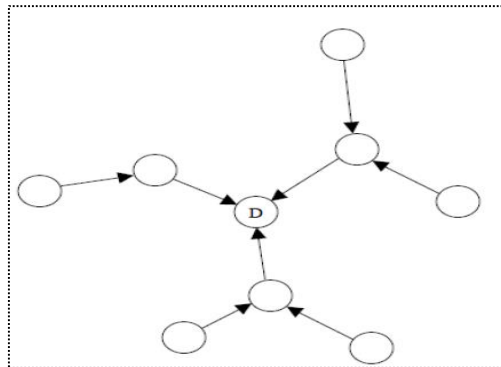
Algoritmo de enrutamiento temporal ordenado que es utilizado en grandes redes, los nodos almacenan información solo de sus nodos vecinos, lo que es una ventaja cuando la topología de red es cambiante. Los trayectos o las rutas se proporcionan de manera diferente es decir que no emplea la ruta más corta para la llegada de los paquetes de origen a destino.

##### Fases de Operación

La característica de TORA radica en que para llegar al destino proporciona al nodo emisor múltiples trayectos, define tres funciones: creación de rutas QUERY (QRY), mantenimiento de rutas UPDATE (UPD) y borrado de rutas CLEAR (CLR).



La creación de rutas básicamente asigna direcciones a los enlaces en una red no dirigida o parte de la red, la construcción de un gráfico acíclico dirigido (*Directed Acyclic Graph, DAG*) con raíz en el destino, tal como ilustra la figura 10-2.



**Figura 10-2:** Grafo acíclico dirigido arraigado en el destino

Fuente: (Hossain, 2010)

TORA asocia una altura con cada nodo en la red. Todos los mensajes en la red de flujo, desde un nodo con una mayor altura para un nodo con menor altura. Las rutas se descubrieron utilizando Query (QRY) y actualización de los paquetes (UPD). Cuando un nodo con enlaces descendentes necesita una ruta a un destino, se realizará la difusión de un paquete QRY. Este paquete QRY se propagará a través de la red hasta que alcanza un nodo que tiene una ruta o el destino en sí. Tal nodo a continuación transmite un paquete de UPD que contiene la altura del nodo. Cada nodo que recibe este paquete UPD establece su propia altura a una altura mayor que la especificada en el mensaje UPD. A continuación, el nodo puede transmitir su propio paquete UDP. Esto dará lugar a un número de enlaces dirigidos desde el paquete de origen al destino. Este proceso puede dar lugar a múltiples rutas. El mantenimiento de rutas refiere a reaccionar a los cambios topológicos de la red de tal manera que las rutas hacia el destino se restablezcan dentro de un tiempo finito, lo que significa que sus partes dirigidas vuelven a un gráfico orientado a destino dentro de un tiempo finito. Tras la detección de una partición de la red, todos los enlaces en la parte de la red que se ha convertido en particionado desde el destino se marcan como no dirigida para borrar rutas no válidas. El borrado de rutas se realiza mediante mensajes claros (CLR) (Calderón Parrales, 2016).

#### Tabla de Enrutamiento

Los nodos conectados a la red se facilitan entre sí las tablas de enrutamiento.

#### Ventajas

- Establece un valor de ponderación para cada nodo, donde el paquete se transmite de un nodo hacia otro solo si va de un valor mayor a uno menor. Así disminuye la sobrecarga de la red, fijando valores en los nodos y no empleando rutas del camino más corto.

- Libre de bucles para redes multisaltos que tienen una sobrecarga mínima frente a los cambios topológicos.

#### Desventajas

- NO elige un camino óptimo.
- El tiempo es un factor importante para el protocolo TORA, dado que la métrica de la altura o peso es dependiente del tiempo lógico de la falla del enlace, este protocolo atribuye que los nodos de la red son portadores de relojes sincronizados (lo cual se consigue mediante una fuente externa de tiempo como por ejemplo GPS), de esta manera no es claro si TORA puede funcionar adecuadamente en ambientes donde el sistema GPS no está disponible o no es confiable.

### 2.5.2. Proactivos (Table Driven)

Los protocolos de esta clasificación actualizan la información de la tabla de enrutamiento periódicamente, aún si la ruta no es necesaria o no se tiene transmisión de datos.

Para encontrar nodos nuevos y el camino que los lleva a ellos, los nodos envían paquetes utilizados, deduciendo que esos caminos serán útiles en cualquier momento de la transmisión. La ventaja de estos protocolos es que los nodos pueden obtener información actualizada de enrutamiento fácilmente para iniciar la transmisión de los datos. Entre las desventajas se tiene que debido a la recopilación de información mediante el enrutamiento de paquetes entre nodos hace que el consumo de más ancho de banda de red y demasiada información en los nodos para poder mantener las rutas, ralentiza la información al momento de actualizar cuando existe un fallo en algún enlace.

#### 2.5.2.1. Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

##### Principios Básicos

El protocolo DSDV pertenece a los algoritmos de vector distancia, a diferencia del protocolo AODV, envía una petición generando tráfico en la red debido a la constante actualización de la tabla de enrutamiento.

##### Fases de Operación

- Dentro de este protocolo se requiere que todos los nodos de la red móvil envíen un número de secuencia, que se incrementa periódicamente en dos y se transmite junto con otros mensajes de actualización de enrutamiento a todos los demás nodos vecinos.

- El número de secuencia va etiquetado en cada camino, el mismo que indica temporalmente la eficacia del camino, en conclusión los caminos más fiables corresponden a números de secuencia más altos. Por lo tanto cuando dos caminos tienen igual número de secuencia se elige el que tenga el menor costo, es decir aquel que tenga que recorrer un menor número de saltos. Si un nodo tiene el caso en el que el trayecto al destino no funciona, este otorga un valor alto al número de salto y un valor impar al número de secuencia, lo que significa que si el número de secuencia es un valor impar aquel camino no se puede alcanzar, al contrario de un valor par muestra que se puede alcanzar el destino.

#### Tabla de Enrutamiento

Una tabla de enrutamiento está asociada a cada nodo de la red que muestra el número de saltos que faltan recorrer y cual es el siguiente para alcanzar el destino. Al realizar el intercambio de información entre los nodos vecinos las tablas de enrutamiento se van actualizando continuamente.

#### Ventajas

- Garantías en el protocolo a no formar bucles.
- Selección de trazado: DSDV mantiene solo la mejor ruta en lugar de mantener varias rutas de acceso a todos los destinos. Con esto, la cantidad de espacio en la tabla de enrutamiento se reduce (Espíritu Castro, Estrada Burgos, & Vázquez González, 2012).

#### Desventajas

- Desperdicio de ancho de banda debido a la cantidad innecesaria de información de enrutamiento, incluso si no hay cambio en la topología de la red.
- DSDV no admite enrutamiento multi-camino.
- Es difícil determinar un intervalo de tiempo para el anuncio de las rutas.
- Es difícil mantener la publicidad de la tabla de enrutamiento para la red más amplia. Todos y cada host en la red debe mantener una tabla de enrutamiento para la información. Pero para las grandes redes esto llevaría a más consumo de ancho de banda (Espíritu Castro, Estrada Burgos, & Vázquez González, 2012).

#### 2.5.2.2. *Optimized Link State Routing (OLSR)*

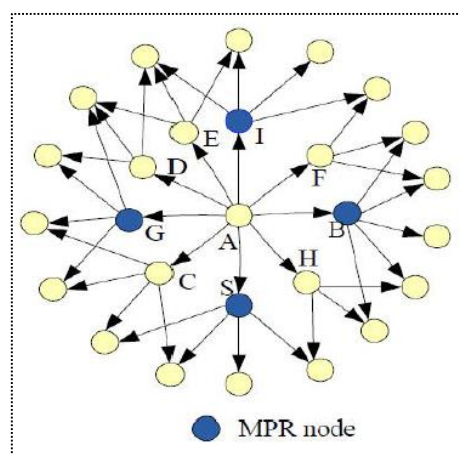
##### Principios Básicos

Enrutamiento Optimizado de Estado Enlace, pertenece a la clase de enrutamiento proactivo donde los nodos establecen una actualización constante de sus tablas de enrutamiento, emitiendo frecuentemente mensajes HELLO.

En un tipo de topología aleatoria o topología impredecible, OLSR funciona correctamente, al igual en redes con una cantidad mayor de nodos.

### Fases de Operación

Este protocolo está diseñado para disminuir la cantidad de duplicados de retransmisión. OLSR usa un mecanismo de salto por salto para reenviar paquetes. Para que esto sea posible, la información topológica se intercambia periódicamente entre los nodos mediante el uso de nodos de retransmisión multipunto (MPR). MPR es una característica útil que otros protocolos no tienen. Además, OLSR tiene: detección de vecinos, HELLO y mensajes de control de topología como características. En la estrategia de protocolo OLSR, los nodos MPR se seleccionan para ser utilizados para reenviar mensajes de control (TC). Como otros nodos no pueden enviar estos. Seleccionar MPR en la topología tiene el beneficio de reducir la cantidad de mensajes de control en la red, donde la sobrecarga de la red se minimiza. La figura 11-2 ilustra los nodos MPR y la forma en que reenvían mensajes, donde los nodos MPR (G, I, B y S), utilizan periódicamente mensajes TC para publicitar la información sobre un estado de enlace a nodos de red (Abdulrahman Ahmed, 2013).



**Figura 11-2:** Relé multipunto OLSR

**Fuente:** (Abdulrahman Ahmed, 2013)

Cada nodo transmite periódicamente un mensaje HELLO para detección de enlace, detección de vecinos y proceso de selección de MPR. Una detección de vecinos es un proceso en el que dos nodos se vinculan, detectan y se consideran mutuamente como vecinos solo si un enlace se establece simétricamente. Un mensaje HELLO enviado por un nodo contiene su dirección y todas las direcciones de sus vecinos. Cada nodo puede obtener información topológica hasta dos saltos desde un mensaje HELLO. El proceso de selección de MPR utiliza información de salto uno a uno simétrico para volver a establecer el cálculo de MPR, es decir, el recálculo de MPR. Esto ocurre cuando se ha detectado un cambio en la topología del vecino del primer o segundo salto. Cuando recibe la información de actualización, cada nodo recalcula y actualiza la ruta a

cada destino conocido. Un mensaje TC se usa para transmitir información topológica a través de la red, sin embargo, solo los nodos MPR se utilizan para reenviar los mensajes TC a los nodos en su tabla de enrutamiento (Abdulrahman Ahmed, 2013).

#### Tabla de Enrutamiento

Cada nodo de la red mantiene información sobre todas las rutas en la tabla de enrutamiento, cuando se necesita una ruta, la tabla está disponible inmediatamente.

#### Ventajas

- Reduce la sobrecarga de enrutamiento que se asocia comúnmente a los protocolos de enrutamiento basados en tablas.
- Reduce la cantidad de mensajes de control que se difunden en la MANET.

#### Desventajas

- Existe una sobrecarga inherente debido a la difusión periódica de mensajes de control.

### 2.5.2.3. *Loop-avoiding distance-vector (BABEL)*

#### Principios Básicos

Es un protocolo de enrutamiento de vector distancia para redes conmutadas por paquetes que está diseñado para ser robusto y eficiente tanto en redes inalámbricas de malla como en redes alámbricas. Opera en redes IPv4 e IPv6, y es considerado como un protocolo que tiene propiedades de convergencia rápida.

#### Fases de Operación

BABEL basa su enrutamiento en las ideas de vectores de distancia secuencial de destino (DSDV), el enrutamiento ad-hoc de vectores de distancia bajo demanda (AODV) y el protocolo de enrutamiento de puerta de enlace interior mejorado de Cisco (EIGRP), utilizando diferentes técnicas para evitar el bucle.

Tiene disposiciones para usar múltiples métricas computadas dinámicamente, también utiliza el recuento de saltos, puede configurarse para calcular automáticamente la latencia de un enlace e incluirlo en la métrica, dichas métricas son sensibles a interferencias de radio.

#### Tabla de Enrutamiento

Cada nodo mantiene una tabla, en la que se almacena para cada vecino la interfaz por la que se llega al vecino, dirección de la interfaz del vecino, historial de paquetes hello del vecino, coste de transmisión, número de secuencia.

### Ventajas

- Es robusto, eficiente tiene propiedades de convergencia rápida.
- Tiene múltiples estrategias para el cálculo de costos de los enlaces y métricas de ruteo.

### Desventajas

- Si se rompe un enlace de un nodo A con un vecino B, el coste del enlace pasa a valer infinito.

#### 2.5.2.4. *Geographic Routing Protocols (GRP)*

##### Principios Básicos

El enrutamiento geográfico usa información de ubicación para formular una búsqueda de ruta eficiente hacia el destino. Recopila información de red en un nodo de origen con una pequeña cantidad de gastos generales de control. De acuerdo con la información recopilada, el nodo de origen puede encontrar rutas y transmitir continuamente datos, incluso si la ruta actual está desconectada. El resultado de este enfoque es lograr una transferencia rápida con menos sobrecarga de mensajes de control (Bansal, Antil, & Jonish, 2015).

##### Fases de Operación

El enrutamiento geográfico solo requiere la propagación de información de topología de un solo salto, como el mejor vecino, para tomar decisiones de reenvío correctas. Su enfoque localizado reduce la necesidad de mantener tablas de enrutamiento y, por lo tanto, reduce la sobrecarga de control. No requiere inundación. Solo los nodos que se encuentran dentro de la zona de reenvío designada pueden reenviar el paquete de datos. La región de reenvío puede ser definida por el nodo de origen o por los nodos intermedios para excluir los nodos que pueden causar un desvío mientras se reenvía el paquete de datos.

La segunda propiedad del enrutamiento geográfico es su enrutamiento basado en la posición. Aquí un nodo requiere conocer solo la información de ubicación de su vecino directo. El mecanismo utilizado consiste en que cada nodo envía un paquete al nodo vecino más cercano al destino. La distancia euclidiana al destino se usa generalmente como métrica. Los protocolos de enrutamiento basados en posición tienen el potencial de reducir la sobrecarga de control y reducir la energía, ya que las inundaciones para el descubrimiento de nodos y la propagación del estado se localizan dentro de un solo salto (Battula & Khanna, 2013).

##### Tabla de Enrutamiento

La necesidad de mantener tablas de enrutamiento es reducida debido al enfoque localizado que maneja este protocolo.

### Ventajas

- El soporte de movilidad puede ser facilitado. Como cada nodo envía sus coordenadas periódicamente, todos sus vecinos actualizan sus tablas de rutas.
- Es escalable. El tamaño de la tabla de enrutamiento depende de la densidad de la red, no de la población de la red. Por lo tanto, se pueden realizar redes más amplias que consistan en miles de nodos sin formación de clúster.
- Se introducen gastos generales mínimos. La única información necesaria es la ubicación de los vecinos. Solo ocurren interacciones localizadas. La energía de procesamiento y transmisión se guarda y las dimensiones de la tabla de enrutamiento se reducen (Battula & Khanna, 2013).

### Desventajas

- Cada nodo en la red mantiene su propia tabla donde se enumera la ubicación de cada nodo por lo que la dificultad es seleccionar el nodo vecino preciso para enviar los datos.

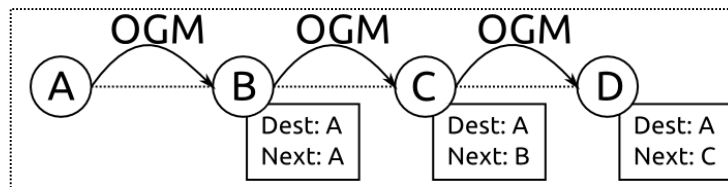
#### 2.5.2.5. *Better Approach To Mobile Ad-Hoc Networking (BATMAN)*

### Principios Básicos

Este protocolo mantiene proactivamente la información sobre la existencia de todos los nodos de la red que son accesibles con la comunicación de un solo salto o de múltiples saltos, la estrategia que utiliza es determinar para cada destino de la red un único salto vecino que pueda ser usado como la mejor puerta de enlace para comunicarse con el nodo destino.

### Fases de Operación

- El algoritmo que utiliza BATMAN se centra en aprender sobre el mejor salto próximo para cada destino, hace un análisis estadístico de la pérdida de paquetes del protocolo y la velocidad de propagación y no depende del estado o topología de la información de otros nodos.
- Los nodos transmiten periódicamente mensajes originarios (OGM) son paquetes User Datagram Protocol (UDP) que poseen: número de secuencia, dirección del nodo y un Time To Live (TTL).
- Para transmitir a los vecinos el receptor del OGM disminuye el TTL. A un nodo pueden llegar por diferentes caminos el mismo OGM para ello se dará de baja todas a excepción de la primera copia. Este proceso de transmisión se muestra en la figura 12-2.



**Figura 12-2:** Diagrama de BATMAN

Fuente: (Tamayo S)

- El mejor salto siguiente hacia el destino se puede determinar por medio de las ventanas deslizantes evaluando la cantidad de entradas en dichas ventanas y escogiendo al nodo vecino con un OGM mayor.

#### Tabla de Enrutamiento

La tabla de enrutamiento se actualiza cuando un nodo recibe un OGM conteniendo la dirección de origen del emisor del OGM, el número de secuencia actual que se refiere al número de secuencia de la última OGM la cual se emplea para encontrar duplicados e información desactualizada y ventanas deslizantes que son una lista de números de secuencia que almacena el salto anterior.

#### Ventajas

- Elige la ruta más confiable hacia el próximo salto en la decisión de ruteo de nodos individuales. Este acercamiento ha mostrado en práctica que es confiable y libre de loops (búcles).
- Los paquetes de datos del protocolo BATMAN contienen muy poca información, lo que provoca que sean muy pequeños y que su transmisión sea rápida.
- Cada nodo percibe y mantiene la información sobre el mejor salto hacia el resto de nodos.

#### Desventajas

- Convierte en innecesaria la necesidad de un conocimiento global acerca de los cambios en la topología.

## 2.6. Métricas de Enrutamiento

A continuación se detalla sus respectivas descripciones:

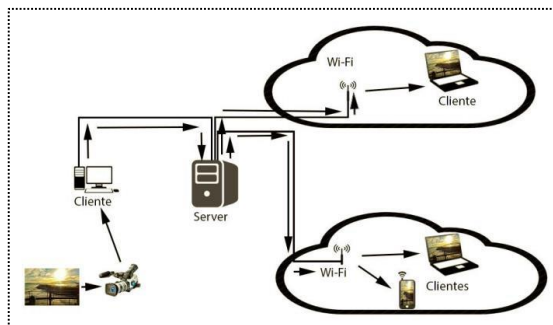
- Tráfico de Enrutamiento(bit/s): Es el tráfico total transmitido y recibido en bit/s durante todo el tiempo de la simulación.
- Pérdida de Paquetes (bit/s): es la diferencia entre la cantidad total de paquetes enviados y la cantidad total de paquetes recibidos. La calidad de video es afectada por esta pérdida de paquetes.



- Jitter (s): es la variación del tiempo en que llegan los datos, este parámetro varía por causa de la congestión de la red o los cambios de ruta.
- Latencia (s): es el retraso de extremo a extremo del paquete que mide el tiempo empleado para enviar un paquete desde la capa de aplicación del remitente a la capa de aplicación del nodo de destino. Esta estadística registra datos de todos los nodos en la red (Abdulrahman Ahmed, 2013).
- Throughput (bit/s): equivale al número total de bits recibidos y se expresa en bytes o bits por segundo (byte/s o bit/s).

## 2.7. Video Streaming

Esta transmisión trata sobre la distribución de datos de voz y video mediante el uso de una red como se muestra en la figura 13-2, permitiendo que el usuario este en la posibilidad de reproducir la voz y el video al mismo tiempo que se lo descarga.



**Figura 13-2:** Transmisión de video

**Fuente:** (Arroyo Ruiz, 2015)

## 2.8. Mecanismos de Videoconferencia en Redes AD-HOC

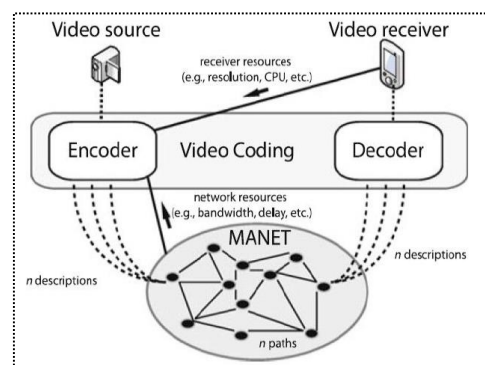
Durante varios años, la transmisión de video a través de internet se ha convertido en un servicio bien establecido teniendo aplicaciones exitosas, incluida la videoconferencia. Los desarrollos recientes de la red inalámbrica y los dispositivos móviles, suministran la plataforma técnica para ampliar las aplicaciones y servicios de transmisión de video con los usuarios. En el caso de MANET, los enlaces inalámbricos presentan desafíos adicionales para proporcionar servicios de transmisión de calidad para los usuarios finales. Los problemas que están sujetos a transmisión de video en redes ad-hoc son el resultado de recursos con baja capacidad (ancho de banda, seguridad y capacidad de almacenamiento), alta tasa de errores (pérdida de conexión, errores de bit y cambios de ruta) y entorno cambiante (disponibilidad y cantidad de recursos).

Las técnicas que se presentan como propuesta para la transmisión de video sobre MANET, pretenden agregar redundancia o mejorar la eficiencia. Para mejorar la eficiencia propone:

- Optimizar la codificación de video para hacer coincidir la velocidad de bits con la red; también asocia con los receptores la calidad del video decodificado.
- Optimizar las rutas para una calidad adecuada, a menudo en varias rutas se duplican del codificador de video.
- Habilitar la priorización de paquetes en la capa MAC, para que el límite de retransmisión sea óptimo y coincida con el retardo de extremo a extremo requerido.

## 2.9. Técnicas de Codificación de Video

Uno de los principales desafíos a la hora de realizar transmisiones con MANET se debe a la cantidad limitada de recursos. Para enfrentar estos desafíos se debe tener como prioridad la eficiencia del códec involucrado, es decir, su capacidad de reducir la velocidad de transmisión de bits mientras que al mismo tiempo conserva una calidad aceptable de video (Lindeberg, Kristiansen, Plagemann, & Goebel, 2011). Como se muestra en la figura 14-2, donde se tiene de emisor un codificador y de receptor un decodificador.



**Figura 14-2:** Codificación de video

Fuente: (Abdulrahman Ahmed, 2013)

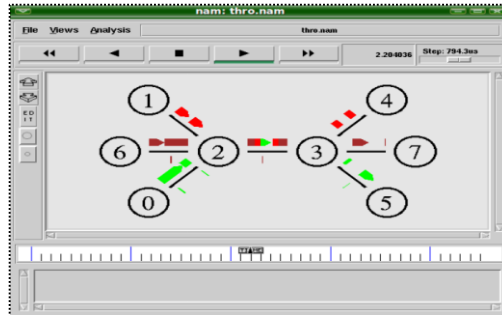
## 2.10. Plataformas de Simulación de Eventos Discretos

Estas plataformas permiten realizar simulaciones de escenarios e interactuar con el software es decir se puede crear, modificar y configurar escenarios planteando un conjunto de nodos para formar redes y configurar los parámetros necesarios para su funcionamiento. Dentro de las plataformas que más se emplean se tiene:

### 2.10.1. Network Simulator 2 (NS-2)

NS-2 es una herramienta de simulación de eventos discretos que puede ser ejecutado sobre Windows o Linux ya que es desarrollado en C++ y es de uso académico para investigaciones dentro de las telecomunicaciones. Puede realizar simulaciones de redes cableadas e inalámbricas

por que esta basada en software libre como se observa en la figura 15-2. Este lenguaje C++ modela el comportamiento de los nodos trabajando con scripts u Object-oriented Tool Command Language (oTcl) que permiten al programador interactuar y diseñar el modelo de red detallando los parámetros y los componentes de dicha red a ser simulada.

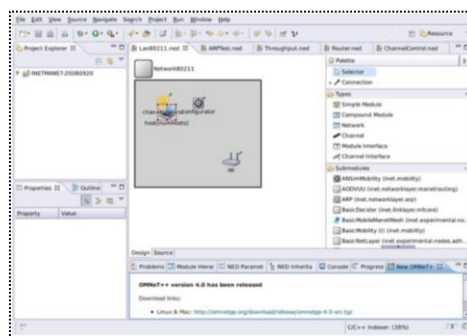


**Figura 15-2:** Plataforma NS-2

Fuente: [academiccollegeprojects.com/ns2-projects/](http://academiccollegeprojects.com/ns2-projects/)

### 2.10.2. OMNeT++

OMNeT ++ es una biblioteca de simulación de C++ con una arquitectura modular flexible que se utiliza para ámbitos de simuladores de red, modelado y sistemas de colas. Su diseño es orientado a objetos para poder escalar en la simulación de grandes redes. Posee algunos módulos y soporte a través de líneas de comandos, su principal módulo es el GUI de gráfico y texto; y el núcleo de la arquitectura que es el módulo de control de canal y su medio de propagación es el espacio libre. En la figura 16-2 se muestra el entorno de simulación de la plataforma OMNeT++ para el modelado de redes.



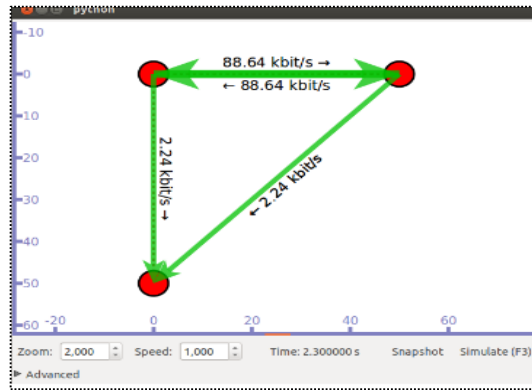
**Figura 16-2:** Plataforma OMNeT++

Fuente: (Cornejo Díaz, 2014)

### 2.10.3. Network Simulator 3 (NS-3)

NS-3 se define como una herramienta de simulación de redes escrito en el lenguaje de programación C++ y Python, no compatible con NS-2, este programa es más usado ya que se emplea en distintas plataformas como Windows, Solaris y Linux.

En NS-3 se pueden crear o modificar nuevos protocolos; realizar mediciones de parámetros como jitter, throughput y estado de filas; realizar una caracterización de tráfico permitiendo interpretar la información con la ayuda de wireshark y generar una visualización de las simulaciones como se observa en la figura 17-2.



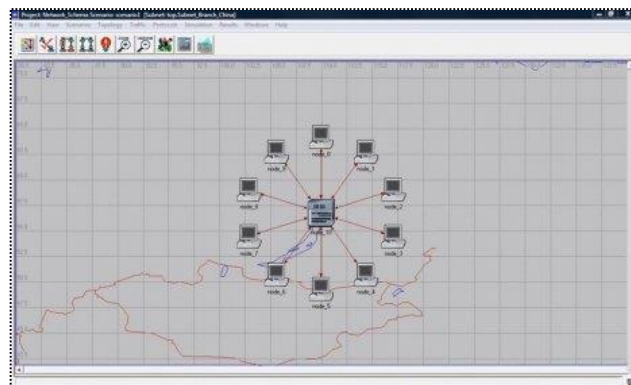
**Figura 17-2:** Interfaz NS-3

**Fuente:** (Cornejo Díaz, 2014)

#### 2.10.4. Riverbed Modeler Academic

En la figura 18-2 se muestra la plataforma Riverbed Modeler que es una herramienta de simulación creada para toda clases de redes, incorpora herramientas para todas las fases de un estudio, incluido el diseño de modelos, la simulación, la recopilación de datos y el análisis de datos.

Permite desarrollar protocolos y tecnologías inalámbricos de su propiedad, evaluar los protocolos basados en estándares, simular y comprobar diseños de tecnología en escenarios realistas antes de la producción. Al comparar con simuladores de competencia dentro del sector informático, Modeler es más rápido en una simulación de eventos discretos lo cual con lleva al ahorro de tiempo en las simulaciones.

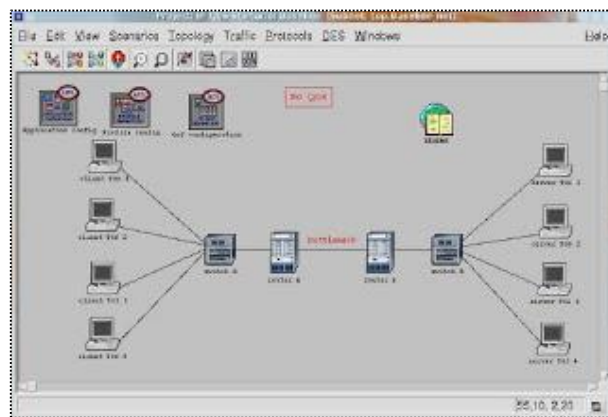


**Figura 18-2:** Interfaz Riverbed Modeler

**Fuente:** [riverbed-modeler-academic-edition.software.informer.com/17.5/](http://riverbed-modeler-academic-edition.software.informer.com/17.5/)

### 2.10.5. *Optimized Network Engineering Tool (OPNET Modeler)*

OPNET es un programa ampliamente utilizado en la industria para modelar y simular sistemas de comunicaciones. Permite diseñar y estudiar redes, dispositivos, protocolos y aplicaciones, brindando escalabilidad y flexibilidad, cualidades que le permiten ofrecer a sus usuarios trabajar en procesos de investigación y desarrollo como se aprecia en la figura 19-2. Está basado en la teoría de redes de colas e incorpora las librerías para facilitar el modelado de las topologías de red. Soporta un amplio rango de tecnologías de red tipo LAN, MAN y WAN. Proporciona acceso directo al código fuente siendo esto una gran ventaja para los nuevos programadores. Opnet Modeler es una poderosa herramienta simulación y evaluación de las prestaciones de una red bajo condiciones como: flujos variables de tráfico, pérdida de paquetes, caídas de enlaces, etc. (MIT, 2012).



**Figura 19-2:** Plataforma OPNET

**Fuente:** [blog-del-linformatico.blogspot.com/2008/09/simulador-opnet.html](http://blog-del-linformatico.blogspot.com/2008/09/simulador-opnet.html)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se definió la metodología empleada y el proceso que se desarrolló para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación.

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo cuasi experimental, debido a que no existe una manipulación absoluta de las variables, es decir estas se observaron y describieron tal como se presentaron en su ambiente. Con un diseño longitudinal, ya que la información se llevó a comparaciones para observar a un grupo de sujetos por un periodo de tiempo.

#### 3.2. Métodos y Técnicas de Investigación

Para el trabajo de investigación se empleó los siguientes métodos:

*Método Documental:* Se utilizó para la recopilación de datos de fuentes documentales que permiten redescubrir hechos, sugerir problemas y soluciones, para ello se empleó artículos científicos, tesis y libros relacionados al tema de investigación los cuales se mencionan en la bibliografía.

*Método Científico:* Con este método se planteó la formulación del problema producto de la observación, definiendo y delimitando el tema de estudio para luego formular posibles soluciones las cuales fueron sometidas a un proceso de pruebas con la ayuda de la plataforma OPNET que permite la simulación de la red Manet con los protocolos proactivos y reactivos, obteniendo los resultados los mismos que se analizaron e interpretaron mediante el uso de tablas y gráficas.

*Método Inductivo:* Se empleó en la etapa de observación para postular una hipótesis que brinde una solución al problema planteado.

*Método Analítico:* Este método de investigación permitió revisar y analizar separadamente los elementos o partes de un todo que constituye la ejecución del proyecto, estableciendo una comparación para el análisis de variables específicas como: tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y throughput, dichas variables

determinan el rendimiento de la red Manet con cada uno de los protocolos proactivos y reactivos.

*Método Deductivo:* Que partió de los datos generales para obtener conclusiones particulares mediante un razonamiento lógico, es decir las conclusiones fueron obtenidas mediante el estudio de los resultados de la simulación.

Las técnicas de investigación utilizadas fueron:

*Revisión Documental:* para la recopilación de archivos de datos con el objetivo de obtener información relacionada al tema de estudio.

*Síntesis:* se utilizó para analizar y sintetizar la información recopilada, lo que permitió estructurar las ideas.

*Preguntas socráticas:* con esta técnica se plantearon interrogantes de manera lógica y fundamentada para encontrar respuestas con respecto al tema de estudio.

*Observación:* para verificar los datos y su comportamiento, permitiendo determinar los resultados de las pruebas simuladas en la plataforma.

### 3.3. Proceso para el desarrollo del trabajo de investigación

En la figura 1-3 muestra el proceso de desarrollo para el presente trabajo de investigación.



**Figura 1-3:** Diagrama de bloques del trabajo de investigación

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

#### 3.3.1. Comparativa y Selección de Protocolos de Enrutamiento para Redes MANETS

Todos los protocolos analizados en el capítulo II se utilizan en redes móviles ad-hoc, es por ello que se realizó una comparación de sus principales características, generando un conjunto de criterios de selección para determinar el que mejor se adapta a la red implementada (Coya Rey,

Ledesma Quiñones, & Baluja García, 2014). A continuación se detallan los factores que influyeron en la comparación:

- Métricas de enrutamiento: establecen la forma en que seleccionan las rutas dentro de la red.
- Algoritmo de enrutamiento: su función es establecer la ruta que tenga el mínimo coste para enviar los paquetes al destino.
- Libre de lazos: determina si el protocolo puede evitar los lazos en la red.
- Escalabilidad: determina si es posible o no que el protocolo pueda incluir nodos nuevos sin la necesidad de afectar el rendimiento de la red.
- Confiabilidad: determina la garantía que el protocolo entrega para que los paquetes lleguen al destino.
- Balance de carga: se llama así al sistema de distribución del tráfico homogéneo en la red evitando sobrecargas.
- Control de congestión: es la técnica de proporcionar recursos a la red, para que trabaje con un óptimo rendimiento.
- Throughput: Razón promedio de entregas exitosas de paquetes en un canal de comunicación.
- Implementación: versiones desarrolladas a lo largo del tiempo de los protocolos para programas de computadoras.

Para tener un criterio de evaluación óptimo se asigna pesos a los parámetros de comparación, según la importancia dentro de la red, así se obtiene los resultados de la tabla 1-3:

**Tabla 1-3:** Criterio de evaluación para los protocolos de enrutamiento

<b>Métricas de enrutamiento</b>	Según el número de métricas que utiliza: 1 o 2
<b>Algoritmo de enrutamiento</b>	Según la importancia del algoritmo: 1 - Estado de Enlace, 2- Source Routing, 3- Vector Distancia
<b>Libre de lazos</b>	1 (Si) , 0 (No)
<b>Escalabilidad</b>	1 (Si) , 0 (No)
<b>Confiabilidad</b>	1 (Si) , 0 (No)
<b>Balance de Carga</b>	1 (Si) , 0 (No)
<b>Control de Congestión</b>	1 (Si) , 0 (No)
<b>Throughput</b>	Mejora (1), Disminuye (0)
<b>Implementación</b>	Según el número de plataformas de simulación

Fuente: (Coya Rey, Ledesma Quiñones, & Baluja García, 2014)

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018



**Tabla 2-3:** Comparación entre Protocolos Reactivos

Protocolo Reactivo	Métrica de enrutamiento	Algoritmo de enrutamiento	Libre de lazos	Escalabilidad	Confiabilidad	Balace de carga	Control de congestión	Rendimiento	Implementación	Total Peso
AODV	Camino más corto y más rápido  (2)	Vector Distancia  (3)	Si  (1)	Si  (1)	Si  (1)	No  (0)	Si  (1)	Disminuye con la movilidad  (0)	Omnet++ Ns-3 Riverbed OPNET (4)	13
DSR	Saltos camino más corto  (1)	Source Routing  (2)	Si  (1)	No  (0)	Si  (1)	No  (0)	Si  (1)	Disminuye con la movilidad  (0)	Linux Ns-3 Riverbed OPNET (4)	10
TORA	Conteo de saltos  (1)	Estado de enlace  (1)	Si  (1)	No  (0)	Si  (1)	No  (0)	No  (1)	Mejor en comparación con DSDV  (1)	Ns-2.34 Riverbed OPNET (3)	9

**Fuente:** (Coya Rey, Ledesma Quiñones, & Baluja García, 2014)

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

La tabla 2-3, muestra la comparativa de los protocolos reactivos, donde a AODV se le adjudica un peso mayor con respecto a DSR y TORA, es decir posee mejores características en cuanto a su métrica empleada, algoritmo utilizado, es libre de lazos, confiable, controla la congestión y su implementación abarca la mayor cantidad de plataformas.

**Tabla 3-3:** Comparación entre Protocolos Proactivos

Protocolo Proactivo	Métrica de enrutamiento	Algoritmo de enrutamiento	Libre de lazos	Escalabilidad	Confiabilidad	Balace de carga	Control de congestión	Rendimiento	Implementación	Total Peso
DSDV	Camino más corto (1)	Vector Distancia (3)	Si (1)	No (0)	Si (1)	No (0)	Si (1)	Disminuye con la movilidad (0)	Ns-3 (1)	8
OLSR	Camino más corto (1)	Estado de Enlace (1)	Si (1)	Si (1)	Si (1)	No (0)	No (0)	Disminuye con la movilidad (0)	Linux Ns-2 Ns-3 Riverbed OPNET (5)	10
BABEL	Calidad del enlace (1)	Vector Distancia (3)	Si (1)	Si (1)	No (0)	No (0)	No (0)	Disminuye con la movilidad (0)	Linux Ns-3 (2)	8
GRP	Salto al destino (1)	Source Routing (2)	Si (1)	Si (1)	Si (1)	Si (1)	Si (1)	Disminuye con la movilidad (0)	Riberved OPNET (2)	10
BATMAN	Mejor salto (1)	Estado de Enlace (1)	Si (1)	No (0)	Si (1)	No (0)	Si (1)	Disminuye con la movilidad (0)	Linux(Ubuntu) Ns-3 (2)	7

Fuente: (Coya Rey, Ledesma Quiñones, & Baluja García, 2014)

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

La tabla 3-3, muestra la comparativa de los protocolos proactivos, donde GRP y OLSR se les adjudica un peso mayor con respecto a DSDV, BABEL y BATMAN, es decir posee mejores características en cuanto a su métrica empleada, algoritmo utilizado, es libre de lazos, confiable, controla la congestión y su implementación abarcan algunas plataformas.

En base a las tablas 2-3 y 3-3, donde se realizó la comparación entre protocolos reactivos y proactivos, se seleccionan los protocolos de mayor peso para utilizar en las simulaciones de la red, así para los protocolos reactivos se utiliza AODV y para los protocolos proactivos OLSR y GRP, y en base a los estudios realizados en trabajos anteriores también se selecciona los protocolos reactivos DSR y TORA para extender la evaluación de los mismos.

### 3.3.2. Selección de las Métricas de Rendimiento

Para seleccionar las métricas adecuadas para evaluar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento se realizó una comparación con trabajos anteriormente desarrollados, como se muestra en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Comparación de trabajos anteriores vs. Métricas de rendimiento

Trabajo	Protocolos de Enrutamiento	Aplicación	Métricas de rendimiento
[1]	AODV OLSR	Video Conferencia	End-to-end delay Packet delay variation Normalized routing load
[3]	AODV AOMDV DSR OLSR	FTP CBR	Paquetes Enviados Paquetes Recibidos Paquetes Reenviados Paquetes Desechados Energía Consumida
[13]	AODV DSR DSDV	FTP TCP	Paquetes de Enrutamiento Tiempo de Convergencia
[20]	AODV DSR GRP OLSR	Database	Delay Load Media Access Delay Network Load Throughput
[23]	AODV OLSR TORA	Diferentes tamaños de archivos	Latencia Throughput Network Load
[24]	AODV DSR OLSR	FTP	Delay Network Load Throughput
[25]	AODV DSR	Voz GSM	Throuhgput Latencia Carga de la Red Número de Saltos por ruta Tráfico Recibido Tráfico Enviado

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

Como se aprecia en la tabla 4-3. las métricas de rendimiento que más se utilizan para analizar los protocolos de redes Manets son: tráfico de enrutamiento, latencia, throughput y pérdida de

paquetes. Por lo tanto estos son los parámetros que se emplearon para evaluar los protocolos de enrutamiento. Sumado a estas métricas el jitter que es inevitable en las redes de paquetes (Alvarez Valderas, 2010) y el porcentaje de utilización del canal.

### 3.3.3. *Tamaño de la Muestra*

La muestra se obtuvo mediante la fórmula estadística para una población no definida. Así:

$$n = \frac{z^2 \times p \times q}{e^2} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

z= nivel de confianza de 0.95% que equivale a 1.96

p= probabilidad 0.5

q=No probabilidad 0.5

e= Error estándar 5% (valor estándar usado en las investigaciones)

A continuación reemplazando en la ecuación 1-3 se obtiene:

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2}$$

$$n = 384,16$$

Por cada protocolo se debe tomar 385 mediciones pero como se establecieron 6 métricas de rendimiento entonces el número de mediciones por cada métrica de enrutamiento es m=64,16 es decir 65.

### 3.3.4. *Evaluación y Selección de la Plataforma de Simulación de Eventos Discretos*

Después de mencionar en el capítulo anterior las plataformas existentes para la simulación de eventos discretos, se realizó un análisis comparativo bajo estudios anteriores de las plataformas más utilizadas para la simulación de redes Manets, mencionando sus características como: capacidad de aprendizaje que adquiere el usuario al utilizar la plataforma, el tipo de licencia que posee, el uso que se le da a la plataforma es decir de uso investigativo o educativo, el soporte del sistemas operativo, la fiabilidad en el uso de la plataforma, la flexibilidad a cambios o modificaciones en la red y la facilidad para la creación y modificación de escenarios. La tabla 5-3. muestra las características de la plataforma asociada su nivel de medición.

**Tabla 5-3:** Características de las plataformas

<b>Características</b>	<b>NS-2</b>	<b>NS-3</b>	<b>OMNeT++</b>	<b>RIVERBED</b>	<b>OPNET</b>
Aprendizaje	Mucho	Mucho	Mucho	Mucho	Mucho
Licencia Libre	Sí	Sí	Sí	Sí	Propietaria
Uso Investigativo	Poco	Muy	Poco	Nada	Muy
Soporte Sistema Operativo	Windows Linux	Windows Unix Linux	Windows Unix	Windows	Windows
Fiabilidad	Muy	Poco	Muy	Poco	Muy
Flexibilidad	Poco	Nada	Poco	Muy	Muy
Facilidad de configuración	Poco	Poco	Poco	Poco	Muy

**Fuente:** (Niama Borja, 2017)

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

Las características mencionadas son consideradas como necesarias para realizar el análisis de la plataforma que se emplea para la evaluación de los protocolos en redes Manets. Para determinar la plataforma se utiliza la escala de Likert que es comunmente utilizada por los investigadores para medir tanto el grado positivo como neutral y negativo de cada enunciado.

Por lo tanto se definieron niveles de medición con un punto medio, cuantificando en una escala del uno (1) al tres (3), como se muestra en la tabla 6-3. teniendo la ponderación de las características descritas anteriormente.

**Tabla 6-3:** Ponderación de las plataformas

<b>Escala de Likert</b>	
<b>Valor</b>	<b>Nivel de medición</b>
1	Nada – No – Uno
2	Poco – Propietario – Dos
3	Mucho o Muy – Sí – Tres

**Fuente:** Escala de Likert

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

Con la tabla 6-3 se valora a las plataformas, obteniendo uno de mayor resultado y es la plataforma que se utilizó para el diseño de la red Manet. Así la tabla 7-3, muestra en resumen las características con su ponderación.

**Tabla 7-3:** Ponderación de las plataformas

<b>Características</b>	<b>NS-2</b>	<b>NS-3</b>	<b>OMNeT++</b>	<b>RIVERBED</b>	<b>OPNET</b>
Aprendizaje	3	3	3	3	3
Licencia Libre	3	3	3	3	2
Uso Investigativo	2	3	2	1	3
Soporte de Sistema Operativo	2	3	2	1	1
Fiabilidad	3	2	3	2	3
Flexibilidad	2	1	2	3	3
Facilidad de configuración	2	2	2	2	3
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>18</b>

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

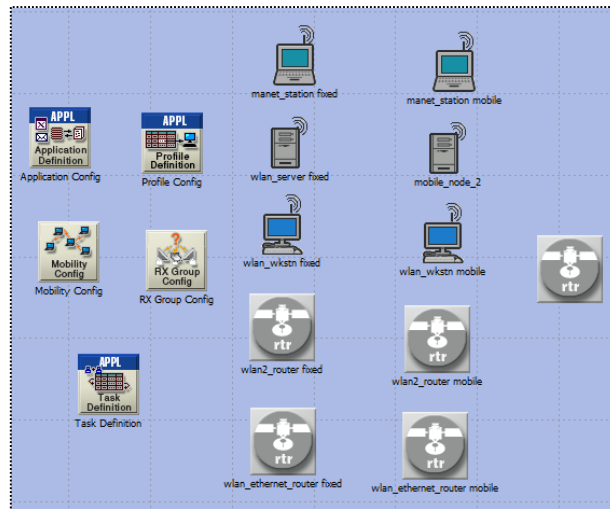
En la tabla 7-3 se puede apreciar el total del análisis de las características de cada plataforma, obteniendo como resultado que OPNET alcanza una mayor puntuación de 18 en comparación con NS-2, NS-3, OMNeT++ y RIBERBED que obtuvieron valores menores, concluyendo que OPNET cumple con las características que se necesita para la simulación de una red Manet.

#### *3.3.4.1. OPNET Modeler*

Esta herramienta de ingeniería, se utiliza para diseñar, modelar y analizar redes de comunicación. Es el motor de simulación de eventos discretos más rápido para redes ad-hoc y evaluación del rendimiento de sus protocolos. Modelan dispositivos de comunicación, protocolos, tecnologías y arquitecturas, y simulan su rendimiento en un entorno de redes virtuales dinámico (Riverbed, 2018).

#### *3.3.4.2. Nodos de OPNET*

Los nodos se encuentran en la paleta de objetos de Manet y existen diferentes nodos como se muestra en la figura 2-3. Con dichos nodos se crea la red ad-hoc para evaluar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento.



**Figura 2-3:** Nodos en OPNET para Manet

**Fuente:** Mónica F. Vimos R, 2018

A continuación se describen los nodos que se usan principalmente en Manet:

*Application Config - Configuración de la aplicación:* Se utilizó para configurar una o más aplicaciones en la red para un grupo de usuarios. Por el objeto de configuración de perfil múltiples aplicaciones están organizadas.

*Profile Config - Configuración de perfil:* este nodo de objeto se encuentra en una posición intermedia entre usuarios y aplicaciones en la red. Se utilizó para configurar un perfil para los usuarios. Por ejemplo un perfil de usuario puede ser FTP, HTTP, videoconferencia, etc., los cuales pueden funcionar en serie o concurrentemente.

*Mobility Config - Configuración de movilidad:* se configuró para que los nodos en la red se pueden mover es decir nodos móviles en toda la red.

*Servidores y estaciones de trabajo de LAN inalámbrica:* estos nodos se utilizaron para las aplicaciones configuradas. El nodo de servidor se usó para configurar una aplicación en toda la red para proporcionar un servicio específico (HTTP, FTP, videoconferencia, etc.). Las estaciones de trabajo se emplearon como destinos de este tráfico de datos.

### 3.3.5. Diseño de la Red Manet

Para crear la red ad-hoc se utilizó el simulador OPNET el cual obtuvo una ponderación de 18 puntos, esta plataforma suministra los nodos que se necesita para crear y configurar la red asignando valores a los parámetros de la red. A continuación se menciona los nodos utilizados en la red:

- Estaciones manets como nodos móviles para enviar y recibir el tráfico de datos.

- Aplicacion Config para la configuración de la aplicación de videoconferencia y crear el tráfico de datos.
- Profile Config para la configuración de un perfil para usuarios.
- Mobility Config para que los nodos puedan moverse aleatoriamente.
- En el servidor configurar una aplicación en toda la red para proporcionar el servicio de videoconferencia.

### 3.3.5.1. Distribución de los Escenarios

Se distribuyeron los escenarios de manera cambiante en: cantidad de nodos, número de clientes y los protocolos AODV, DSR, TORA, GRP y OLSR para analizar y evaluar el rendimiento de los protocolos de enrutamiento. Para el número de nodos se estableció en 20 y 40 nodos con un tamaño de la red de 1000×1000 m (Sajjad & Asad, 2009). En las simulaciones, los nodos móviles recibieron tráfico de una fuente común. La mayoría de los estudios de comparación han utilizado fuentes de tasa de bits constante (Nyirenda & Mwanza, 2009). Del primer grupo de escenarios; 10 nodos son intermedios y 10 nodos clientes, y para el segundo grupo; 20 nodos son intermedios y 20 nodos clientes. Sumando un total de 10 escenarios como se muestra en la la tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Distribución de los escenarios

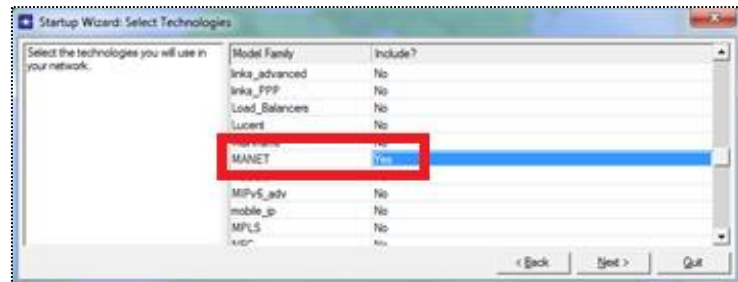
Número de Nodos	Protocolo	N. Clientes	N. Intermedios
20	AODV	10	10
	DSR		
	TORA		
	GRP		
	OLSR		
40	AODV	20	20
	DSR		
	TORA		
	GRP		
	OLSR		

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R. 2018

### 3.3.5.2. Modelado de la Red Manet

Para modelar la red se estableció un proyecto bajo el tipo de tecnología de la red como es MANET, así se muestra en la figura 3-3.



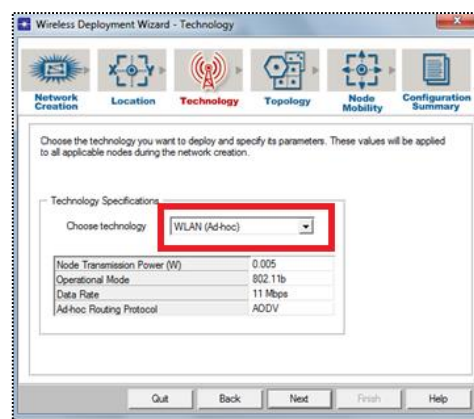


**Figura 3-3:** Tecnología Manet del proyecto

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

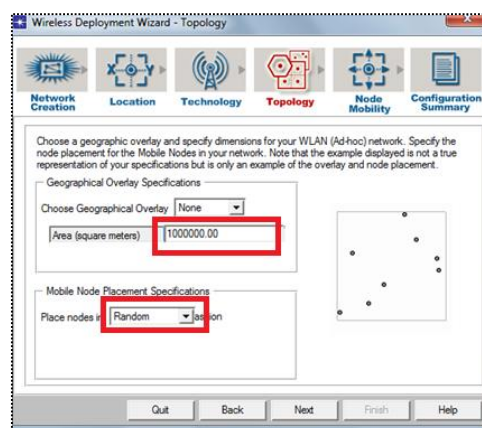
### 3.3.5.3. Creación de la Red Manet

Para crear una red ad-hoc en OPNET se puede implementar de dos formas ya sea automática o manual generando las topologías de red. Para el trabajo de investigación se realizó automáticamente, es decir utilizando la configuración rápida y especificando los parámetros de la red como: la tecnología de la red WLAN(Ad-hoc), la topología de los nodos los cuales son aleatorios y el área en metros cuadrados, así como se observa en las figuras 4-3 y 5-3.



**Figura 4-3:** Tecnología de la red

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

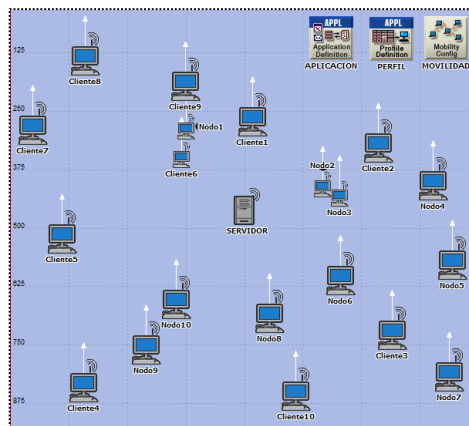


**Figura 5-3:** Topología de la red

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

### 3.3.5.4. Configuración de la Red

Se estableció una área de simulación de  $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ , donde el servidor y los nodos móviles se distribuyeron de manera aleatoria dentro del área geográfica los dos casos de red: 20 nodos y 40 nodos (Sajjad & Asad, 2009). En las simulaciones, los nodos móviles recibieron tráfico de una fuente común. La mayoría de los estudios de comparación han utilizado fuentes de tasa de bits constante (Nyirenda & Mwanza, 2009). La figura 6-3 ilustra el entorno de la red ad-hoc con 20 nodos, donde los nodos de destino o nodos clientes se comunicaron con el servidor, donde se asignó posiciones iniciales y utilizaron uno o más nodos intermedios para la comunicación.

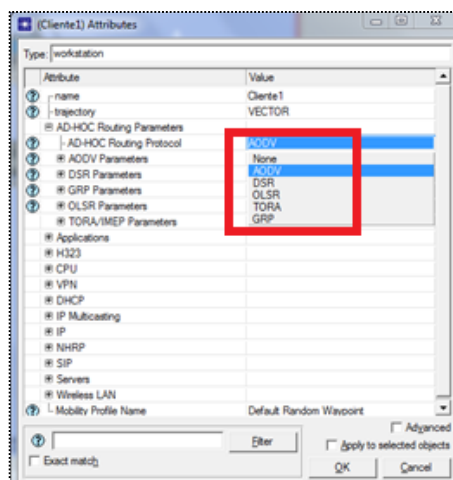


**Figura 6-3:** Escenario en OPNET con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica F. Vimos R. 2018

### 3.3.5.5. Configuración de los Protocolos de Enrutamiento

La configuración del protocolo de enrutamiento ad-hoc consistió en seleccionar el protocolo a utilizar dentro de la red como se muestra en la figura 7-3. Estos protocolos se configuraron en todos los nodos de la red.



**Figura 7-3:** Protocolo de enrutamiento AD-HOC

Realizado por: Mónica F. Vimos R. 2018

### 3.3.5.6. Configuración de Movilidad

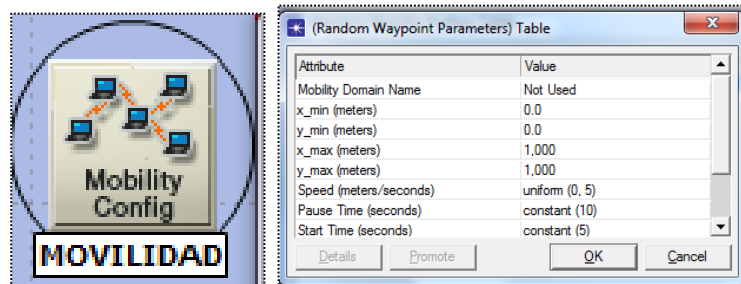
Los nodos que se utilizaron en toda la red están configurados como nodos móviles bajo el parámetro de Random Waypoint, este modelo de movilidad se utiliza como estándar en el campo de las redes ad-hoc permitiendo evaluar el protocolo de enrutamiento MANET. Random Way Point Mobility Model (RPW) emplea un "tiempo de pausa" durante los cambios de velocidad y dirección. Al principio, los nodos móviles escogen el destino aleatorio para su movimiento. Antes de su movimiento la velocidad de los nodos se define correctamente y es uniforme. El "tiempo de pausa" hace referencia al instante en que el nodo se detiene durante el tiempo especificado después de llegar al destino. Después de que se termina el "tiempo de pausa", el nodo vuelve a elegir el destino aleatorio para poder moverse, se debe tener en cuenta que si el "tiempo de pausa" se establece en '0', quiere decir que es un modelo de movilidad continua (Nisar, Mehmood, & Nadeem).

**Tabla 9-3:** Parámetros Mobility Config

PARÁMETRO	VALOR
Mobility Model	Random Waypoint
Área de Movilidad	1000 m × 1000 m
Speed (meters/seconds)	Uniform (0,5)
Pause Time (seconds)	Constant (10)
Start Time (seconds)	Constant (5)
Stop Time (seconds)	End of Simulation

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

En la tabla 9-3, se muestra los parámetros de movilidad. Los nodos en la red se mueven con una velocidad uniforme variante de 0 a 5 m/s, un tiempo de pausa de 10 segundos y su movimiento empieza después de 5 segundos inicializada la simulación y continua moviéndose hasta el final de la simulación, se utilizó estos parámetros porque el rendimiento y la proporción de entrega de paquetes (PDR) son máximos a velocidad media baja (5 m/s) y un tiempo de pausa moderado (Nisar, Mehmood, & Nadeem). Los valores de configuración se muestra en la figura 8-3.



**Figura 8-3:** Configuración de movilidad en OPNET

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

### 3.3.5.7. Configuración de la Aplicación

La configuración de la aplicación incluyó un nombre y una tabla de descripción de los parámetros. La aplicación se definió para crear perfiles de usuario.

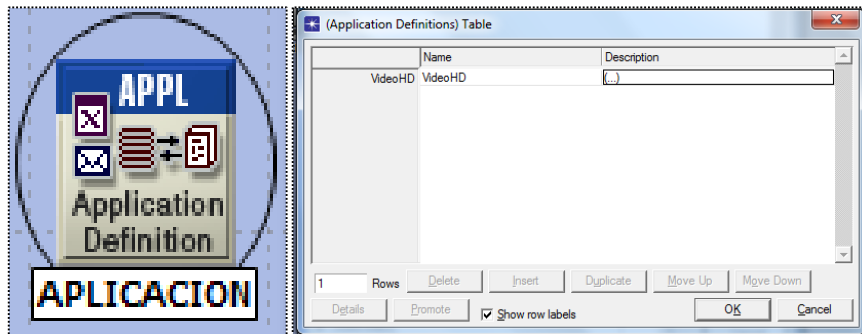
La aplicación empleada en este caso de investigación es la videoconferencia, donde los usuarios pueden comunicarse y transmitir tramas de video a través de la red, es decir una comunicación bidireccional. En la tabla 10-3, se muestra los parámetros de la aplicación de video con una descripción de High Resolution:

**Tabla 10-3:** Parámetros Application Definition

PARÁMETRO	VALOR
Name	VideoHD
Description Video Conferencing	High Resolution
Frame Interarrival Time	15 frames/second
Frame Size	128×240 pixels
Incomig Stream Frame Size	34560 bytes
Outgoing Stream Frame Size	34560 bytes

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

En la figura 9-3. se muestra el entorno de configuración de la aplicación en la plataforma OPNET.



**Figura 9-3:** Configuración de la aplicación en OPNET

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

### 3.3.5.8. Configuración del Perfil

Un perfil describe la actividad del usuario durante un período de tiempo. Especifica varias características para las diferentes aplicaciones en ese perfil donde cada aplicación se describe dentro del objeto de configuración de la aplicación. Los perfiles creados son referenciados por las estaciones de trabajo individuales para generar tráfico.

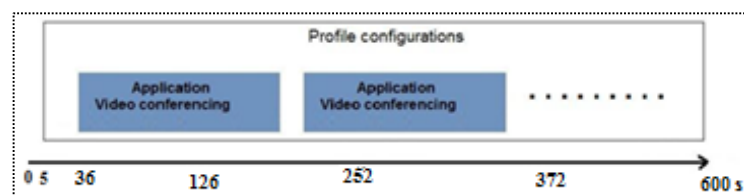
La configuración del perfil se estableció bajo los siguiente parámetros:

- Nombre del perfil (Name Profile): es el nombre simbólico del perfil que sirve para configurar una estación de trabajo determinada para dicho perfil. El nombre de perfil para esta aplicación se configuró como Videoconferencia.
- Tiempo de comienzo (Start Time): indica cuando se inicia la sesión de perfil durante la simulación, es decir el momento que empieza a enviar los paquetes. Está definido en 5 segundos después de comenzar la simulación, tiempo en el cual los nodos empiezan a moverse.
- Duración (Duration): define la cantidad de tiempo máximo permitido para el perfil antes de que finalice. Se estableció en “Fin de la simulación”, donde el perfil puede continuar indefinidamente hasta que finaliza la simulación.
- Repetibilidad (Repeatability): especifica los parámetros utilizados para repetir la ejecución de este perfil. . Este parámetro del perfil se configuró en que se repetirá una vez al inicio de la simulación.

La configuración de la aplicación dentro del perfil se estableció con los siguientes parámetros:

- Nombre de la aplicación (Name Application): es el nombre de la aplicación configurada en este perfil. Esta aplicación se definió en el nodo Application Define por lo cual el nombre de la aplicación se configuró como VideoHD.
- Desplazamiento del tiempo de inicio (Start Time Offset): este atributo tiene dos interpretaciones basadas en el valor especificado para el “Modo de operación”. Si es configurado como “simultáneo”, este desplazamiento se refiere al desplazamiento de la primera instancia de cada aplicación (definida en el perfil), desde el inicio del perfil. Si el “Modo de operación” es configurado como “Serial (Ordered)” o “Serial (Random)”, este desplazamiento se refiere al tiempo desde el inicio del perfil hasta el inicio de la primera aplicación. También sirve como el tiempo entre aplicaciones entre el final de una aplicación y el comienzo de la siguiente.

En consecuencia este parámetro se configuró en 30 segundos lo que significa que a los siguientes 30 segundos de ejecutar el perfil, empieza a transmitir la aplicación como se muestra en la figura 10-3.



**Figura 10-3:** Tiempo de Simulación del perfil y la aplicación

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

- Duración (Duration): define la cantidad de tiempo máximo permitido para una sesión de aplicación antes de que se anule. Esto a menudo se utiliza como tiempo de espera. Cuando se establece en “fin del perfil”, la aplicación finaliza cuando haya expirado la duración del perfil. Cuando se establece en “fin de la última tarea”, la aplicación finaliza cuando la última tarea de la aplicación se haya completado independientemente de los tiempos de finalización de la tarea. Por esto se configuró en fin de la última tarea.
- Tiempo de repetición (Inter-repetition Time): define cuando comienza la siguiente sesión de la aplicación dependiendo del patrón de repetición.
- Número de Repeticiones (Number of Repetitions): Se estableció la repetición en "Ilimitado" permitiendo que se repita durante todo el tiempo de simulación.

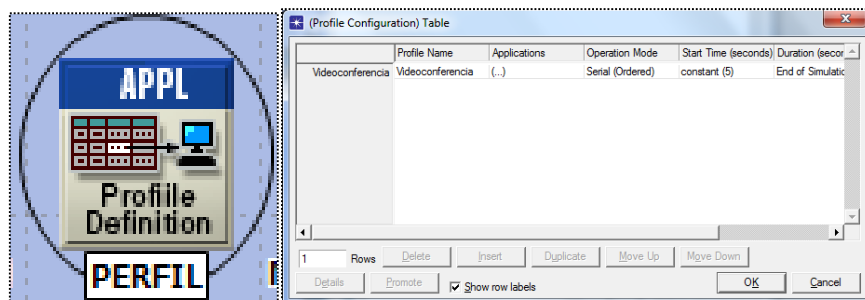
En la tabla 11-3, se muestra los parámetros de la configuración del perfil de acuerdo a las especificaciones anteriormente mencionadas.

**Tabla 11-3:** Parámetros Profile Definition

CONFIGURACIÓN	PARÁMETRO	VALOR
Profile	Name	Videoconferencia
	Start Time (s)	Constant (5)
	Duration	End of Simulation
	Repeatability	Once at Start Time
Application	Name	VideoHD
	Start Time Offset (s)	Constant (30)
	Duration	End of Last Task
	Inter-repetition Time (s)	Exponential (0,5)
	Number of repetitions	Unlimited

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

En la figura 11-3 se muestra el entorno de configuración del perfil en la plataforma OPNET bajo los parámetros de la tabla 11-3.



**Figura 11-3:** Configuración del perfil en OPNET

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

### 3.3.5.9. Configuración de los Nodos

Los nodos dentro de la red se configuraron de acuerdo al trabajo que van a desempeñar, así se clasifican en: nodo servidor, nodos intermedios y nodos clientes.

A todos los nodos de la red inalámbrica también se les configuró bajo los siguientes parámetros:

- Identificador BSS (BSS Identifier): identifica el BSS al que pertenece la dirección MAC de la WLAN. Se conserva el valor por defecto Auto Assigned y de esta forma todas las estaciones pertenecen al mismo BSS (Pastor Morales, 2009) o asignando un valor por igual para todos los nodos. En consecuencia se estableció un valor de 1 para todos los nodos con la finalidad de seguridad para que esten dentro de la mismo red.
- Características físicas (Physical Characteristic): La característica física determina la tecnología de capa física en uso. Bajo el estandar 802.11b implementa la tecnología de capa física Direct Sequence, lo cual configura valores definidos por el estándar que se conservaron por defecto.
- Velocidad de datos (Data Rate) y Tamaño del Buffer (Buffer Size): Se configuraron bajo el estándar IEEE 802.11b con una velocidad de datos de 11Mbps, con un tamaño de buffer de 1024000 bits que se usa para almacenar marcos de video antes de que lleguen a la capa de aplicación (Abdulrahman Ahmed, 2013).
- Potencia de Transmisión (Transmit Power): especifica la potencia de transmisión en vatios. Se conservó el valor por defecto de 0,005 vatios (Pastor Morales, 2009).
- Protocolo de enrutamiento Ad-Hoc (AD-HOC Routing Protocol): define el protocolo que se ejecuta en los nodos.

A continuación se muestra la configuración de cada nodo:

#### Nodo Servidor

En el nodo servidor además de los parámetros de configuración antes mencionados también se configuró el nombre de servicio compatible con la aplicación de video, para que se envíe hacia los clientes el tráfico de video. La tabla 3-12, muestra todas las configuraciones del nodo servidor:

**Tabla 12-3:** Parámetros Nodo Servidor

CONFIGURACIÓN	PARÁMETRO	VALOR
Wireless LAN parameters	BSS Identifier	1
	Physical Characteristic	Direct Sequence
	Data Rate	11 Mbps
	Buffer Size	1024000 bits
	Transmit Power	0.005 w
AD-HOC Routing Parameters	AD-HOC Routing Protocol	AODV/DSR/TORA/GRP/OLSR
Applications	Supported Service Name	VideoHD

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

### Nodos Intermedios

En el caso de estos nodos actúan dentro de la red como intermedios entre los nodos clientes y solo se les configuró el nombre de la movilidad (Random Waypoint). La tabla 13-3, muestra las configuraciones de dichos nodos:

**Tabla 13-3:** Parámetros Nodos Intermedios

PARÁMETRO	VALOR
BSS Identifier	1
Physical Characteristic	Direct Sequence
Data Rate	11 Mbps
Buffer Size	1024000 bits
Transmit Power	0.005 w
AD-HOC Routing Protocol	AODV/DSR/TORA/GRP/OLSR
Mobility Profile Name	Default Random Waypoint

**Realizado por:** Mónica F. Vimos R, 2018

### Nodo destino o clientes

En la tabla 14-3 se observa que para este tipo de nodos también se les configuró el nombre del perfil de movilidad (Random Waypoint) bajo el nombre de videoconferencia. De igual manera los nodos intermedios como los nodos clientes se les configuró el perfil de movilidad en el menú de topología, seleccionando la movilidad aleatoria.



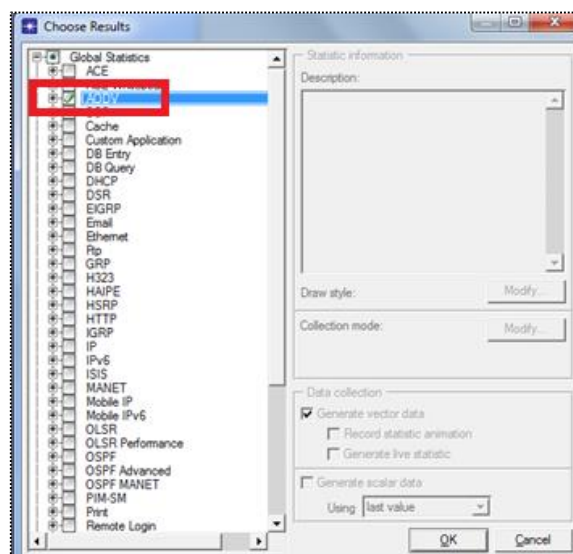
**Tabla 14-3:** Parámetros Nodos clientes

CONFIGURACIÓN	PARÁMETRO	VALOR
Wireless LAN parameters	BSS Identifier	1
	Physical Characteristic	Direct Sequence
	Data Rate	11 Mbps
	Buffer Size	1024000 bits
	Transmit Power	0.005 w
	Mobility Profile Name	Default Random Waypoint
AD-HOC Routing Parameters	AD-HOC Routing Protocol	AODV/DSR/TORA/GRP/OLSR
Applications	Supported Profiles Name	Videoconferencia

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

### 3.3.6. Ejecución de la Red en OPNET

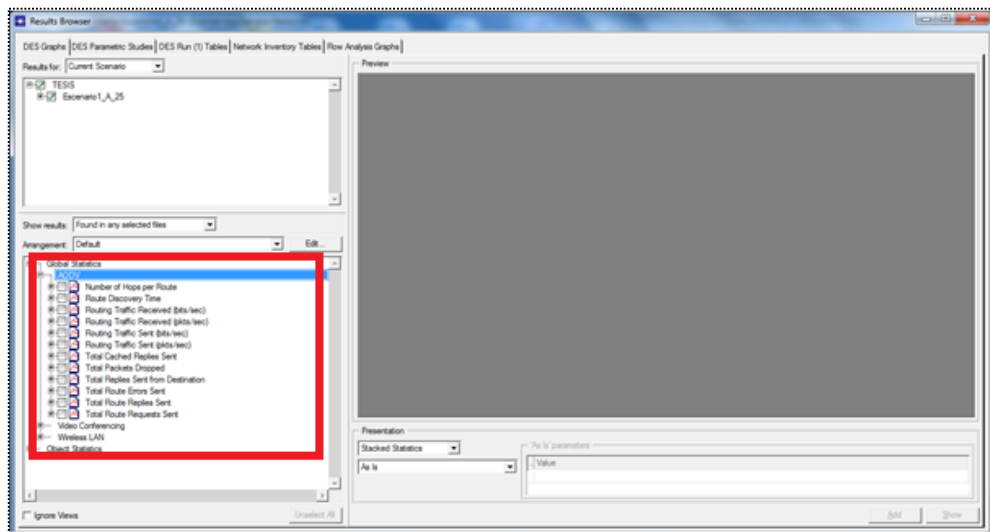
Para realizar la ejecución de la simulación en OPNET, se seleccionó las estadísticas de simulación para ver y analizar los resultados. El software posee dos tipos de estadísticas: Global Statistics para recopilar datos de toda la red y Node Statistics que provienen de los nodos individuales. Para tener una mayor recopilación de datos se eligió los dos tipos de estadísticas. Por lo tanto en el editor de selección de resultados se estableció los parámetros para el análisis como: el protocolo utilizado, la aplicación de videoconferencia y Wireless LAN tanto en estadísticas globales como en estadísticas de nodo como se muestra en la figura 12-3 y para registrar los parámetros se ejecutó o simuló la red para el análisis de resultados.



**Figura 12-3:** Estadísticas de Simulación

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

Para finalizar con la ejecución de la red se realizó la visualización de las métricas de rendimiento como se muestra en la figura 13-3, estos datos obtenidos de cada métrica de la red ad-hoc se exportaron a excel para realizar el capítulo de resultados y discusión.



**Figura 13-3:** Visualización de las métricas de rendimiento

Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

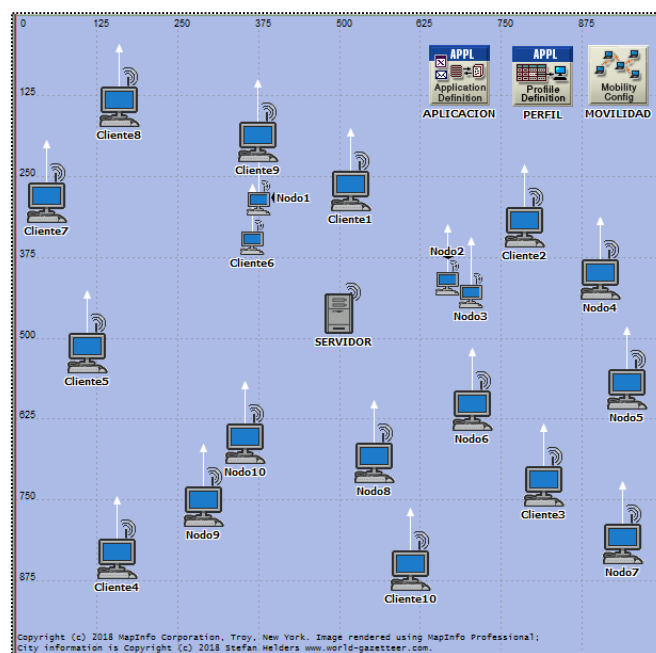
## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó los resultados de los escenarios simulados con los protocolos AODV, DSR, TORA, GRP y OLSR. En estos protocolos se midió su rendimiento bajo los parámetros: tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, el jitter, la latencia o retardo de extremo a extremo, el porcentaje de utilización del canal y el throughput. Los resultados que se obtuvieron se muestran en forma de gráficos con datos proporcionados por la plataforma OPNET. Se realizó dos escenarios base con 20 nodos y 40 nodos; y a partir de estos se varía el protocolo en la red teniendo en total los diez escenarios.

#### 4.1. Escenario con 20 Nodos Móviles

Este escenario se creó con una tamaño de red de 1000 x 1000 metros que abarca 20 nodos móviles, un servidor wlan fijo, una configuración de aplicación, el perfil y movilidad. Las configuraciones se realizaron de acuerdo a las especificaciones en el Capítulo III. El primer escenario se muestra en la figura 1-4. Los cinco protocolos AODV, DSR, TORA, GRP y OLSR se simularon contra las métricas de rendimiento establecidas.



**Figura 1-4:** Simulación Escenario con 20 nodos móviles  
Realizado por: Mónica F. Vimos R, 2018

En la tabla 1-4. se muestra un ejemplo de datos del tráfico de enrutamiento de los protocolos AODV, DSR, TORA, GRP y OLSR con la cual se realizaron las respectivas gráficas.

**Tabla 1-4:** Datos del Tráfico de Enrutamiento en 20 nodos móviles

TIME (s)	AODV	DSR	TORA	GRP	OLSR
0	0	0	18329	1300786	378757
6	0	0	71621	687976	397287
12	0	0	226611	487715	415013
18	0	0	190170	385330	413143
24	0	0	216748	322696	416972
30	292092	1654453	1003021	459703	598701
36	336776	1724670	860681	1289315	1474752
42	1745557	1817584	1379278	1912227	2128810
48	2214580	1964354	1688440	2392991	2654252
54	2609477	2141311	2030522	2770374	3050912
60	2927270	2263299	2323278	3087546	3373677
66	3246612	2327960	2531619	3345337	3634783
72	3481603	2370981	2707886	3560758	3856285
78	3679826	2412611	2862997	3749971	4045424
84	3838828	2446324	2985210	3916530	4213413
90	3944114	2464058	3090145	4067726	4352305
96	4064876	2479954	3169410	4201705	4473495
102	4185219	2490267	3248230	4317584	4579445
108	4289493	2503586	3310901	4418713	4662460
114	4386642	2514558	3396162	4507287	4751771
120	4475730	2519509	3463889	4591981	4833387
126	4564273	2515605	3522838	4663592	4904745
132	4648814	2516784	3601503	4735741	4964459
138	4747453	2519583	3650457	4794830	5023750
144	4815086	2508901	3709072	4853011	5079727
150	4878926	2498754	3760023	4905671	5126044
156	4969279	2491856	3798824	4949632	5169043
162	5045142	2489292	3825878	4992216	5202880
168	5104596	2489773	3867976	5032328	5241953
174	5181155	2485677	3896302	5076338	5281098
180	5246636	2481856	3934912	5114738	5307260
186	5292124	2479849	3959622	5149128	5336887
192	5337931	2481741	3977904	5182171	5367078
198	5387574	2478962	3989494	5212712	5392072
204	5424101	2473111	4021894	5243711	5436415
210	5452105	2466097	4046221	5271697	5468336
216	5492079	2460999	4068523	5297801	5500691
222	5535381	2453635	4095410	5320569	5530215
228	5555706	2443113	4102462	5346546	5555920

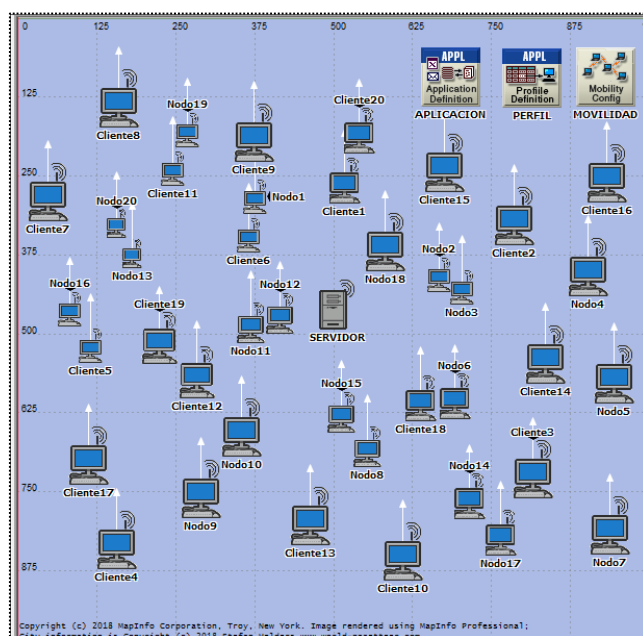
234	5581246	2433712	4117459	5369118	5583635
240	5606772	2423412	4141028	5390609	5608355
246	5622567	2409764	4141233	5408515	5631419
252	5652145	2399512	4160171	5425984	5651857
258	5684384	2387896	4173810	5443499	5670358
264	5707936	2380952	4193631	5460568	5687272
270	5724801	2373563	4202204	5478712	5704540
276	5762598	2365876	4209615	5497610	5722928
282	5789797	2358326	4228518	5514776	5740421
288	5811369	2354064	4234072	5532703	5756917
294	5825427	2347177	4252825	5551345	5767636
300	5844968	2339443	4269370	5568258	5782811
306	5863436	2331303	4270592	5582533	5796759
312	5883163	2322770	4289318	5596456	5810182
318	5903038	2316541	4295913	5609975	5820172
324	5928487	2309123	4301625	5623378	5823783
330	5959906	2303763	4307358	5637032	5830692
336	5978112	2298341	4307868	5650149	5838723
342	5981912	2293041	4326473	5663415	5845689
348	5987435	2288133	4330172	5676607	5853911
354	5991201	2284327	4337004	5689226	5861027
360	5993365	2280845	4352198	5699424	5870594
366	5994161	2277139	4356544	5711407	5879903
372	6007446	2277025	4365120	5723634	5888344
378	6013608	2277789	4369190	5735130	5896467
384	6014013	2275484	4380274	5744734	5902532
390	6021651	2273463	4379085	5754257	5906062
396	6039416	2272590	4389603	5761392	5909053
402	6049021	2272136	4402349	5767757	5914606
408	6055065	2270641	4410855	5775385	5919874
414	6064952	2270005	4405597	5782253	5927126
420	6075710	2269930	4420032	5787755	5934043
426	6080245	2270955	4425495	5796235	5940488
432	6080360	2270446	4427065	5804345	5946763
438	6082238	2269204	4435726	5811378	5952405
444	6084085	2269214	4443190	5820216	5959669
450	6091388	2268890	4454870	5828901	5963738
456	6099993	2267614	4457924	5837240	5970704
462	6103264	2267162	4459863	5845363	5975862
468	6104295	2266405	4457321	5852357	5981772
474	6100510	2267534	4464455	5858126	5987006
480	6100516	2268006	4470790	5861696	5992280
486	6106269	2268597	4469929	5865725	5998435
492	6117269	2267308	4474661	5868502	6003067
498	6126971	2266051	4482075	5871809	6005445

504	6122108	2266513	4483281	5875059	6011639
510	6118278	2264274	4489688	5877682	6017512
516	6116651	2263635	4494373	5881210	6022742
522	6116768	2263948	4497205	5884361	6027433
528	6118004	2266045	4504527	5888297	6030199
534	6131648	2266346	4505924	5890712	6034600
540	6137784	2266422	4510214	5893450	6037061
546	6148078	2265406	4512072	5896421	6040845
552	6163651	2266788	4516085	5899976	6046474
558	6167716	2266999	4517423	5902532	6049258
564	6179479	2268843	4522370	5905050	6055444
570	6187397	2270664	4524106	5907642	6058636
576	6196580	2271019	4525147	5910151	6062875
582	6202146	2271680	4531678	5912481	6066070
588	6209257	2271893	4533147	5915570	6068038
594	6218021	2272650	4536851	5917676	6069532

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.2. Escenario con 40 Nodos Móviles

El segundo escenario se creó con las mismas especificaciones y parámetros de configuración que el primer escenario con la única diferencia en su cantidad de nodos móviles que en este caso es de 40. El segundo escenario se muestra en la figura 2-4.



**Figura 2-4:** Simulación Escenario con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

Al igual que en el caso anterior se muestra en la tabla 2-4, los datos del tráfico de enrutamiento de los cinco protocolos.

**Tabla 2-4:** Datos del Tráfico de Enrutamiento en 40 nodos móviles

TIME (s)	AODV	DSR	TORA	GRP	OLSR
0	0	0	577392	6293726	2266592
6	0	0	485584	3801083	2473597
12	0	0	449488	2630929	2554732
18	0	0	524994	1156529	2575389
24	0	0	698697	938159	2628042
30	345314	314463	1085924	805581	2779826
36	1162137	635006	738911	1532844	2815966
42	1952987	1584516	1108936	1323512	3335317
48	2646212	1973806	1264426	2254600	3760800
54	3111077	2341994	1387884	3466581	4066389
60	3567576	2385731	1497449	3548376	4335276
66	3900774	2482838	1574207	3735987	4562458
72	4244021	2558673	1627133	3856066	4739939
78	4633764	2599692	1689550	3977823	4906356
84	4918340	2616670	1739914	4128297	5085522
90	5121521	2631311	1755204	4263510	5230161
96	5300184	2649493	1772685	4379457	5338686
102	5487478	2666001	1803922	4482242	5429024
108	5780516	2693467	1822956	4577920	5534697
114	5915834	2698335	1836549	4658812	5606050
120	6134012	2711018	1842945	4740442	5689808
126	6276022	2714165	1857251	4814085	5772812
132	6406048	2718898	1869451	4879895	5832735
138	6488073	2708200	1874060	4936506	5883034
144	6655819	2701674	1886492	4989995	5932557
150	6759420	2694792	1894982	5043186	5976273
156	6848252	2689923	1897352	5092337	6025084
162	6903239	2686522	1891687	5136044	6064949
168	7009104	2683337	1896568	5177919	6108240
174	7139512	2683267	1898420	5216690	6143558
180	7269837	2673008	1903473	5254538	6179184
186	7375280	2671769	1912590	5286448	6204030
192	7435890	2666452	1917011	5313712	6225376
198	7554743	2662699	1923474	5340842	6248009
204	7646461	2656260	1931053	5370592	6302858
210	7796312	2648440	1932675	5399033	6328069
216	7873966	2643652	1933763	5424862	6350184
222	7971945	2639659	1932015	5451032	6372893
228	7999597	2635900	1940341	5474796	6410229
234	8060524	2634536	1940524	5497567	6430930
240	8091199	2629267	1947499	5519479	6446621
246	8112893	2622457	1951974	5541075	6479676

252	8141785	2618132	1955662	5561806	6497685
258	8178734	2613965	1953691	5579027	6510669
264	8265171	2607935	1955728	5597165	6525081
270	8338125	2600146	1956686	5614929	6539672
276	8368209	2590416	1957031	5629508	6576956
282	8434432	2582542	1957518	5644558	6588482
288	8487657	2578567	1956212	5660168	6599156
294	8543701	2570109	1959247	5673079	6621261
300	8540100	2561903	1957006	5686263	6633077
306	8524450	2554681	1961456	5699587	6644935
312	8552087	2547806	1964498	5711729	6662148
318	8587187	2539377	1966545	5724142	6672034
324	8597488	2532682	1968217	5737009	6682525
330	8659145	2525279	1970070	5747834	6690446
336	8694419	2517843	1972297	5759463	6701655
342	8758178	2510215	1971313	5768889	6709672
348	8807464	2500700	1971345	5776994	6715253
354	8840201	2493740	1972408	5785226	6719795
360	8914315	2486234	1972528	5793688	6728557
366	8965345	2479650	1981238	5799786	6731434
372	8988637	2471537	1988516	5809238	6740242
378	9027644	2463433	1988959	5817256	6747294
384	9071748	2457818	1987203	5825220	6758092
390	9157969	2453921	1983408	5832400	6763037
396	9188246	2448752	1986980	5839585	6765525
402	9268344	2443013	1993002	5845941	6770391
408	9311821	2438486	1998421	5852552	6776084
414	9330670	2432640	2004470	5859872	6781152
420	9345999	2427002	2003444	5866454	6796109
426	9406499	2421801	2005310	5872993	6800361
432	9420354	2416348	2004400	5878472	6804613
438	9452795	2411710	2002593	5883815	6808731
444	9467119	2406299	2002082	5888662	6813451
450	9494809	2400625	2002101	5893783	6816700
456	9521150	2395178	1999964	5899539	6825577
462	9539579	2390168	2003992	5904650	6829649
468	9574379	2385434	2010450	5909857	6834116
474	9580435	2381321	2013034	5915916	6839555
480	9604378	2375980	2015092	5921015	6843659
486	9636582	2372094	2016541	5926250	6846300
492	9660011	2368642	2016179	5931722	6849742
498	9666882	2364170	2015994	5936922	6853629
504	9684576	2360766	2015002	5942121	6858495
510	9746638	2357115	2016353	5947190	6862635
516	9812767	2353851	2019651	5952162	6867151



522	9873190	2348979	2020052	5957259	6872050
528	9938385	2345676	2019836	5961950	6876247
534	9979826	2342072	2021698	5966683	6885042
540	10001088	2339698	2024130	5971163	6888343
546	10007363	2336707	2022609	5976285	6893061
552	10062329	2333342	2024442	5981122	6897603
558	10089666	2329711	2023109	5984855	6899026
564	10107398	2326375	2022108	5989327	6902530
570	10132136	2322652	2021137	5993807	6911123
576	10133293	2319895	2020256	5997396	6914726
582	10147786	2317271	2019200	6002461	6919371
588	10156492	2314272	2017930	6006404	6922835
594	10200234	2311081	2019333	6010335	6925490

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

### 4.3. Análisis de los Escenarios con 20 y 40 Nodos Móviles

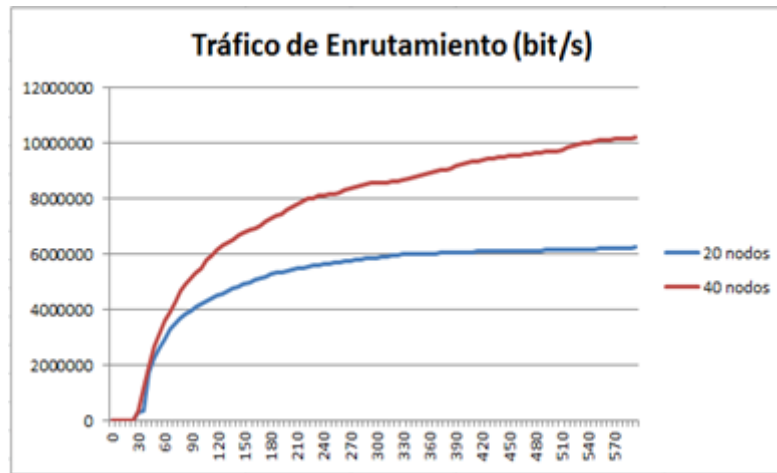
La simulación con 20 y 40 nodos móviles contienen en total diez escenarios que se realizaron en OPNET Modeler variando en cada escenario su respectivo protocolo como AODV, DSR, TORA, GRP y OLSR. La simulación se ejecutó durante 600 segundos y para su análisis se exportó los datos a Excel para realizar los cálculos con sus respectivos gráficos. Estos gráficos se emplea en el análisis estadístico del rendimiento de los protocolos de enrutamiento.

#### 4.3.1. Rendimiento AODV 20 y 40 Nodos Móviles

Se simularon los escenarios con el protocolo AODV con 20 y 40 nodos móviles y se obtuvieron los resultados que se detallan en los siguientes puntos.

##### 4.3.1.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 4-1, muestra el tráfico de enrutamiento de la red de AODV, en el cual el eje X presenta el tiempo en segundos y el eje Y los bits del tráfico de enrutamiento. Se puede apreciar en la gráfica que el tráfico inicia en cero debido a que el tiempo de inicio de la aplicación empieza a los 30 segundos, a partir de ese tiempo el valor del tráfico para los 20 nodos alcanza a 292092 bit/s y para los 40 nodos alcanza a 345314 bit/s, después de este valor continúan aumentando proporcionalmente hasta llegar a un valor máximo para 20 nodos de 6218021 bit/s y para 40 nodos de 10200234 bit/s al finalizar la simulación.

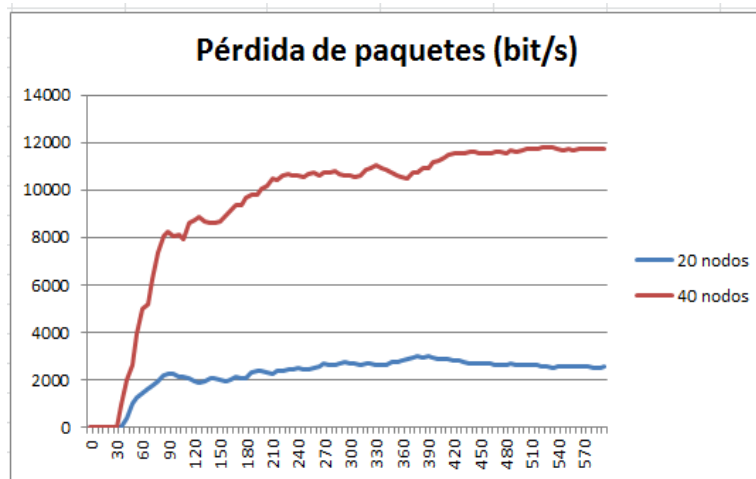


**Gráfico 1-4:** Tráfico de enrutamiento AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.1.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 2-4, muestra la pérdida de paquetes, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y los paquetes perdidos. La gráfica indica que en 20 nodos su cantidad de paquetes perdidos varía desde 384 hasta 3007 bit/s, en cambio para 40 nodos móviles varía desde un punto mínimo de 945 hasta 11794 bit/s como valor máximo. Estas cantidades de paquetes perdidos se debe a la medida de nodos incrementados.



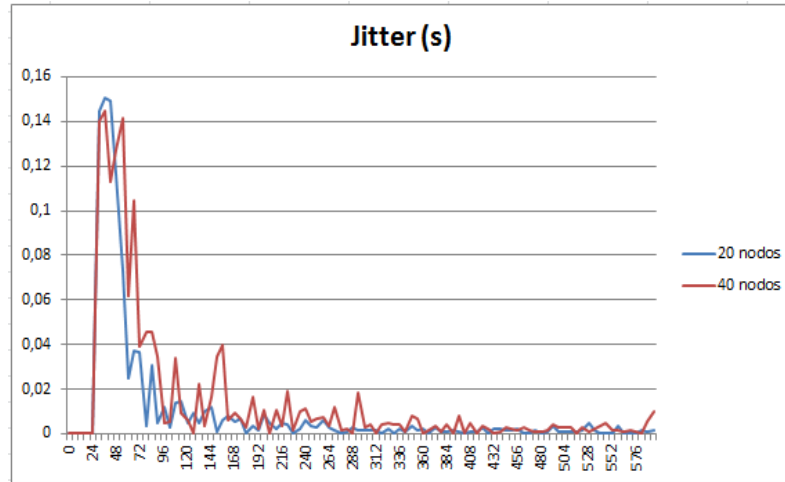
**Gráfico 2-4:** Pérdida de paquetes AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.1.3. Jitter

El gráfico 3-4, muestra el jitter, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. La gráfica indica que en 20 nodos móviles la variación llega a un valor alto de 0,15 segundos pero baja considerablemente a los 78 segundos

para mantenerse con una mínima variación en el valor mínimo de 0,00011 segundos, mientras que en 40 nodos móviles la variación alcanza un valor de 0,14 segundos y bajo las mismas circunstancias del escenario anterior baja gradualmente y se mantiene con pequeñas variaciones hasta 0,00012 segundos.

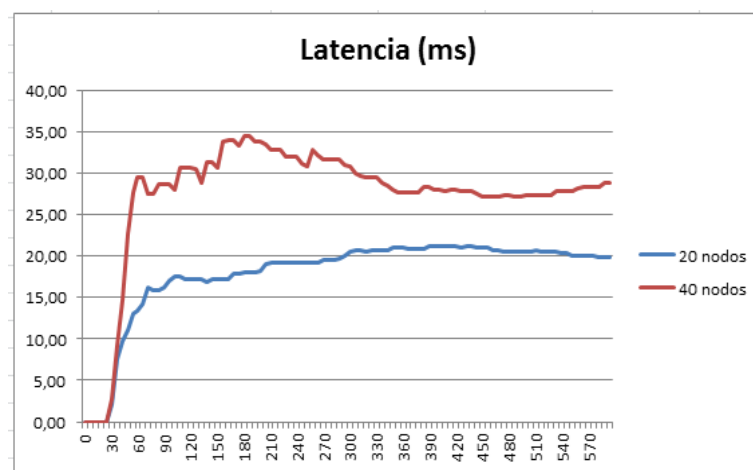


**Gráfico 3-4:** Jitter AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.1.4. Latencia

El gráfico 4-4, muestra la latencia o retardo de extremo a extremo, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el retardo de extremo a extremo. La gráfica indica que en 20 nodos móviles el valor mínimo es de 2,15 ms el valor máximo que alcanza la latencia es de 21,25 ms, por lo tanto en 40 nodos móviles su valor mínimo es 2,69 ms y el valor máximo de 34,44 ms.

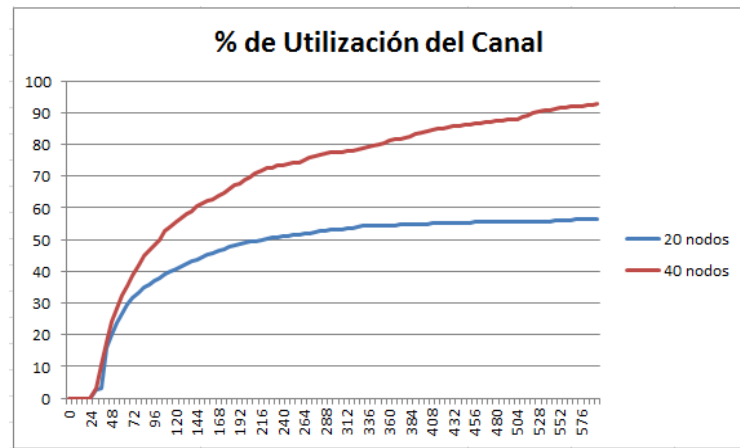


**Gráfico 4-4:** Latencia AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.1.5. Porcentaje de utilización del canal

El porcentaje de utilización del canal se muestra en cada instante del tiempo. Donde se muestra en el gráfico 5-4, el crecimiento durante el tiempo de simulación llegando así para 20 nodos un mayor porcentaje del 57% y para 40 nodos del 93%.

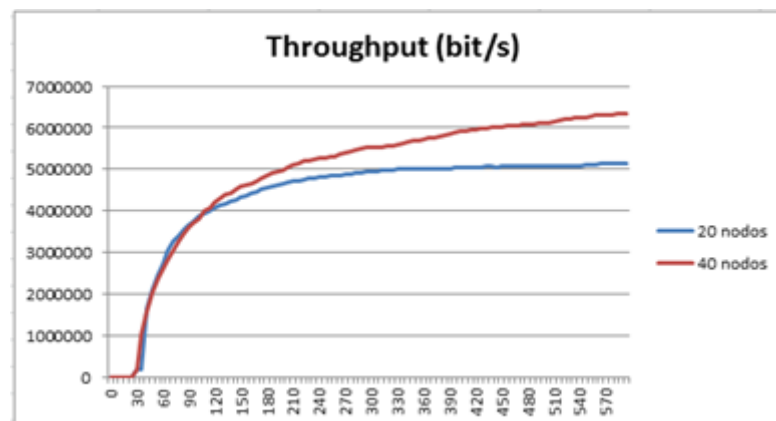


**Gráfico 5-4:** Porcentaje de utilización del canal AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.1.6. Throughput

El gráfico 6-4, muestra el throughput en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el throughput. La gráfica indica como va aumentando el rendimiento en los dos casos de variación de nodos, así para 20 nodos móviles el valor máximo de rendimiento es de 5145071 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles es de 6337213 bit/s.



**Gráfico 6-4:** Throughput AODV 20 y 40 nodos móviles

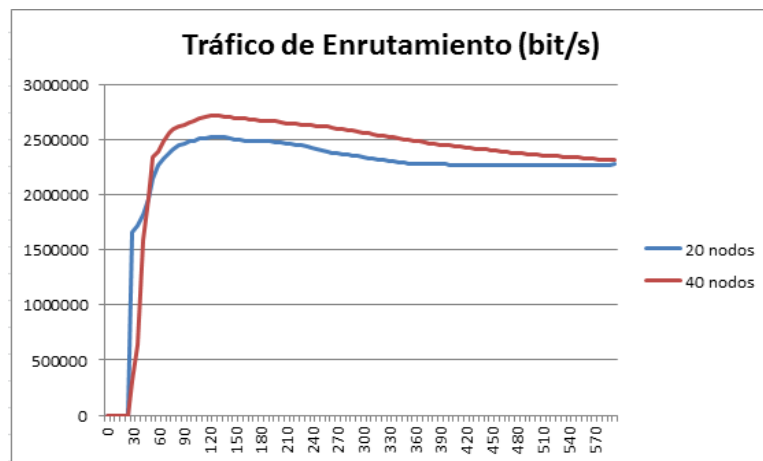
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2. Rendimiento DSR 20 y 40 Nodos Móviles

Para los escenarios con 20 y 40 nodos móviles se simuló con el protocolo DSR y a continuación se muestran los resultados obtenidos.

#### 4.3.2.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 7-4, muestra el tráfico de enrutamiento en bits/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el tráfico. Se puede apreciar en la gráfica que el valor del tráfico de enrutamiento para los 20 nodos alcanza un valor pico de 2519583 bit/s y para los 40 nodos alcanza a 2718898 bit/s, después de este valor decrece en el primer caso a 2263635 bit/s y en el segundo a 2311081 bit/s.

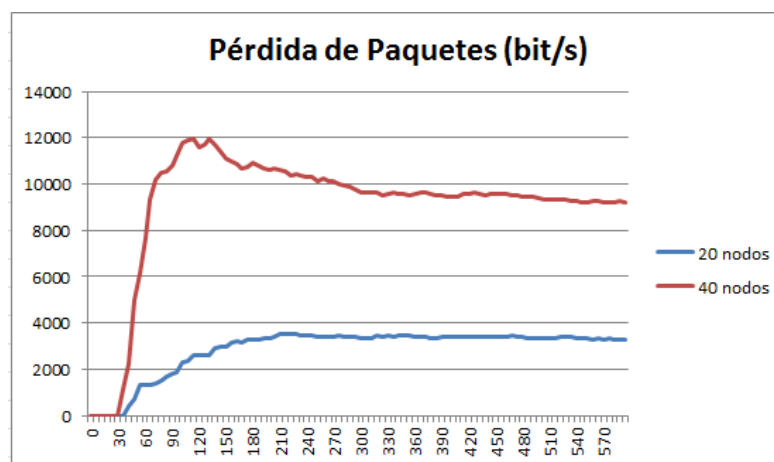


**Gráfico 7-4:** Tráfico de enrutamiento DSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 8-4, muestra la pérdida de paquetes, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y los paquetes perdidos. La gráfica indica que en 20 nodos su cantidad de paquetes perdidos varía desde 384 hasta 3551 bit/s, en cambio para 40 nodos móviles varía desde un punto mínimo de 1163 hasta 11975 bit/s como valor máximo.

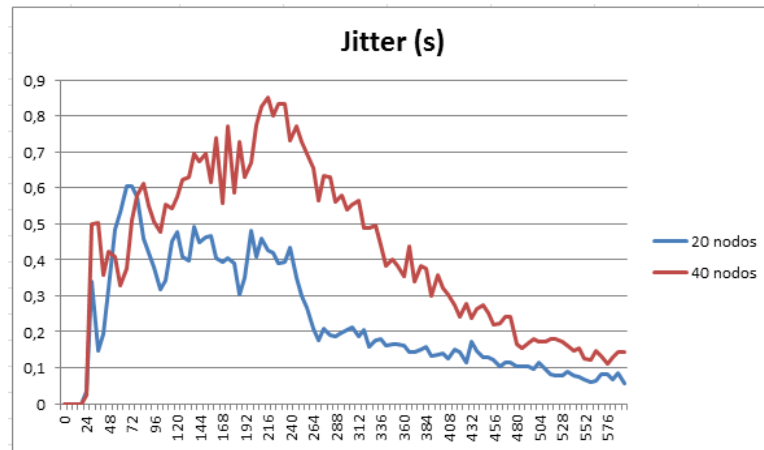


**Gráfico 8-4:** Pérdida de paquetes DSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2.3. Jitter

El gráfico 9-4, muestra el jitter, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. La gráfica indica que tanto para 20 como 40 nodos móviles la variación incrementa hasta un valor máximo para empezar a descender hacia un valor mínimo. En el primer caso el jitter máximo es de 0,6040 segundos y el jitter mínimo de 0,0571 segundos en cambio para el segundo caso los valores máximo y mínimo son 0,8504 y 0,1112 segundos respectivamente.

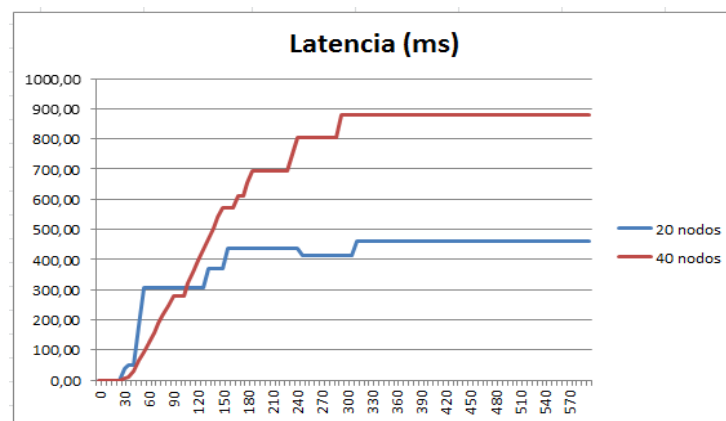


**Gráfico 9-4:** Jitter DSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2.4. Latencia

El gráfico 10-4, muestra la latencia, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el retardo de extremo a extremo. La gráfica indica que en 20 nodos móviles el valor de latencia va aumentando hasta que en la mitad de la simulación su valor empieza a permanecer constante en 461,72 ms, al igual para 40 nodos móviles sus valores empiezan a crecer desde 5,41 ms hasta mantenerse constante en 878,07 ms.

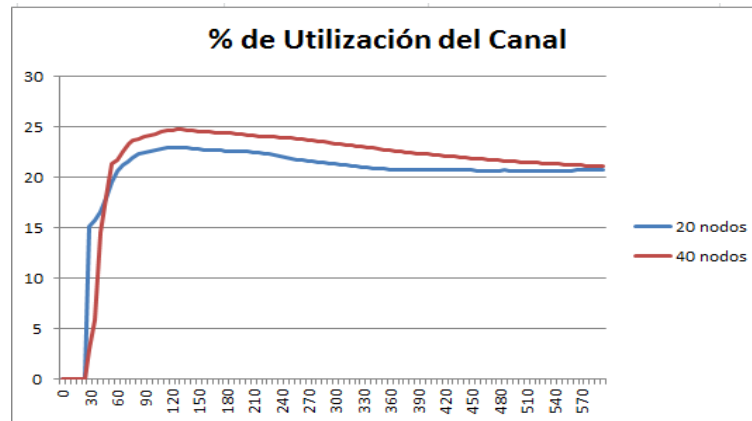


**Gráfico 10-4:** Latencia DSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2.5. Porcentaje de utilización del canal

En el gráfico 11-4 muestra que con 40 nodos hay un mayor porcentaje de utilización del canal del 93%.

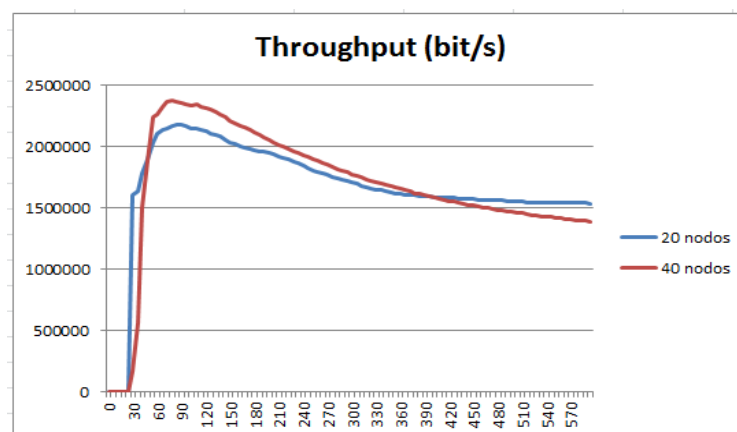


**Gráfico 11-4:** Porcentaje de utilización del canal AODV 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.2.6. Throughput

El gráfico 12-4, muestra el throughput en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el número de bit. La gráfica indica como llega a un punto máximo para luego bajar en los dos casos de variación de nodos, así para 20 nodos móviles el valor máximo de throughput de 2176219 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles es de 2369736 bit/s.



**Gráfico 12-4:** Throughput DSR 20 y 40 nodos móviles

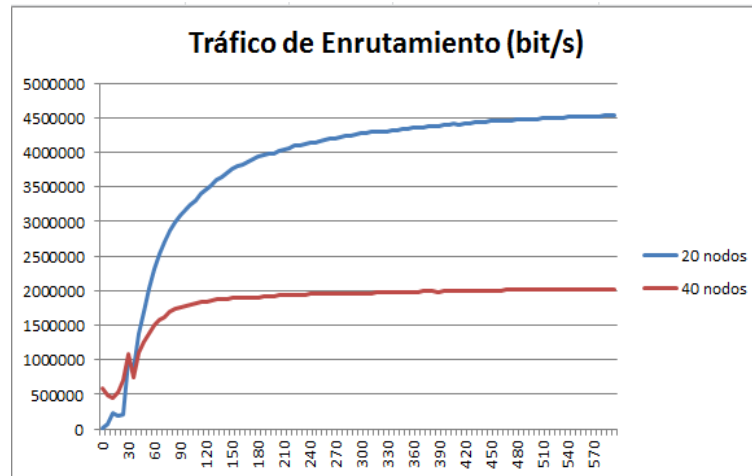
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.3. Rendimiento TORA 20 y 40 Nodos Móviles

Para el protocolo TORA con 20 y 40 nodos móviles se obtuvieron los resultados mostrados en los siguientes apartados.

#### 4.3.3.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 13-4, muestra el tráfico de enrutamiento en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el tráfico. El valor del mismo para los 20 nodos alcanza a 4536851 bit/s y para los 40 nodos alcanza a 2024442 bit/s.

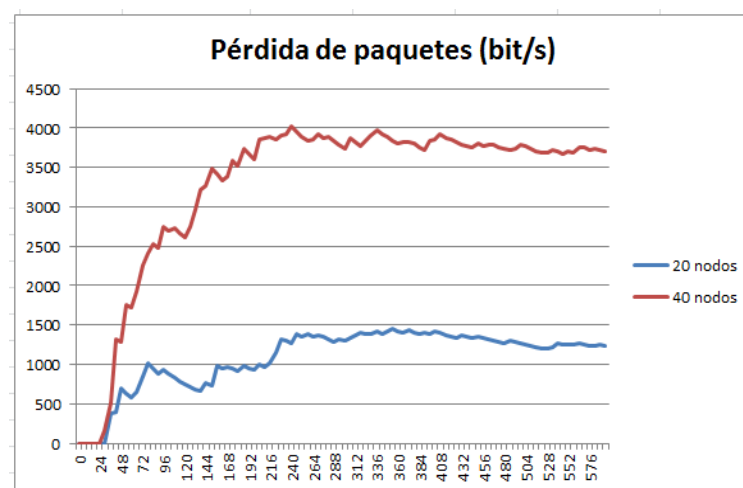


**Gráfico 13-4:** Tráfico de enrutamiento TORA 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.3.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 14-4, muestra la pérdida de paquetes, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y los paquetes perdidos. La gráfica indica que en 20 nodos su cantidad de paquetes perdidos varía desde 381 hasta 1449 bit/s, en cambio para 40 nodos móviles varía desde un punto mínimo de 169 hasta 4021 bit/s como valor máximo.



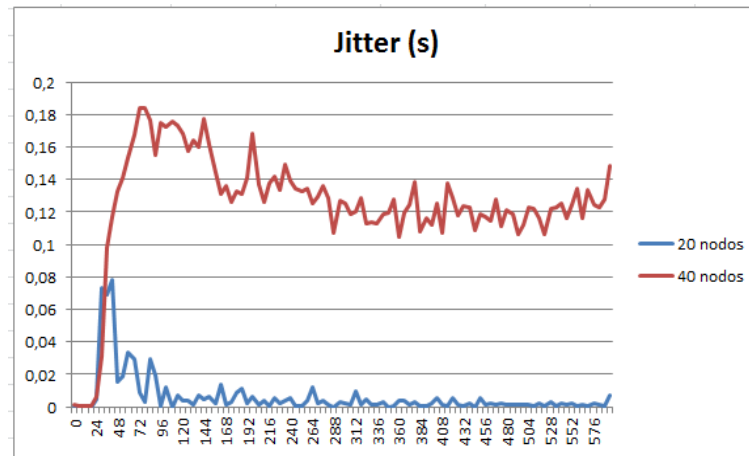
**Gráfico 14-4:** Pérdida de paquetes TORA 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018



#### 4.3.3.3. Jitter

El gráfico 15-4, muestra el jitter, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. La gráfica indica que en 20 nodos móviles la variación alcanza un valor de 0,077 segundos pero baja considerablemente a los 48 segundos de la simulación a 0,15 segundos para a partir de ahí mantenerse con mínimas variaciones, mientras que en 40 nodos móviles la variación alcanza a un máximo valor de 0,18 segundos para luego bajar su valor hasta 0,15 segundos y mantenerse con variaciones pequeñas.

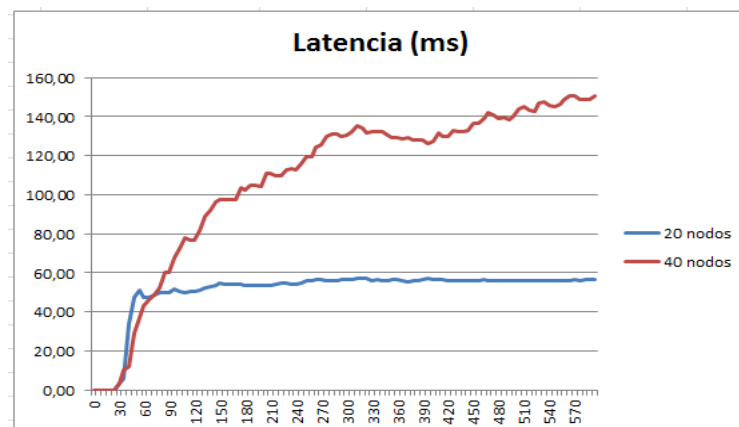


**Gráfico 15-4:** Jitter TORA 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.3.4. Latencia

El gráfico 16-4, muestra la latencia donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el retardo de extremo a extremo. La gráfica indica que en 20 nodos móviles el valor de latencia alcanza a 56,91 ms para mantenerse con mínimas variaciones durante el tiempo de simulación, en cambio en 40 nodos móviles su valor va aumentando desde un 3,33 ms hasta 150,46 ms.

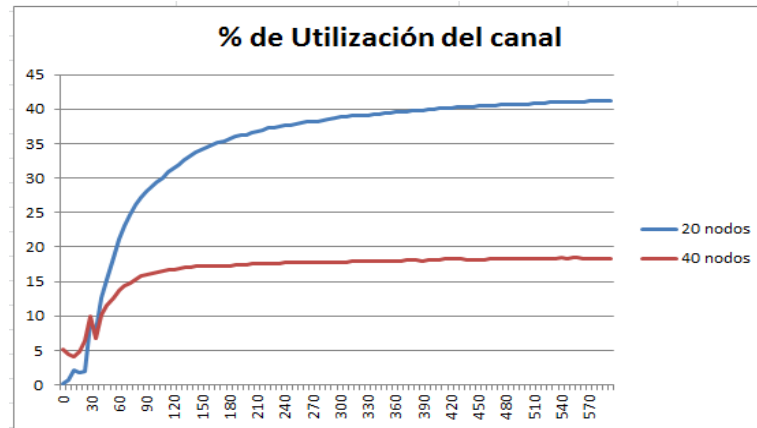


**Gráfico 16-4:** Latencia TORA 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.3.5. Porcentaje de utilización del canal

La gráfica 17-4, muestra que con 20 nodos se obtiene un mayor porcentaje de utilización del canal del 41% que con 40 nodos móviles.

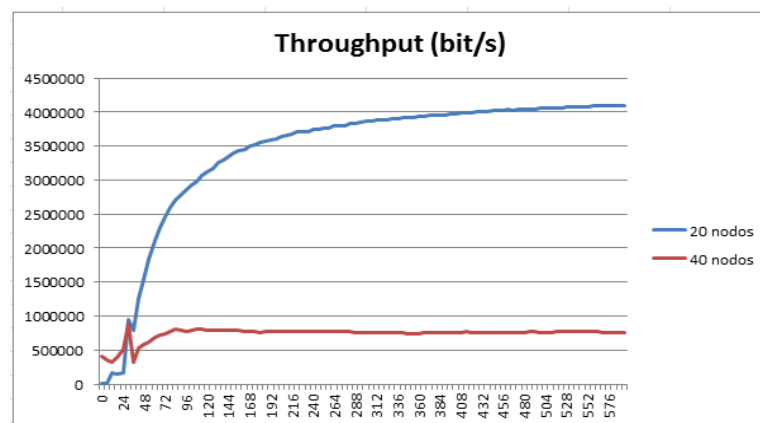


**Gráfico 17-4:** Porcentaje de utilización del canal TORA 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.3.6. Throughput

El gráfico 18-4, muestra el throughput en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el throughput. La gráfica para el caso de 20 nodos móviles indica un incremento hasta un valor máximo de 4101383 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles se mantiene con pequeñas variaciones hasta un valor máximo de 799367 bit/s.



**Gráfico 18-4:** Throughput TORA de 20 y 40 nodos móviles

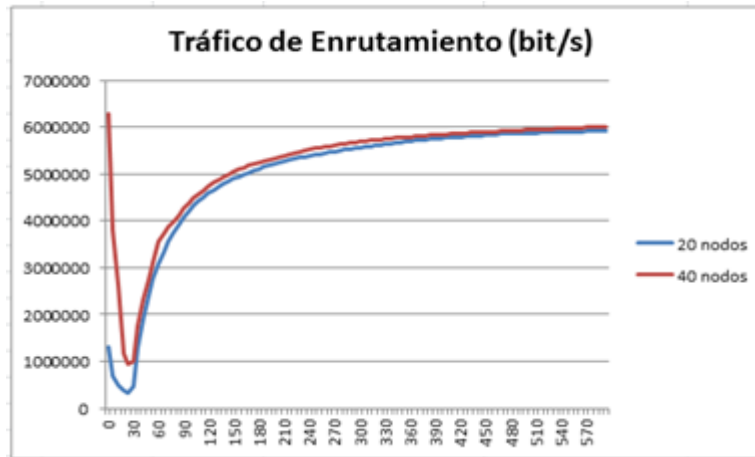
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4. Rendimiento GRP 20 y 40 Nodos Móviles

Al igual que los escenarios anteriores varía el tipo de protocolo, en este caso se utilizó GRP con 20 y 40 nodos móviles y a continuación se muestran los resultados.

#### 4.3.4.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 19-4, muestra el tráfico de enrutamiento en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el tráfico. Se puede apreciar en la gráfica que para los dos casos dicho tráfico es similar con variaciones mínimas, así para los 20 nodos como valor máximo se tiene 5917676 bit/s y para los 40 nodos es 5991003 bit/s.

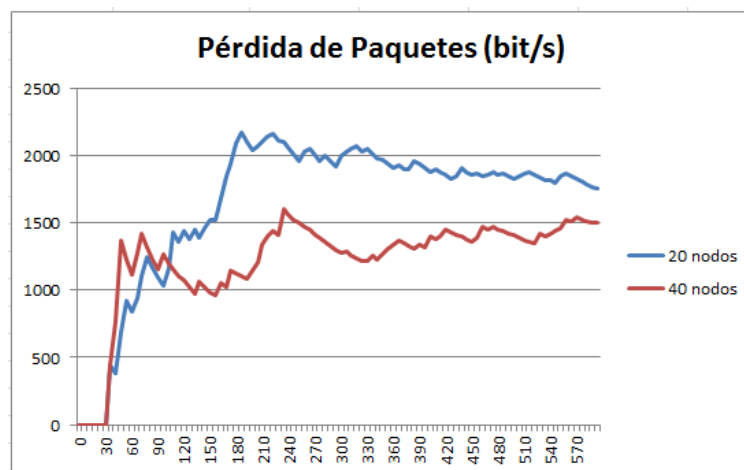


**Gráfico 19-4:** Tráfico de enrutamiento GRP 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 20-4, muestra la pérdida de paquetes, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y los paquetes perdidos. La gráfica indica que en 20 nodos móviles la pérdida de paquetes varía desde 384 hasta 2170 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles su variación desde 439 hasta 1601 bit/s.

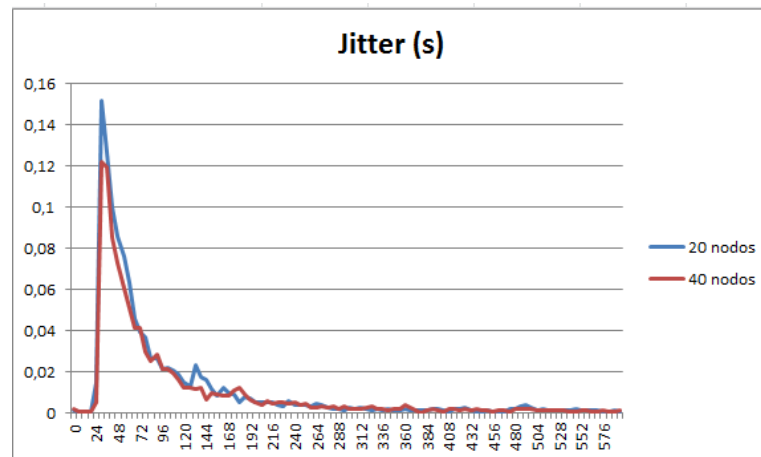


**Gráfico 20-4:** Pérdida de paquetes GRP 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4.3. Jitter

El gráfico 21-4, muestra el jitter, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. La gráfica indica que en 20 nodos móviles la variación llega a un valor alto de 0,15 segundos a partir de ahí empieza a disminuir hasta una mínima variación de 0,00037 segundos, por otro lado en 40 nodos móviles alcanza un valor de 0,12 segundos y baja gradualmente hasta 0,0005 segundos.

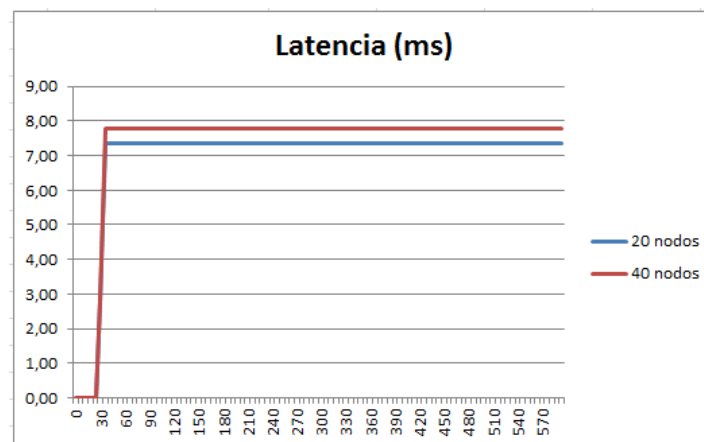


**Gráfico 21-4:** Jitter GRP 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4.4. Latencia

El gráfico 22-4, muestra la latencia retardo de extremo a extremo, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el retardo de extremo a extremo. La gráfica indica que tanto en 20 como en 40 nodos móviles alcanza un valor máximo para mantenerle constante durante todo el tiempo de simulación, así para 20 nodos alcanza a 7,37 segundos y en 40 nodos a 7,78 segundos.

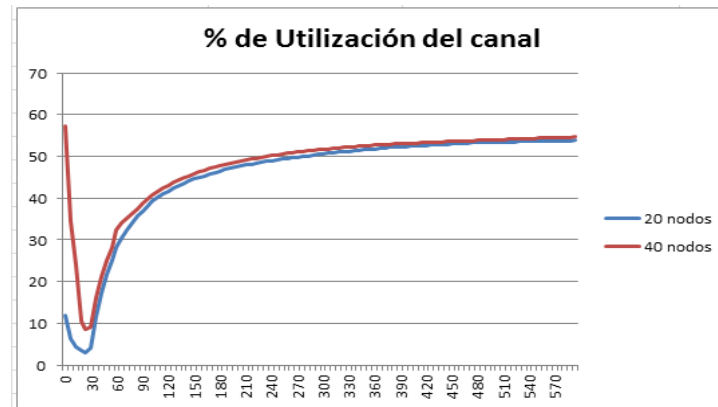


**Gráfico 22-4:** Latencia GRP 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4.5. Porcentaje de utilización del canal

La gráfica 23-4, muestra que las dos densidades de nodos emplean cantidades similares de porcentaje de utilización del canal con una pequeña variación y teniendo en 40 nodos un 55%.

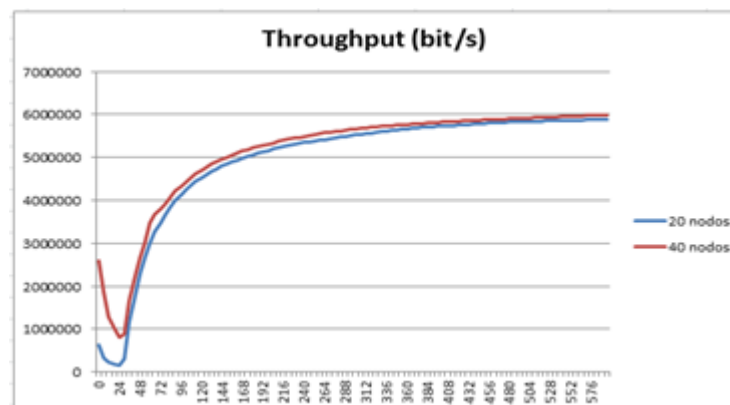


**Gráfico 23-4:** Porcentaje de utilización del canal GRP 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.4.6. Throughput

El gráfico 24-4, muestra el throughput en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el throughput. La gráfica indica su crecimiento en ambos casos, por lo tanto para 20 nodos móviles el valor máximo de throughput es de 5882716 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles es de 5991003 bit/s.



**Gráfico 24-4:** Throughput GRP 20 y 40 nodos móviles

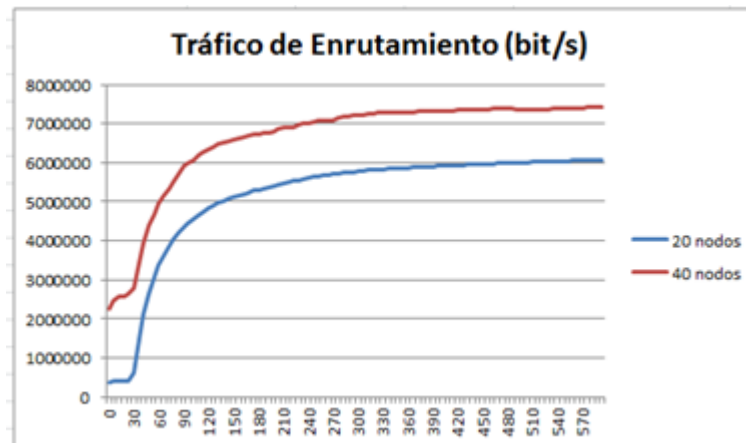
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5. Rendimiento OLSR 20 y 40 Nodos Móviles

Los escenarios planteados en la plataforma Opnet se simularon con el protocolo OLSR y al igual que los escenarios descritos anteriormente con la misma cantidad de nodos móviles. A continuación se muestran los resultados.

#### 4.3.5.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 25-4, muestra el tráfico de enrutamiento en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el tráfico. Teniendo en 20 nodos un valor mínimo de 378757 bit/s y para los 40 nodos 2266592 bit/s, después de este valor continúan aumentando hasta el final de la simulación a un valor máximo para 20 nodos de 6069532 bit/s y para 40 nodos de 7421003 bit/s.

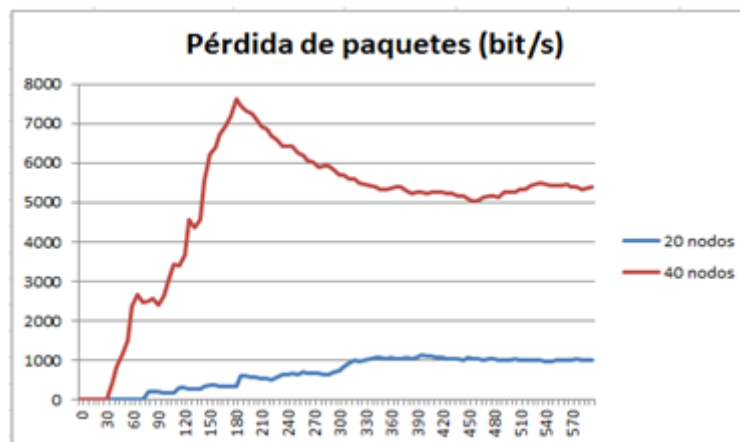


**Gráfico 25-4:** Tráfico de enrutamiento OLSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 26-4, muestra la pérdida de paquetes, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y los paquetes perdidos. Se observa que en 20 nodos su cantidad de paquetes perdidos varía desde 0 hasta 1128 bit/s, en cambio para 40 nodos móviles varía desde un punto mínimo de 439 hasta 7606 bit/s como valor máximo o valor pico.

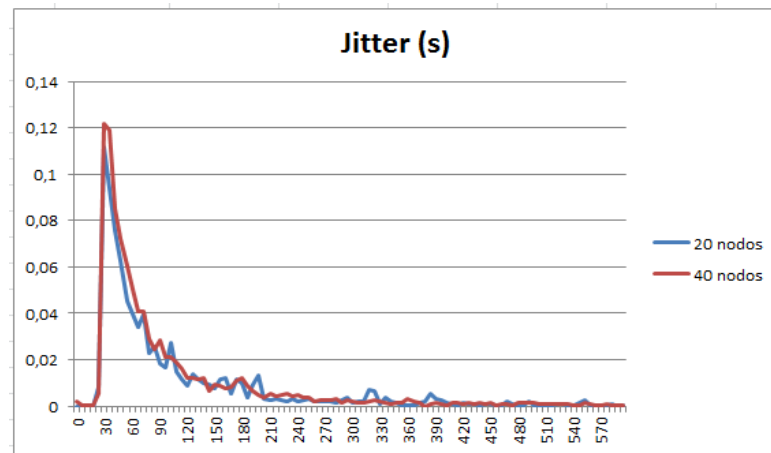


**Gráfico 26-4:** Pérdida de paquetes OLSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5.3. Jitter

El gráfico 27-4, muestra el jitter, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. La gráfica indica que en 20 nodos móviles la variación alcanza un valor pico de 0,11 segundos pero empieza a disminuir su variación hasta un valor mínimo de 0,00018 segundos, mientras que en 40 nodos móviles su valor pico es de 0,12 segundos y disminuye su variación a 0,0001 segundos.

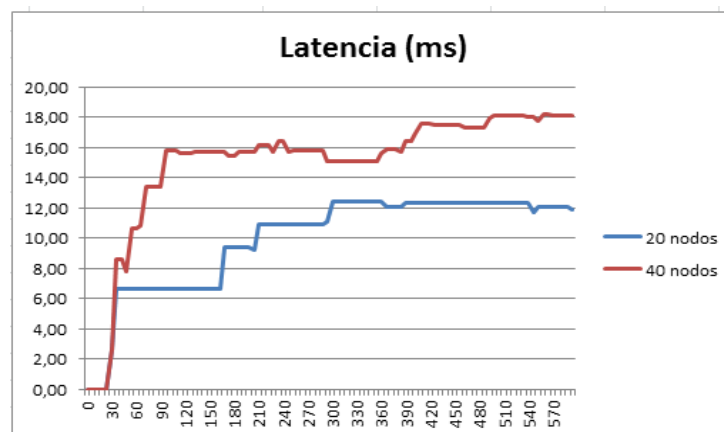


**Gráfico 27-4:** Jitter OLSR de 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5.4. Latencia

El gráfico 28-4, muestra la latencia retardo de extremo a extremo, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el retardo. La gráfica indica que en 20 nodos móviles el valor mínimo es de 2,65 ms y el valor máximo que alcanza la latencia es de 12,38 ms con ligeras variaciones durante todo el tiempo de simulación, mientras que en 40 nodos móviles su valor mínimo es 2,61 ms y su valor máximo de 18,21 ms.

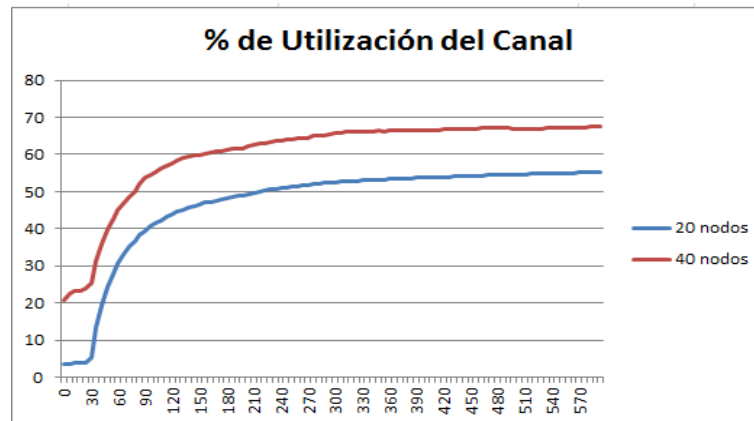


**Gráfico 28-4:** Latencia OLSR de 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5.5. Porcentaje de utilización del canal

La gráfica 29-4 muestra que se obtiene mayor porcentaje de utilización del canal con 40 nodos móviles del 67%.

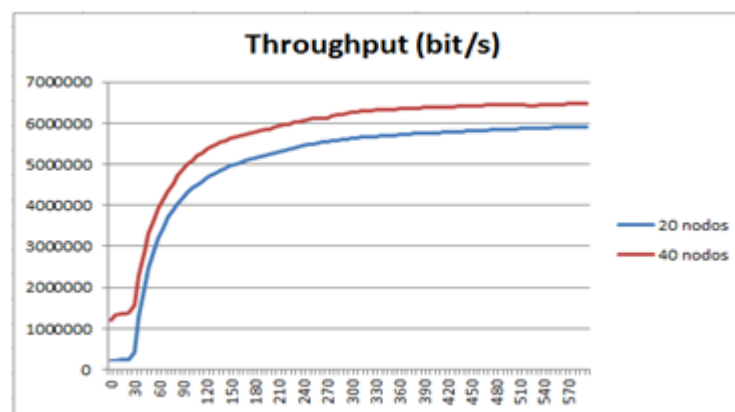


**Gráfico 29-4:** Porcentaje de Utilización del canal OLSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.3.5.6. Throughput

El gráfico 30-4, muestra el throughput en bit/s, donde el eje X indica el tiempo en segundos y el eje Y el throughput. La gráfica indica el aumento de los valores en los dos casos con similares variaciones, así para 20 nodos móviles el valor máximo del throughput es de 5915955 bit/s, mientras que para 40 nodos móviles es de 6486516 bit/s.



**Gráfico 30-4:** Throughput OLSR 20 y 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

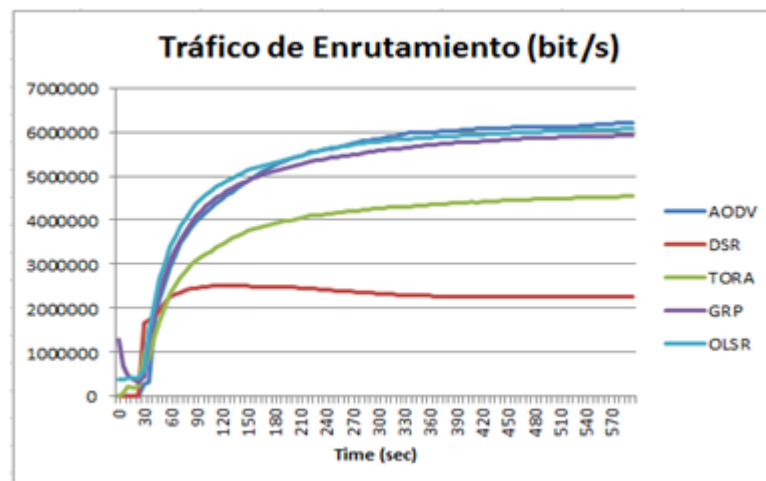
### 4.4. Análisis del Rendimiento para 20 nodos móviles

Se realizó un análisis con los escenarios de 20 nodos móviles para todos los protocolos bajo las métricas de tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y el rendimiento.



#### 4.4.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 31-4, muestra el tráfico de enrutamiento de los cinco protocolos para los 20 nodos móviles. Dichos valores expresan el tráfico de enrutamiento total en bit/s y se puede apreciar que los protocolos AODV, OLSR y GRP superan a los protocolos DSR y TORA. Así el tráfico de enrutamiento para AODV alcanza un valor máximo de 6218021 bit/s, OLSR con un valor máximo de 6069532 bit/s, GRP tiene un valor pico de 5917676 bit/s, DSR incrementa hasta 2263635 bit/s y TORA obtiene un valor máximo de 4536851 bit/s, todos estos valores lo acceden durante todo el tiempo de simulación. Las variaciones de cada protocolo depende de su naturaleza de trabajo es decir GRP se basa en el enrutamiento geográfico que le permite tener información de la ubicación de los nodos, OLSR se basa en enrutamiento optimizado obteniendo una actualización permanente de la tabla de enrutamiento, AODV está bajo demanda es decir que la ruta es descubierta según el requerimiento del nodo, DSR se basa en enrutamiento de origen conociendo todas las rutas de la red salto por salto al destino lo que provoca una caída en la red y TORA es un algoritmo de enrutamiento temporal ordenado el cual almacena solo la información de los nodos vecinos.

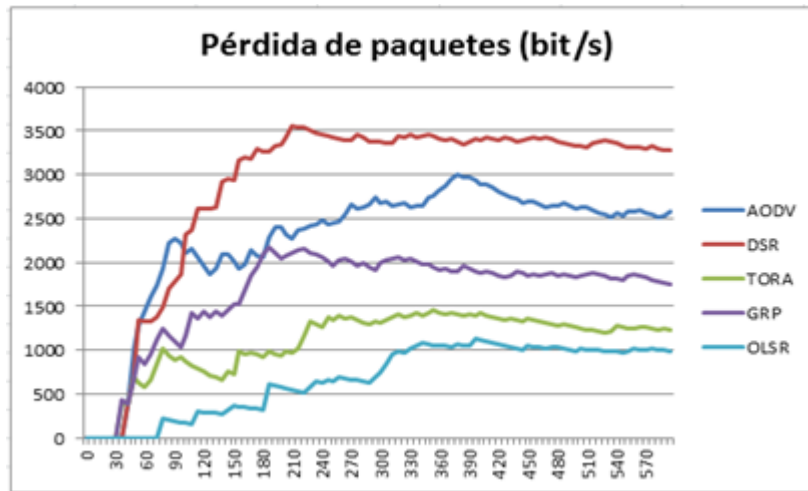


**Gráfico 31-4:** Tráfico de enrutamiento con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.4.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 32-4, muestra la cantidad de paquetes perdidos durante el tiempo de simulación, se observa que OLSR obtiene una menor pérdida de paquetes que va desde 0 hasta 1128 bit/s lo que le permite una transmisión eficiente de datos, seguido de TORA con una variación de 0 hasta 1449 bit/s, a continuación se encuentra GRP que varía de 0 a 2170 bit/s, luego está AODV con 0 a 3007 bit/s de variación y finalmente con la mayor variación se encuentra el protocolo DSR con un rango desde 0 a 3551 bit/s. Estos valores nos muestran que mientras aumenta el tiempo de simulación va aumentando la pérdida de paquetes.

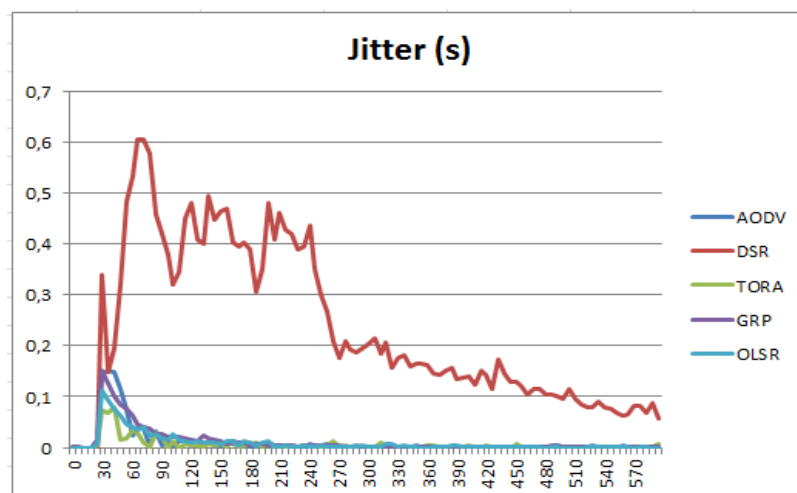


**Gráfico 32-4:** Paquetes perdidos con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.4.3. Jitter

Para una transmisión de videoconferencia el valor del jitter en una red debe ser menor y mínimas variaciones para que en el proceso de decodificación de los paquetes se genere una adecuada señal original. Por consiguiente en el gráfico 33-4, muestra que la variación del tiempo de llegada de los paquetes en todos los casos alcanza un valor pico, excepto para DSR que contiene variaciones muy significativas, así los valores pico para AODV, TORA, GRP y OLSR son de 0,15; 0,077; 0,15; 0,11 segundos respectivamente a partir de estos valores máximos empiezan a disminuir hasta un valor mínimo de 0,00011 segundos en AODV; 0,15 segundos para TORA; 0,00037 segundos le corresponde a GRP y 0,00018 segundos a OLSR. Por otro lado el protocolo DSR es el que mayor latencia posee y por lo tanto una mayor variación que va desde 0,6040 a 0,0571 segundos.



**Gráfico 33-4:** Jitter con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.4.4. Latencia

Para establecer una sesión de videoconferencia dentro de la red el valor de latencia debe ser mínima, por consiguiente en el gráfico 34-4 muestra que con el protocolo GRP se obtiene una menor latencia el cual alcanza un valor máximo para mantenerlo constante durante todo el tiempo de simulación en 7,37 ms, seguido por OLSR el cual presenta ligeras variaciones desde 2,65 hasta 12,38 ms al igual que AODV con ligeras variaciones pero de mayor valor de 2,15 a 21,25 ms, por otra parte DSR al igual que TORA poseen mayor latencia, así en DSR su latencia va aumentando hasta que en la mitad de la simulación su valor empieza a permanecer constante en 461,72 ms y finalmente TORA alcanza un valor máximo de 56,91 ms.

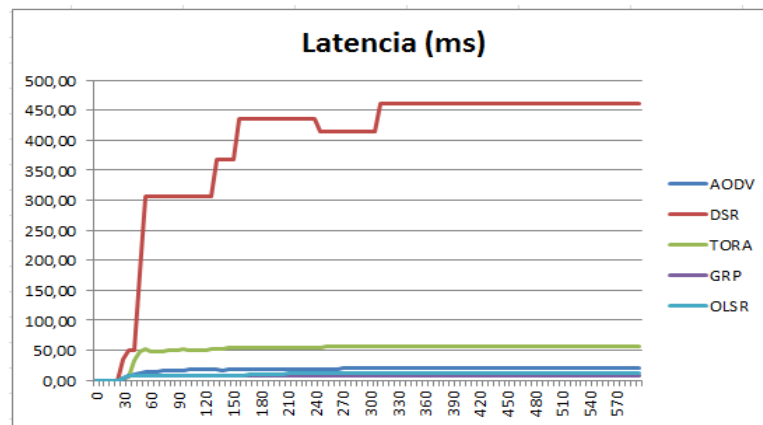


Gráfico 34-4: Latencia con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.4.5. Porcentaje de Utilización del Canal

El porcentaje de utilización del canal se estableció en cada instante de tiempo. La gráfica 35-4 muestra un mayor porcentaje de utilización con AODV del 57%, seguido por OLSR con el 55%, a continuación se encuentra GRP con un porcentaje del 54% y los de menor porcentaje son TORA y DSR con el 41% y 23% respectivamente.

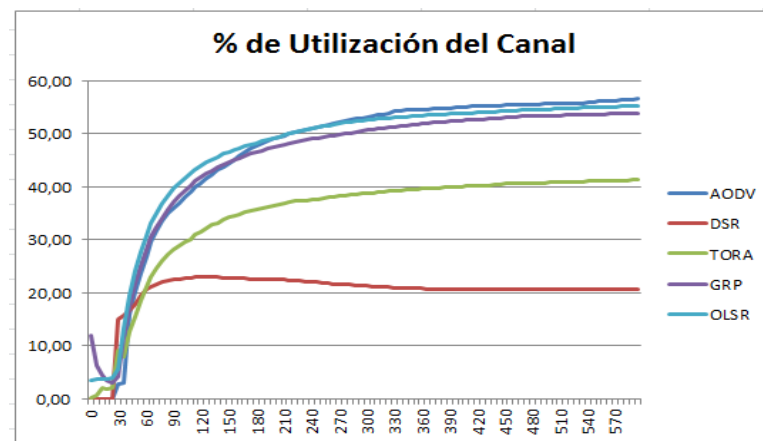


Gráfico 35-4: Porcentaje de utilización del canal con 20 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.4.6. Throughput

El throughput es el número de paquetes recibidos por todos los destinos durante la simulación, por lo tanto la gráfica 36-4, muestra que OLSR y GRP tienen un rendimiento mayor que AODV, TORA y DSR debido a su enrutamiento proactivo que permite obtener de manera fácil las rutas disponibles y evitar colisiones, Por lo tanto OLSR y GRP alcanzan un valor máximo de 5915955 y 5882716 bit/s respectivamente, el throughput de AODV alcanza a 5148530 bit/s, de TORA a 4101383 bit/s y DSR a 1531688 bit/s.

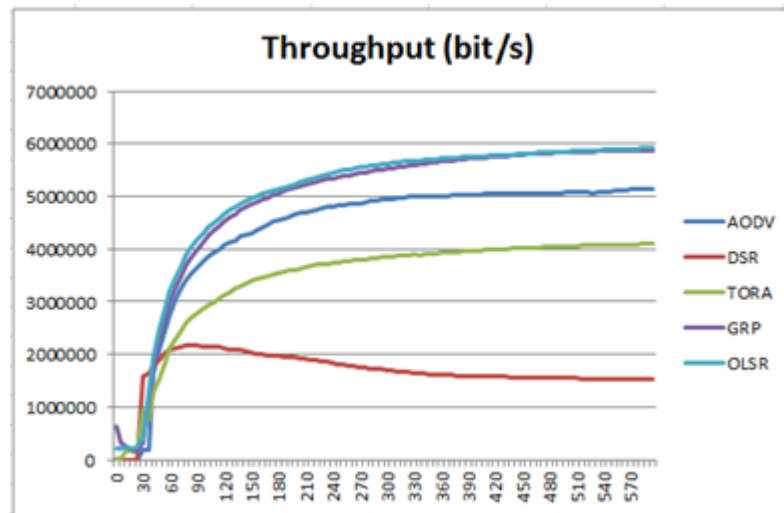


Gráfico 36-4: Throughput con 20 nodos móviles

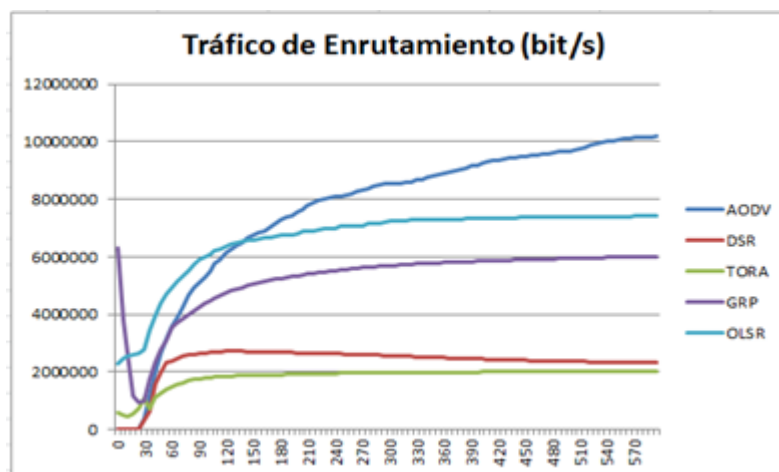
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5. Análisis del Rendimiento para 40 Nodos Móviles

Se realizó un análisis con los escenarios de 40 nodos móviles para todos los protocolos bajo las métricas de tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y el throughput.

##### 4.5.1. Tráfico de Enrutamiento

El gráfico 37-4, muestra el tráfico de enrutamiento de los cinco protocolos con su variación en los nodos es decir con 40 nodos móviles de los cuales 20 son nodos intermedios y 20 nodos clientes. Donde se puede observar que AODV presenta un mayor tráfico de 10200234 bit/s seguido de OLSR con 7421003 bit/s, a continuación está GRP con 6010335 bit/s y finalmente con menor tráfico se encuentra DSR Y TORA cada uno con 2718898 bit/s y 2024442 bit/s.

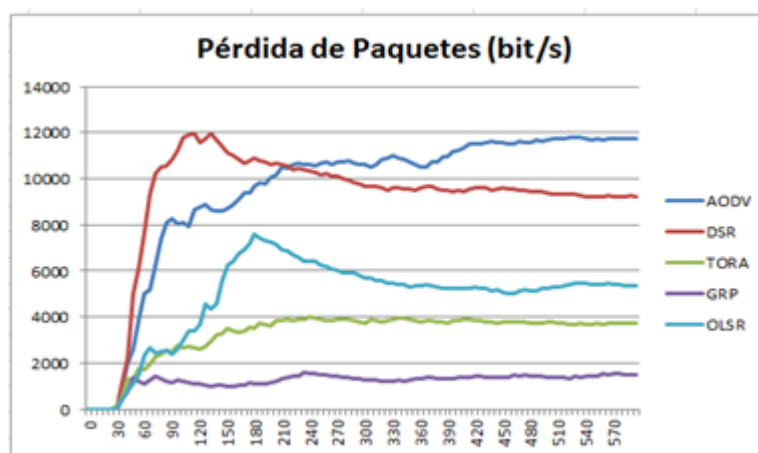


**Gráfico 37-4:** Tráfico de enrutamiento con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5.2. Pérdida de Paquetes

El gráfico 38-4, muestra la cantidad de paquetes perdidos, donde se aprecia que GRP obtiene una menor pérdida de paquetes que va desde 0 hasta 1601 bit/s, seguido de TORA con una variación de 169 hasta 4021 bit/s, a continuación se encuentra OLSR que varía de 0 a 7606 bit/s, luego está AODV con 0 a 11794 bit/s de variación y finalmente con la mayor variación se encuentra el protocolo DSR con un rango desde 0 a 11963 bit/s. Estos valores muestran ligeras variaciones de aumento durante el tiempo de simulación.



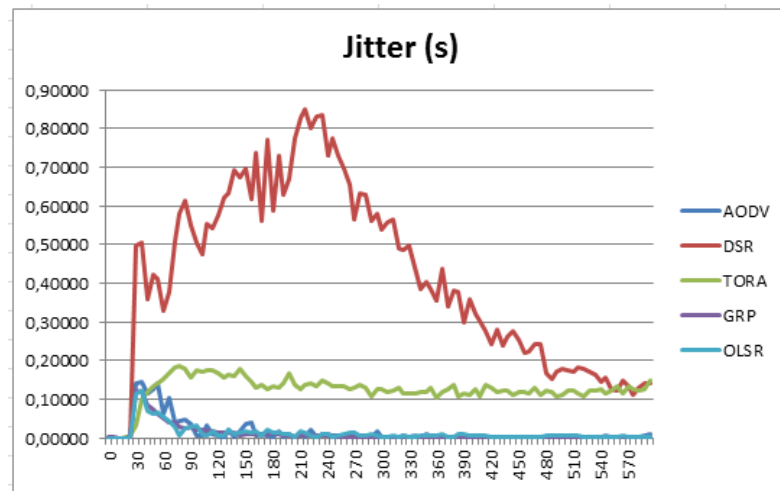
**Gráfico 38-4:** Paquetes perdidos con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5.3. Jitter

En el gráfico 39-4, se observa que la variación del tiempo de llegada de los paquetes en todos los casos alcanza un valor pico excepto en TORA que se mantiene con mínimas variaciones luego de alcanzar su valor pico de 0,18 segundos, el resto de protocolos como es DSR se

obtiene un jitter muy alto de 0,85 segundos, mientras que en los casos de AODV, GRP y OLSR mantiene valores muy bajos así su máximo jitter para cada caso es de 0,14 segundos para AODV y 0,12 segundos para los dos casos restantes.

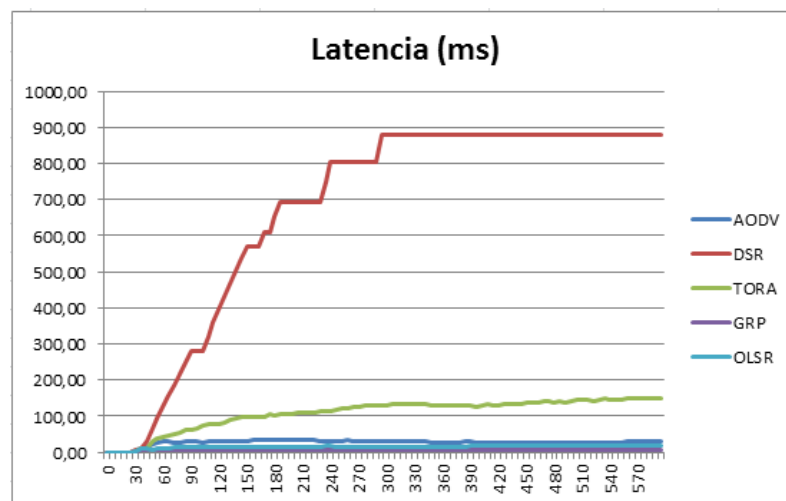


**Gráfico 39-4:** Jitter con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5.4. Latencia

El gráfico 40-4, muestra que la menor latencia se obtiene con GRP de 7,78 ms la misma que permanece constante durante todo el tiempo de simulación, seguido por OLSR el cual presenta ligeras variaciones desde 2,61 hasta 18,21 ms al igual que AODV con ligeras variaciones pero de mayor valor de 2,69 a 34,44 ms, por otra parte DSR al igual que TORA poseen mayor latencia, así en TORA alcanza un valor máximo de 150,46 ms y finalmente DSR donde su latencia va aumentando hasta que en la mitad de la simulación su valor empieza a permanecer constante en 878,07 ms.

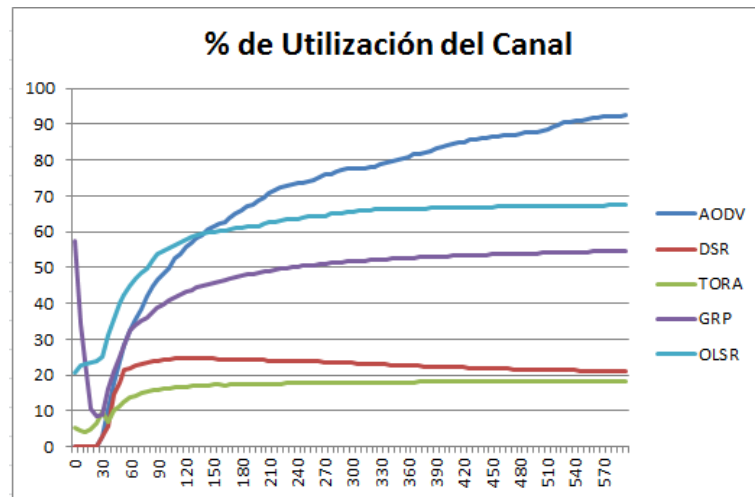


**Gráfico 40-4:** Latencia con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5.5. Porcentaje de Utilización del Canal

La gráfica 41-4, muestra el porcentaje que se obtuvo de la utilización del canal con 40 nodos móviles, teniendo un mayor porcentaje con AODV del 93%, seguido por OLSR con el 67%, a continuación se encuentra GRP con un porcentaje del 55% y los de menor porcentaje son DSR y TORA con el 21% y 18% respectivamente.

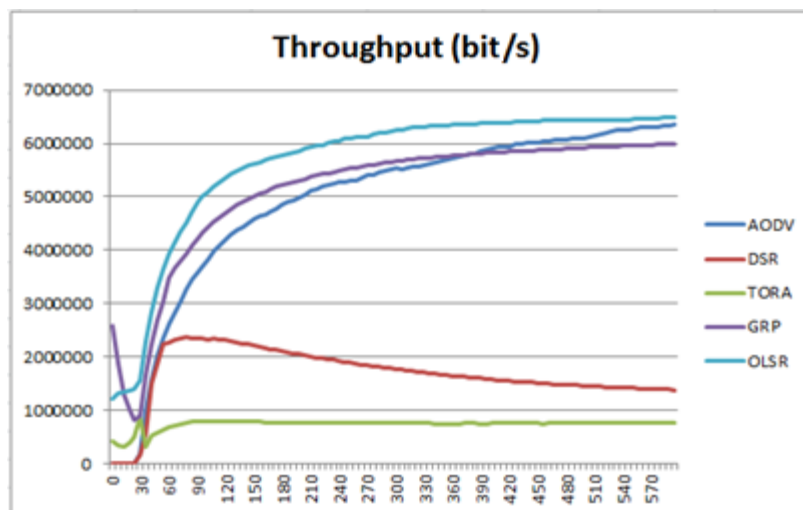


**Gráfico 41-4:** Porcentaje de utilización del canal con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.5.6. Throughput

El gráfico 42-4, muestra que OLSR tiene un throughput mayor de 6486516 bit/s, seguido de AODV con 6348541 bit/s y GRP que alcanza un valor cercano al anterior de 5991003 bit/s, con los dos protocolos restantes se obtiene un menor rendimiento de 2369736 bit/s para DSR y para TORA de 800625 bit/s.



**Gráfico 42-4:** Throughput con 40 nodos móviles

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

#### 4.6. Resumen de Resultados entre protocolos

La tabla 3-4 muestra el resumen de los datos entre protocolos, para lo cual se emplea como dato de análisis la mediana, por la distribución de los datos que son no normales y la mediana es más robusta para que se afecte menos por la presencia de valores extremos y debido a la presencia de valores crecientes o valores extremos la mediana dará una mejor información sobre el punto central de la distribución antes que la media.

**Tabla 3-4:** Mediana de valores métricas vs. protocolos reactivos y proactivos.

N.	TIPO DE NODOS	MÉTRICAS	AODV	DSR	TORA	GRP	OLSR
20	10 Intermedios	Tráfico de enrutamiento (bit/s)	5835197	2279317	4261097	5559801	5775223
		Pérdida de paquetes (bit/s)	2547	3355	1253	1860	717
		Jitter (ms)	1,83	173,5	1,97	1,91	2,08
	10 Clientes	Latencia (ms)	19,88	435,36	55,88	7,37	11,39
		% de Utilización del canal	53%	21%	39%	50%	52%
		Throughput (bit/s)	4939588	1633882	3855044	5518660	5619451
40	20 Intermedios	Tráfico de enrutamiento (bit/s)	8532275	2481244	1958382	5692925	7215313
		Pérdida de paquetes (bit/s)	10661	9600	3739	1338	5338
		Jitter (ms)	3,42	405,74	125,84	1,89	5,41
	20 Clientes	Latencia (ms)	28,38	878,0	127,85	7,78	15,8
		% de Utilización del canal	77%	23%	18%	52%	66%
		Throughput (bit/s)	5524830	1675119	765312	5654745	6242890

**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018

Los parámetros que definen una transmisión de videoconferencia son: el jitter y la latencia, ya que a mayor jitter peor es la calidad de la comunicación, estas variaciones de jitter son causadas por la congestión en la red, desviaciones en los tiempo o cambios de rutas por lo cual se establece hasta 150 ms, por otro lado la latencia también debe ser menor a 200 ms ya que si tarda más de este tiempo se notará el retardo entre la imagen y el sonido y en consecuencia se generará mayores pérdidas de paquetes. Así con la tabla 3-4, se determina:

- Para 20 nodos móviles el protocolo DSR presenta un mayor jitter y latencia al igual que TORA con una mayor latencia se descarta la utilización de estos protocolos ya que afectan a la calidad de la transmisión generando una mayor pérdida de paquetes. Por otro lado el protocolo que mejor jitter y mejor latencia presenta es GRP con 1,91 ms de jitter y una latencia de 7,37 ms lo que genera una menor pérdida de paquetes de 1860 bit/s, un menor porcentaje de utilización del canal del 50% en comparación con OLSR y AODV que también poseen valores bajos de jitter y latencia siendo el caso de OLSR



de 2,08 y 11,39 ms con una pérdida de paquetes de 717 bit/s y el 52% de utilización del canal, mientras que AODV de 1,83 y 19,88 ms de jitter y latencia, una pérdida de paquetes de 2547 bit/s y un mayor porcentaje de utilización del canal de 53%

- Para 40 nodos móviles al igual que el caso anterior DSR y TORA por presentar valores muy altos en cuanto a jitter y latencia no es aconsejable utilizarlos ya que la transmisión no será la que se necesita. Por lo tanto la comparación se realizará entre los tres protocolos restantes obteniendo que el protocolo GRP es el mejor tanto en jitter con 1,89 ms como en latencia de 7,78 ms generando una pérdida de paquetes del 1338 bit/s y en consecuencia un menor porcentaje de utilización del canal del 52%, seguido a este se encuentra OLSR el mismo que tiene como valor de jitter 5,41 ms, valor de latencia 15,8 ms, 5338 bit/s de pérdida de paquetes y el 66% de utilización del canal, finalmente se encuentra AODV con 3,42 ms de jitter, una mayor latencia de 28,38 ms, mayor pérdida de paquetes de 10661 bits/s y un porcentaje de utilización del canal del 77 %.
- En cuanto al tráfico de enrutamiento y throughput se puede decir que a medida que aumentan los nodos, aumenta el tráfico de enrutamiento y el throughput, por lo que se necesita un mayor rendimiento para poder filtrar los errores y evitar colisiones así el protocolo con mayor throughput es OLSR, con 5619451 bit/s en 20 nodos móviles y de 6242890 bit/s en 40 nodos móviles.

## **4.7. Comprobación de la Hipótesis**

### **4.7.1. Hipótesis General**

La plataforma DES para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets permitirá determinar el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video.

### **4.7.2. Demostración de la hipótesis**

Para comprobar la hipótesis se utilizaron los datos obtenidos en las simulaciones de los diferentes escenarios con los cinco protocolos de enrutamiento para redes MANETS y mediante el programa SPSS se analiza los datos para poder aceptar o rechazar la hipótesis planteada. Por lo cual en el presente trabajo de investigación para comprobar el tipo de muestras obtenidas, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov la cual permite contrastar la normalidad del conjunto de datos, este método se utiliza para muestras grandes es decir  $n > 30$ .

#### 4.7.3. Prueba Kolmogorov-Smirnov

En la tabla 4-4, se muestra el resultado de la prueba Kolmogorov-Smirnov que se empleó para verificar los datos, donde el valor de la columna Sig. determina si existe normalidad o no.

Se establece el nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

Si el valor  $\text{Sig.} > \alpha$  existe normalidad o  $\text{Sig.} < \alpha$  No existe normalidad.

De acuerdo a los parámetros mencionados en la tabla 4-4 se observa que el nivel crítico (Sig.) con todos los protocolos es menor a cero coma cero cinco (0,05), por ende se establece que todos los datos tienen una distribución no normal.

**Tabla 4-3:** Prueba de Kolmogorov-Smirnov de las muestras de la red Manet

Tráfico de enrutamiento con 20 nodos móviles (bit/s)				Tráfico de enrutamiento con 40 nodos móviles (bit/s)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,248	100	0,000	0,190	100	0,000
DSR	0,441	100	0,000	0,397	100	0,000
TORA	0,254	100	0,000	0,323	100	0,000
GRP	0,252	100	0,000	0,233	100	0,000
OLSR	0,263	100	0,000	0,266	100	0,000
Pérdida de paquetes con 20 nodos móviles (bit/s)				Pérdida de paquetes con 40 nodos móviles (bit/s)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,218	100	0,000	0,269	100	0,000
DSR	0,358	100	0,000	0,400	100	0,000
TORA	0,237	100	0,000	0,326	100	0,000
GRP	0,298	100	0,000	0,206	100	0,000
OLSR	0,245	100	0,000	0,298	100	0,000
Jitter con 20 nodos móviles (ms)				Jitter con 40 nodos móviles (ms)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,376	100	0,000	0,348	100	0,000
DSR	0,179	100	0,000	0,094	100	0,028
TORA	0,319	100	0,000	0,222	100	0,000
GRP	0,326	100	0,000	0,322	100	0,000
OLSR	0,315	100	0,000	0,285	100	0,000
Latencia con 20 nodos móviles (ms)				Latencia con 40 nodos móviles (ms)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,264	100	0,000	0,397	100	0,000
DSR	0,315	100	0,000	0,276	100	0,000
TORA	0,346	100	0,000	0,208	100	0,000
GRP	0,538	100	0,000	0,538	100	0,000
OLSR	0,273	100	0,000	0,347	100	0,000
% de Utilización del canal con 20 nodos móviles				% de Utilización del canal con 40 nodos móviles		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,253	100	0,000	0,192	100	0,000
DSR	0,459	100	0,000	0,399	100	0,000
TORA	0,264	100	0,000	0,372	100	0,000
GRP	0,247	100	0,000	0,241	100	0,000
OLSR	0,268	100	0,000	0,278	100	0,000
Throughput con 20 nodos móviles (bit/s)				Throughput con 40 nodos móviles (bit/s)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AODV	0,273	100	0,000	0,201	100	0,000
DSR	0,329	100	0,000	0,224	100	0,001
TORA	0,254	100	0,000	0,398	100	0,000
GRP	0,254	100	0,000	0,243	100	0,000
OLSR	0,263	100	0,000	0,264	100	0,000

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

Por la distribución no paramétrica, se ha utilizado la prueba de Kruskal-Wallis para k muestras con la finalidad de comprobar la hipótesis general definiéndola en nula y específica.

$H_0$ = La plataforma DES para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets no permitirá determinar el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video.

$H_1$ = La plataforma DES para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets permitirá determinar el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video.

#### 4.7.4. Prueba de Kruskal-Wallis

La tabla 5-4, muestra el resumen de la prueba de Kruskal-Will mediante SPSS para el tráfico de enrutamiento, pérdida de paquetes, jitter, latencia, porcentaje de utilización del canal y throughput para 20 y 40 nodos móviles, con cuatro grados de libertad, en donde el valor de la columna de sig. permitirá determinar si se acepta o no la hipótesis específica.

**Tabla 4-4:** Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis en SPSS

Tráfico de Enrutamiento			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	347,22	0,000	391,95	0,000
DSR	100	4	84,40	0,000	157,39	0,000
TORA	100	4	185,55	0,000	69,87	0,000
GRP	100	4	300,78	0,000	271,48	0,000
OLSR	100	4	334,56	0,000	361,82	0,000
Pérdida de Paquetes			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	338,65	0,000	388,09	0,000
DSR	100	4	399,78	0,000	363,89	0,000
TORA	100	4	163,32	0,000	177,28	0,000
GRP	100	4	255,10	0,000	80,19	0,000
OLSR	100	4	95,66	0,000	243,07	0,000
Jitter			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	196,27	0,000	160,20	0,000
DSR	100	4	427,89	0,000	426,07	0,000
TORA	100	4	202,78	0,000	344,07	0,000
GRP	100	4	220,18	0,000	140,23	0,000
OLSR	100	4	205,39	0,000	181,95	0,000
Latencia			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	248,60	0,000	252,23	0,000
DSR	100	4	428,46	0,000	421,13	0,000
TORA	100	4	337,65	0,000	338,82	0,000
GRP	100	4	94,46	0,000	73,78	0,000
OLSR	100	4	143,33	0,000	166,54	0,000
% de Utilización del canal			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	345,52	0,000	392,39	0,000
DSR	100	4	84,71	0,000	157,47	0,000
TORA	100	4	185,11	0,000	69,56	0,000
GRP	100	4	301,51	0,000	271,37	0,000
OLSR	100	4	335,67	0,000	361,72	0,000

Throughput			20 nodos móviles		40 nodos móviles	
	N	gl	Rango	Sig.	Rango	Sig.
AODV	100	4	271,90	0,000	313,76	0,000
DSR	100	4	80,73	0,000	161,27	0,000
TORA	100	4	182,55	0,000	63,44	0,000
GRP	100	4	353,18	0,000	319,12	0,000
OLSR	100	4	364,15	0,000	394,92	0,000

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

Se realiza la decisión estadística mediante la comprobación del valor de la columna de significancia.

Donde:

Si el valor Sig. > 0,05 Se acepta la  $H_0$

Si el valor Sig. < 0,05 Se acepta la  $H_1$

Entonces:

Como  $0,000 < 0,05$  se cumple la hipótesis específica  $H_1$

$H_1$ = La plataforma DES para la evaluación de algoritmos de routing en redes Manets permitirá determinar el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video, bajo los siguientes resultados que se muestra en la tabla 6-4.

**Tabla 5-4:** Resumen de las métricas de rendimiento con los protocolos

PARÁMETRO DE RENDIMIENTO	20 NODOS MÓVILES	40 NODOS MÓVILES
Tráfico de Enrutamiento	GRP	GRP
Pérdida de paquetes	OLSR	GRP
Jitter	AODV	GRP
Latencia	GRP	GRP
% de Utilización del Canal	GRP	GRP
Throughput	OLSR	OLSR

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

Con esta comprobación se puede determinar el protocolo con los mejores resultados con cada tipo de movilidad de nodos, y se pudo comprobar que la evaluación de algoritmos de routing en redes manets mediante la plataforma de eventos discretos OPNET ha permitido determinar que el protocolo GRP es el algoritmo más adecuado para el transporte eficiente de tráfico de video.

## CONCLUSIONES

- Al evaluar los algoritmos de routing en Redes Manets mediante una plataforma de simulación de eventos discretos se determinó que se necesita un protocolo donde el retraso de llegada de paquetes de voz y video entre el remitente y el destino debe tener un valor inferior a 200 ms, ya que una latencia excesiva amenaza con de-sincronizar los datos de audio y video.
- Existen una variedad de plataformas de simulación para Redes Manets como NS-2, NS-3, OMNeT++, Riverbed Modeler Academic y Opnet Modeler, pero después del estudio realizado se empleó OPNET por las mejores prestaciones brindadas como la alta flexibilidad, escalabilidad y no es tan complejo lo que permite que los usuarios trabajen en procesos de investigación y desarrollo.
- Los protocolos de enrutamiento desempeñan una función primordial dentro de una red para desarrollar una comunicación entre los usuarios. Dentro de las redes manets para realizar el encaminamiento de los datos los protocolos se clasifican en protocolos proactivos y reactivos los mismos que presentan la característica de la escalabilidad permitiendo la inserción de nuevos nodos en la red sin que se afecte su rendimiento.
- Al realizar un análisis del comportamiento de la red de acuerdo a las gráficas y las tablas estadísticas se determinó que el protocolo con mejor rendimiento es GRP, para 20 y 40 nodos, por tener un jitter bajo (1,91 ms y 1,89 ms ), una menor latencia (7,37 ms y 7,70 ms) en consecuencia una baja pérdida de paquetes (1860 bit/s y 1338 bit/s) al igual que un menor porcentaje de utilización del canal (50% y 52%), un tráfico de enrutamiento significativo (5559801 bit/s y 5692925 bit/s) al igual que el throughput (5518660 bit/s y 5654745 bit/s) en comparación con el resto de protocolos.
- La investigación muestra que en las redes Manets con una movilidad aleatoria y sin una infraestructura previamente creada, los protocolos que mejor se adaptan a este tipo de red son los protocolos proactivos por las características que presenta como la escalabilidad, la confiabilidad y es libre de lazos bajo la carga de tráfico de videoconferencia.

## RECOMENDACIONES

- Para la instalación de la plataforma de simulación OPNET, se recomienda que el equipo cumpla con los requisitos de hardware como una capacidad de 256 Mb de memoria RAM disponible y 400 Mb de espacio en el disco, porque la instalación utiliza una gran cantidad de memoria del computador al igual al momento de la simulación de la videconferencia.
- Para estudiar las redes manets de antemano se debe conocer el funcionamiento y la razón de su existencia, ya que tiene la particularidad de conectarse por medio de enlaces sin la utilización de una estructura física y son sistemas distribuidos que comprenden nodos que pueden auto-organizarse de forma libre y flexible.
- Se recomienda utilizar el protocolo proactivo GRP, para una transmisión eficiente de datos de video en redes MANET, debido a que dicho protocolo mediante su enrutamiento geográfico usa información de ubicación para formular una búsqueda de ruta eficiente hacia el destino y el uso de la tabla de enrutamiento es reducido debido al enfoque localizado. A demás se recomienda utilizar el protocolo proactivo OLSR ya que para una transmisión cada nodo dispone de una actualización permanente de la información de su tabla de enrutamiento, del estado y disposición de todos los nodos conectados a la misma red, donde periodicamente se envían mensajes de HELLO, lo que le permite funcionar bien en redes con gran número de nodos, y en una topología aleatoria e impredecible.
- Se recomienda para trabajos futuros el aumento en la cantidad de nodos móviles para verificar el adecuado funcionamiento de la red.

## **GLOSARIO**

<b>AODV</b>	Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing
<b>BABEL</b>	Loop-avoiding distance-vector Routing Protocol
<b>BATMAN</b>	Better Approach to Mobile adhoc Networking
<b>DES</b>	Simulación de Eventos Discretos
<b>DSDV</b>	Destination-Sequenced Distance Vector
<b>DSR</b>	Dynamic Source Routing
<b>GRP</b>	Geographic Routing Protocol
<b>MANETs</b>	Mobile Ad hoc Networks
<b>NS2</b>	Network Simulation 2
<b>NS3</b>	Network Simulation 3
<b>OLSR</b>	Optimized Link State Routing
<b>RERR</b>	Route Error Message
<b>RREP</b>	Route Replay Packet
<b>RREQ</b>	Route Request Packet
<b>TORA</b>	Temporally Ordered Routing Algorithm
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access
<b>WLAN</b>	Redes Inalámbricas de Área Local
<b>WMAN</b>	Redes Inalámbricas de Área Metropolitana
<b>WPAN</b>	Redes Inalámbricas de Área Personal
<b>WRP</b>	Wireless Routing Protocol
<b>WWAN</b>	Redes Inalámbricas de Área Extensa

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdulrahman Ahmed, A.** (2013). Performance Analysis and Comparison of Ad Hoc Routing Protocols AODV and OLSR on Video Conferencing Using OPNET Simulador.
- Alvarez Valderas, R. C.** (2010). Calidad del Servicio de Videoconferencia de la red Corporativa de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba.
- Andino Jurado, P. F.** (2010). Estudio Comparativo de Protocolos de Ruteo en Redes Ad Hoc Aplicado a Redes Móviles. Riobamba, Ecuador.
- Bansal, V., Antil, R., & Jonish.** (2015). Infra-Red WLAN Performance Evaluation in 1 Mbps and 2 Mbps Using OPNET for GRP . *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 1-9.
- Battula, R. S., & Khanna, O.** (2013). Geographic Routing Protocols for Wireless Sensor Network: A Review. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 1-4.
- Calderón Parrales, J. A.** (12 de 09 de 2016). Simulación de protocolos de enrutamiento en una red inalámbrica Ad-Hoc. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Cornejo Díaz, A.** (Junio de 2014). Redes de Sensores Inalámbricos, su simulación en el Network Simulator Versión 3.
- Coya Rey, L., Ledesma Quiñones, T. O., & Baluja García, W.** (2014). Selección del Protocolo de Enrutamiento para la Implementación de una MANET. *Cujae*, 1-11.
- Espiritu Castro, J. J., Estrada Burgos, M. A., & Vázquez González, J.** (11 de 2012). Evaluación del desempeño de los protocolos de enrutamiento AODV yDSDV en una red Ad Hoc. México D.F., México.
- Garzón González, M. A.** (2009). Estudio del Comportamiento de una Red Ad Hoc (MANET) Metropolitana, basado en los Protocolos de Enrutamiento. Sangolquí, Ecuador.
- Gómez Puerta, P. A., Posada Pérez, G. A., & Vallejo Velásquez, M.** (2014). Evaluación del desempeño del protocolo de enrutamiento AODV para diferentes escenarios de redes de sensores inalámbricos. *Ingeniería y Desarrollo*, 7-23.
- Kumar, J., Singh, A., Panda, M., & Bhadauria, H.** (2016). Study and Performance Analysis of Routing Protocol Based on CBR. *Procedia Computer Science*, 1-8.



- Lara, R., Olmedo, G., & Rodríguez, L.** (s.f.). Evaluación de Protocolos de Enrutamiento usados en las Redes Móviles Ad Hoc, utilizando el software Network Simulator 2.
- Lindeberg, M., Kristiansen, S., Plagemann, T., & Goebel, V.** (2011). *Challenges and techniques for video streaming over mobile ad hoc networks.*
- MIT.** (13 de 04 de 2012). *EcuRed.* Obtenido de [https://www.ecured.cu/index.php?title=Opnet\\_Modeler&oldid=1472655](https://www.ecured.cu/index.php?title=Opnet_Modeler&oldid=1472655)
- Niama Borja, K.** (2017). Simulación, modelamiento y evaluación de los protocolos de routing en redes Manet's con aplicaciones de video mediante plataformas opensource de eventos discretos.
- Nisar, M., Mehmood, A., & Nadeem, A.** (n.d.). A Review and Performance Analysis of Mobility Models for MANETs: A Case Study. *Federal Urdu University of Arts Science & Technology*, 1-6.
- Nyirenda, B., & Mwanza, J.** (2009). Performance Evaluation of Routing Protocols in Mobile Ad hoc Networks (MANETs).
- Pastor Morales, M.** (08 de 07 de 2009). Simulación en OPNET de ataques a la seguridad 802.11 mediante técnicas de jamming. Granada.
- Puneet, M., Paramjeet, S., & Shaveta, R.** (2013). Performance Analysis of AODV, OLSR, GRP and DSR Routing Protocols with Database Load in Manet. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 1-9.
- Ramírez Gámez, D.** (2015). Simulación de un Algoritmo de Encaminamiento en Redes Manet basado en Reputación. Barcelona, España.
- Riverbed, T.** (2018). *Riverbed.* Obtenido de <https://www.riverbed.com/mx/products/steelcentral/index.html>
- Roshanasan, M.** (2012, 06). Performance Evaluation of Routing Protocols in Wireless Mobile Ad Hoc Networks (MANETS) using OPNET Simulator.
- Sajjad, A., & Asad, A.** (2009). Performance Analysis of AODV, DSR and OLSR in Manet. Suecia.
- Sharma, V., Singh, H., Kaur, M., & Banga, V.** (2012). Performance evaluation of reactive routing protocols in Manet networks using GSM based voice traffic applications. *El Sevier*, 1-4.

## ANEXOS

### *Anexos A: Pasos de la Creación y Configuración de la Red Manet en OPNET*

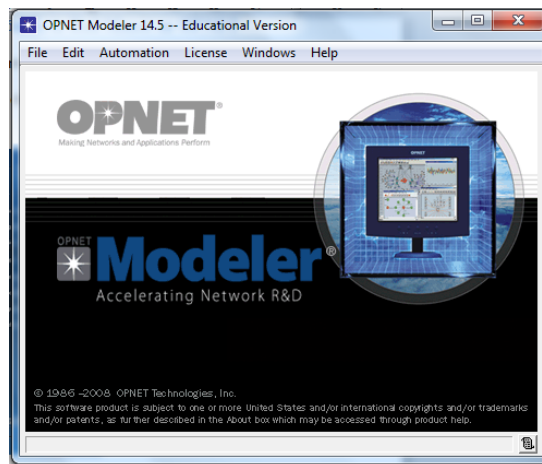
En los siguientes pasos, se detalla como iniciar el simulador OPNET, la creación del proyecto.

**Paso 1:** Ir al menú de inicio y hacer clic en el botón de OPNET Modeler 14.5, luego a parecerá la pantalla de inicialización de OPNET.



**Figura A-1:** Inicialización de OPNET

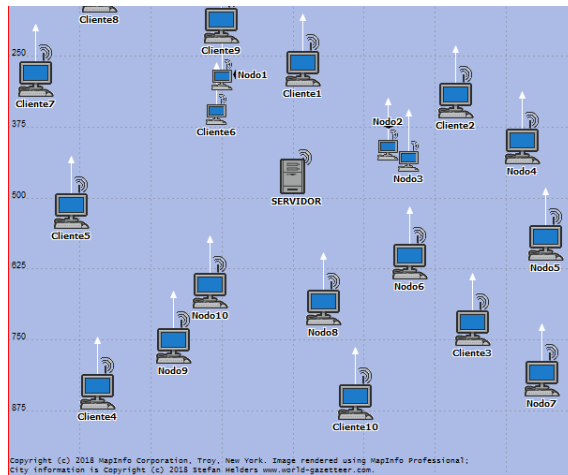
**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018



**Figura A-2:** Pantalla de OPNET

**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018

**Paso3:** Se crea la red bajo el modelo de desarrollar una topología inalámbrica, obteniendo el escenario con los nodos requeridos.

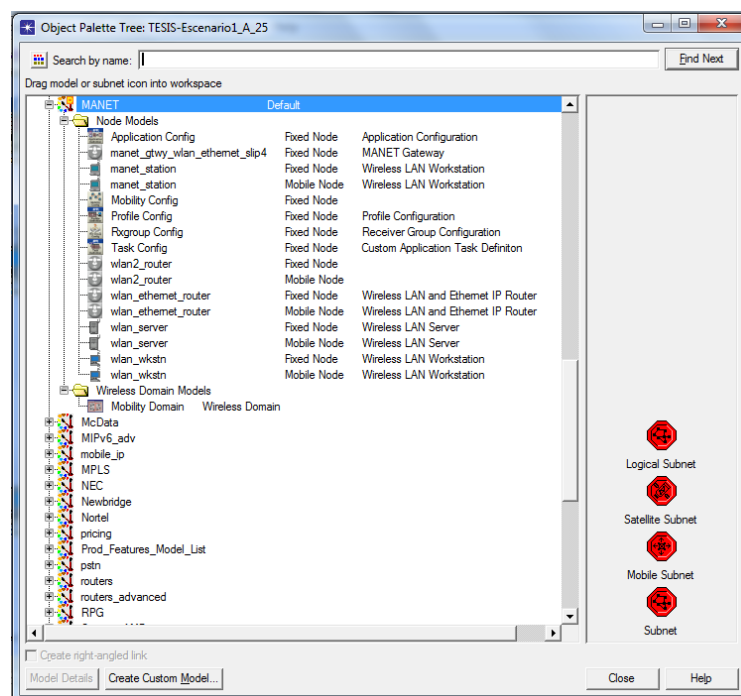


**Figura A-3:** Escenario OPNET

**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018

**Paso 4:** Para crear en la estructura de simulación los nodos de aplicación, perfil y movilidad se debe realizar:

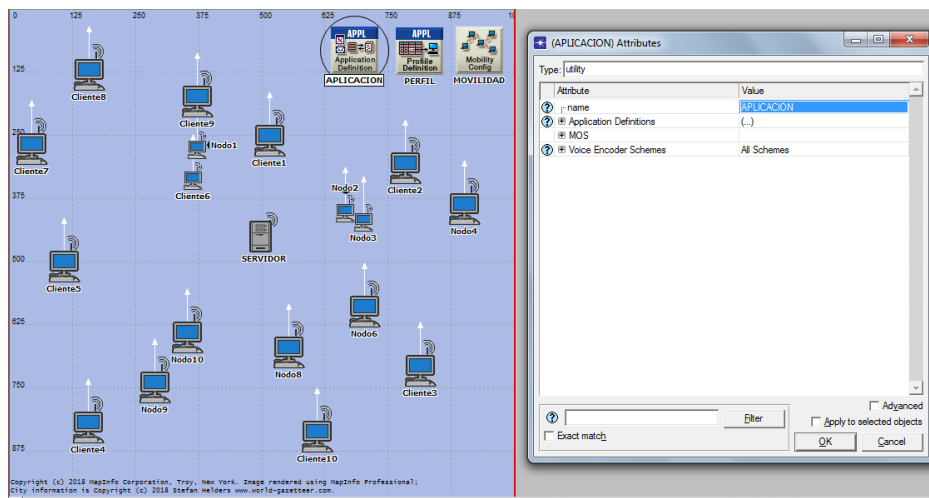
- Abrir la paleta de objetos donde se podrá escoger el modelo de nodo relacionado con la simulación.
- Seleccionar el nodo de Application Config y ponerle en el área de trabajo
- Seleccionar el nodo del Profile Config y ponerle en el área de trabajo
- Seleccionar el nodo del Mobility Config y ponerle en el área de trabajo



**Figura A-4:** Object Palette Tree

**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018

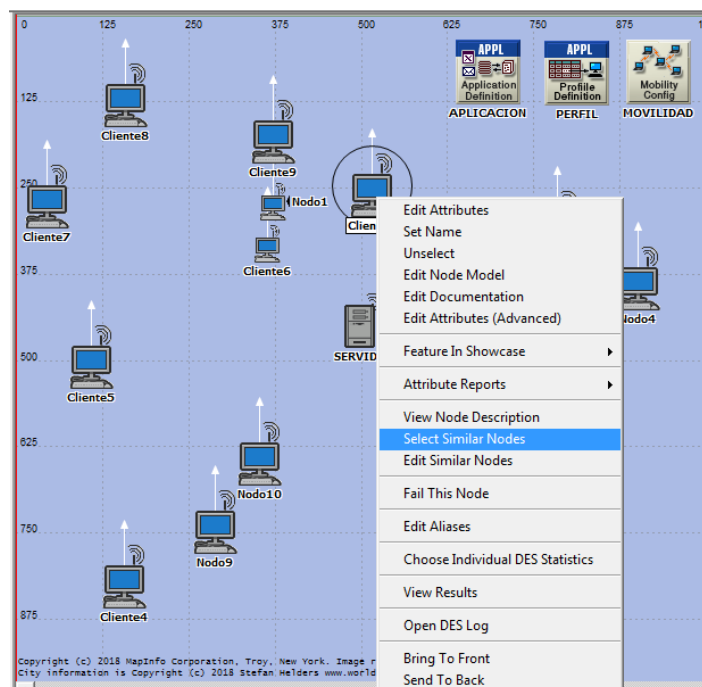
**Paso 5:** Después de tener todos los nodos requeridos, haga clic derecho en el nodo de la aplicación y editar atributos , cambie el nombre de la aplicación en el campo de valor como se muestra en la figura A-5. De igual manera se realiza con los nodos de perfil y movilidad.



**Figura A-5:** Nodo de Aplicación

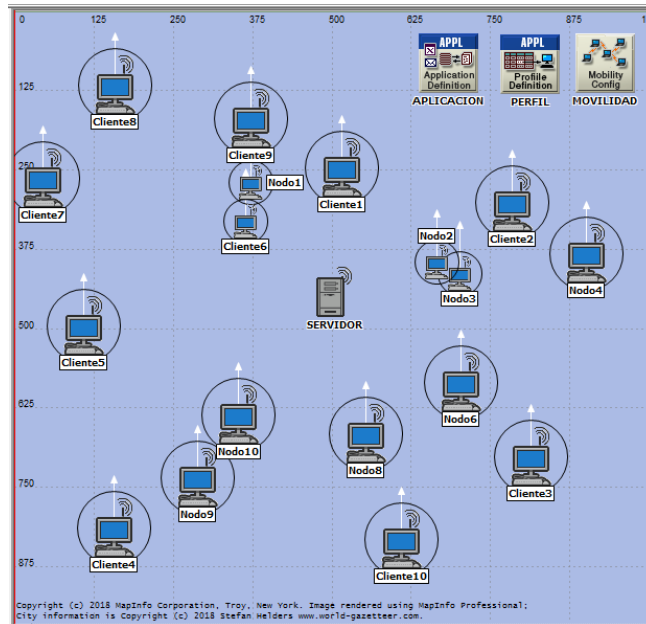
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

**Paso 6:** Haga clic con el botón derecho del mouse sobre cualquier nodo y escoja la opción seleccionar nodos similares de la lista para que todos los nodos se seleccionen como se muestra en la figura A-6 y A-7.



**Figura A-6:** Seleccionat todos lod nodos similares

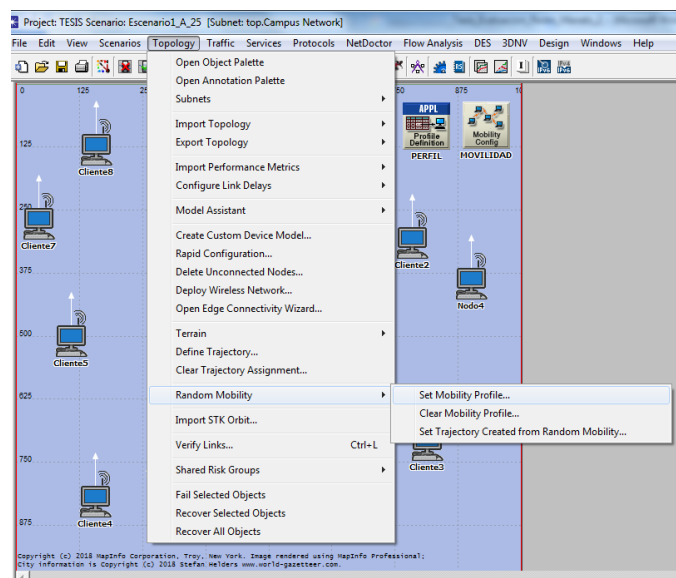
Realizado por: Mónica Vimos, 2018



**Figura A-7:** Todos los nodos seleccionados

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

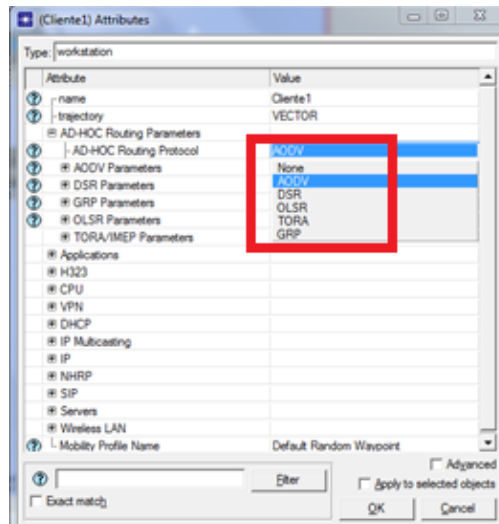
**Paso 7:** En el menú despegable de Topología seleccione Random Mobility, para configurar el perfil de movilidad, como se muestra en la figura A-8.



**Figura A-8:** Configuración de movilidad de nodos

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

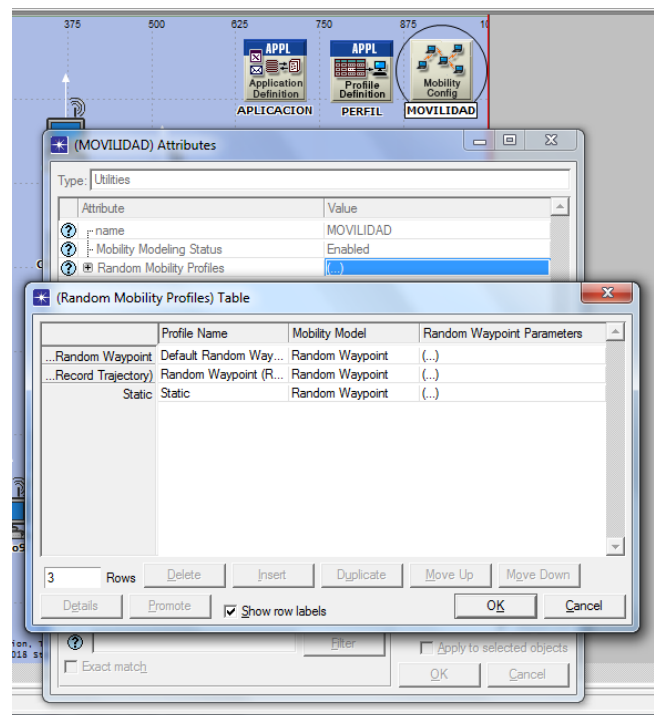
**Paso 8:** Se configura el protocolo de comunicación entre los nodos para lo cual se realiza según las especificaciones del punto 3.3.5



**Figura A-9:** Configuración del protocolo de comunicación

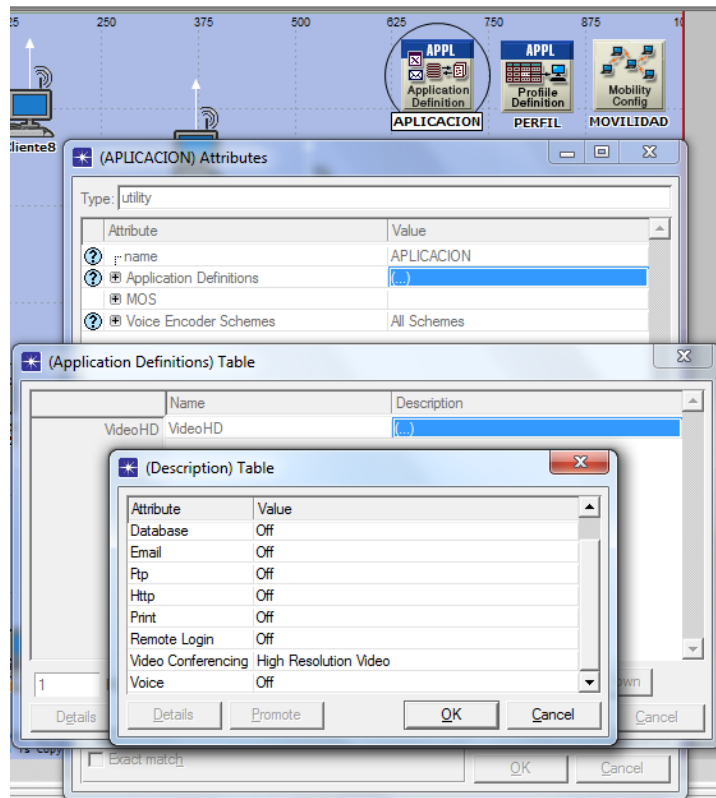
Realizado por: Mónica Vimos, 2018

**Paso 9:** Se configura el nodo de movilidad bajo las características del literal 3.3.6, para lo cual se hace clic derecho en el nodo movilidad y editar atributos. Al igual para los nodos de aplicación y perfil mediante las características de los literales 3.3.7 y 3.3.8.



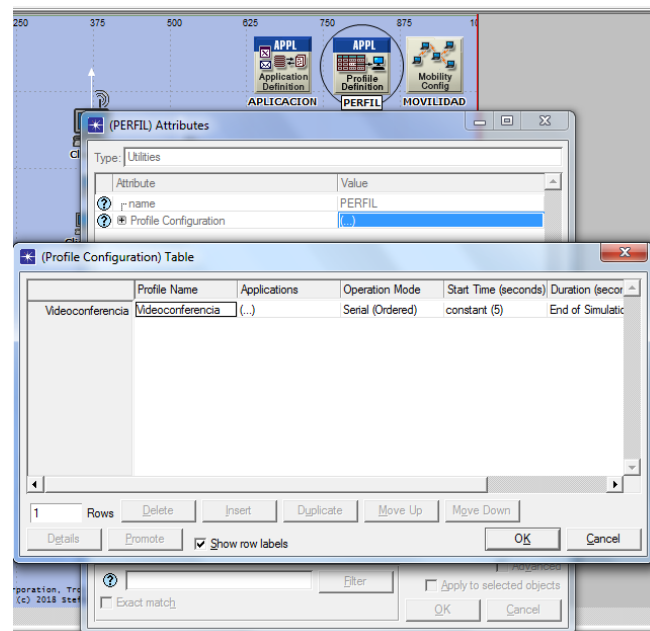
**Figura A-10:** Configuración del nodo movilidad

Realizado por: Mónica Vimos, 2018



**Figura A-11:** Configuración del nodo Aplicación

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

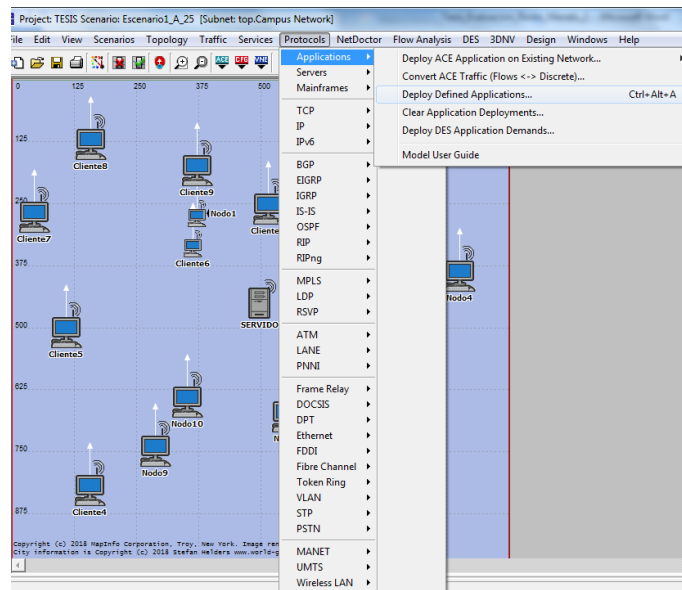


**Figura A-12:** Configuración del nodo perfil

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

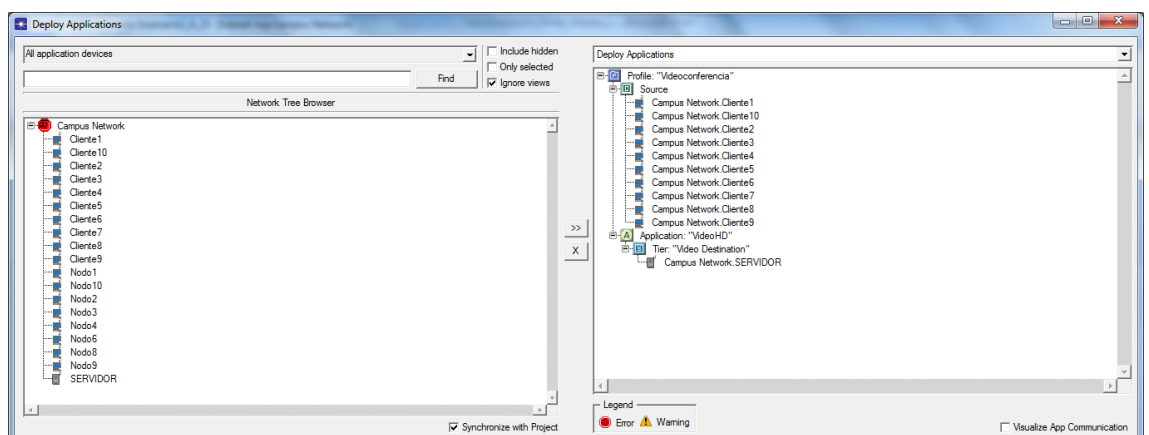
**Paso 10:** Deploy Application, para establecer los clientes y el servidor:

- Hacer clic en menú principal en la opción Protocols y seleccione Applications, a continuación Deploy Defined Applications.
- Seleccionar los nodos del lado izquierdo del árbol de la red y en el árbol de la derecha, seleccionar la aplicación o el perfil.
- Hacer clic en el botón asignar (>>) para implementar el conjunto de nodos seleccionados.
- Para eliminar el perfil o la aplicación: primero seleccione todos los nodos del lado derecho y luego haga clic en el botón (x) para eliminar los nodos seleccionados.



**Figura A-13:** Implementar aplicación definida

Realizado por: Mónica Vimos, 2018



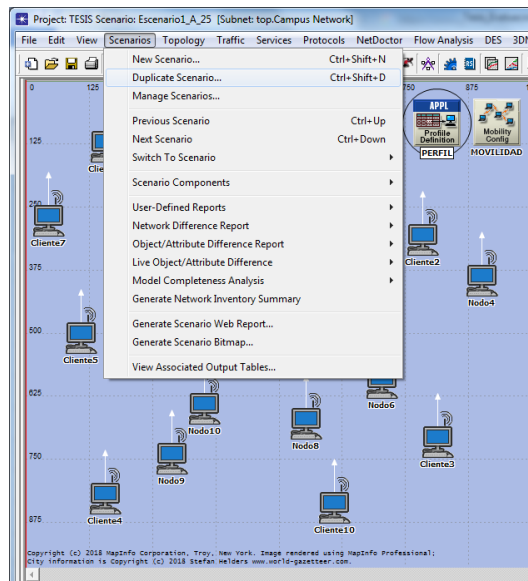
**Figura A-14:** Implementar la aplicación

Realizado por: Mónica Vimos, 2018

**Paso 11:** Luego de realizar todas las simulaciones se ejecuta la simulación para analizar los gráficos que muestra la plataforma.



**Paso 12:** Para copiar el mismo escenario, seleccionar en el menú principal Escenario y luego en la opción Duplicate Scenario como se muestra en la Figura A-15, a continuación se debe cambiar el nombre del escenario y el nuevo protocolo con el cual se vaya a simular.



**Figura A-15:** Duplicar Escenario

**Realizado por:** Mónica Vimos, 2018