



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

*“ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN REDES  
INALÁMBRICAS SIN INFRAESTRUCTURA DEL  
TIPO AD HOC”*

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA

**LIZETH GONZÁLEZ VALDÉS**

ASESOR DE TESIS

**DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS**



CIUDAD UNIVERSITARIA

2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*Esta tesis y todo lo que he logrado hasta ahora, se los dedico las personas más importantes en mi vida.*

### **A DIOS**

*Por su infinito amor, porque no me ha dado todo lo que yo deseo sino lo que necesito para luchar y poder salir adelante, sólo él sabe el porque de todas las cosas, no cabe duda que soy una mujer muy afortunada pues nada me ha sido fácil.*

### **A Mis padres**

*Apolo González Laguna y Teresa Valdés Ortega por todo el amor que me han dado desde antes que naciera, gracias por sus consejos, gracias por su comprensión y apoyo en todas mis decisiones, por que además de ser mis padres son mis mejores amigos en los que puedo confiar ciegamente, gracias por todo lo que me han dado y lo que me han enseñado. Aunque hemos pasado por momentos mucho muy difíciles que por cierto no le deseo a nadie, juntos hemos salido a delante porque ustedes nos enseñaron a mí y a mis hermanos a ser unidos, pero sobretodo gracias por permitirme crecer en una familia en donde hay mucho amor, valores, respeto y confianza. Mami de verdad admiro mucho tu fortaleza, eres una mujer admirable, eres capaz de quedarte sin nada por dárselo a las personas que quieres, de verdad no saben como doy Gracias a Dios por haberme dado unos padres como los que tengo porque son los papas más maravillosos del mundo, los amo.*

### **A mis hermanos**

*Apolo porque siempre me has apoyado en todo, por compartir nuestros secretos, porque a pesar de que eres más pequeño que yo, siempre me contagias de tu entusiasmo, de tu energía y de tus ganas de salir siempre a delante, eres increíble hermanito, te admiro y me siento muy orgullosa de ti, te quiero mucho. Arely eres muy importante para mí, gracias por tu apoyo incondicional, gracias por darnos un angelito que vino a darnos una de las dichas más grandes del mundo.*

### **A mi sobrinito**

*Carlitos Martínez González eres la alegría de nuestra familia, desde que llegaste trajiste mas amor y felicidad a nuestra casa, no te imaginas lo mucho que te queremos bebé.*

### **A Carlos Martínez**

*Sabes que te queremos mucho y que ya eres parte de nuestra familia, que mis papás te consideran como un hijo y Polo y yo como un hermano.*

### **A mis abuelitos**

*Gabino González Peña y José Isabel Valdés Osorno que aunque ya están en el cielo se que desde allá siempre han estado conmigo, estoy segura que desde donde están se sienten muy orgullosos de mí. Como me hubiera gustado tenerlos mas tiempo a mi lado. Abuelito Gabinito muchas veces me pregunté por qué Dios te había llevado si eras tan bueno y alguien me respondió que a Dios le hacían falta angelitos como tu en el cielo. Mis abuelitas Catalina Laguna Cruz y Ofelia Ortega Peña gracias Dios por dejarlas a ellas más tiempo conmigo, gracias por todos sus cuidados y por su cariño las quiero mucho.*

### **A mis tíos**

*Por su ayuda y consejos sabios, en especial a mi tío Santiago Roberto Jiménez Laguna y mi tía Irma Nieves Morales los quiero mucho de verdad no se imaginan cuanto, me gustaría pasar mas tiempo con ustedes pero las circunstancias a veces no lo permiten. A mi tíos Gonzalo Quiroz Laguna y Yolanda Cruz por su apoyo incondicional y desinteresado en los momentos difíciles en los que hemos estado.*

### **A M.I. Jesús Rodríguez Zamudio**

*Porque además de ser mi novio eres mi amigo, por tus consejos, comprensión y ayuda sin límites, por todas las cosas que me has enseñado, por todos los bellos momentos que tengo cuando estoy a tu lado, porque desde que te conocí, siempre me has demostrado que soy muy importante en tu vida, doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino.*

# AGRADECIMIENTOS

## ***A Dios***

*Por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.*

## ***A la Universidad Nacional Autónoma de México***

*Por permitirme ser parte del grupo selecto de la máxima casa de estudios de nuestro país y la número uno en toda Iberoamérica y por haberme abierto la puerta al conocimiento en todos los aspectos.*

## ***A la Facultad de Ingeniería***

*Por permitirme ser parte de ella y por darme experiencias inolvidables.*

## ***Al Dr. Javier Gómez Castellanos***

*Por dirigir este trabajo, por su tiempo y apoyo muchas gracias por todo.*

## ***Al Dr. Miguel Moctezuma Flores***

*Por todos sus consejos, por su tiempo en esas charlas tan amenas, por su apoyo incondicional, por confiar en mí, usted es una persona muy valiosa para mí.*

## ***A los Sinodales***

*Dr. Víctor García Garduño.*

*MI. Víctor Rangel Licea.*

## ***Al MI. Michael Pascoe Chalke***

*Por tu ayuda y consejos para la elaboración de esta Tesis, por tu tiempo y paciencia no tengo palabras para agradecerlo lo mucho que me ayudaste Michael.*

## ***A mi mamá***

*Teresa Valdés Ortega por el apoyo incondicional que me das, sin el cual hubiera sido muy difícil mi estancia en la Facultad. Siempre te preocupaste porque fuera desayunada a estudiar y en ponerme lunch sin importar que te tuvieras que levantarte a las 4 am igual que yo, siempre te acordabas de mí a la hora de comer y cuando regresaba de la Universidad siempre me esperabas con algo para cenar sin importarte que a veces llegara muy noche. Gracias por todo mami eres única.*

## ***A mi papá Apolo González Laguna***

*Papi gracias por tu apoyo, gracias por ser como eres, gracias por acompañarme en mis desveladas de fin de semestre, recuerdo muy bien como te quedabas a mi lado en esos momentos, esperando a que terminara mis tareas o proyectos, algunas veces te vencía el sueño y te quedabas dormido sobre la mesa y te ibas a dormir hasta que terminaba. Gracias por todo.*

## ***A mis hermanos Apolo y Arefy***

*Gracias por creer en mí y por impulsarme a seguir siempre adelante.*

## ***A todos los profesores de la facultad de Ingeniería***

*Por proporcionarme ese tesoro tan valioso que es el conocimiento.*

### ***A mis amigos***

*Freddy López Fonseca por enseñarme a luchar con todas mis fuerzas por lo que quiero, por tus consejos, por tu apoyo en los momentos difíciles, sabes que te considero como un hermano y que te aprecio mucho. A Santiago Ramírez Luna, Leopoldo González Aguilera, Eduardo Juárez Velásquez, Guillermo Carrizosa Bocanegra, C. Fernando Mendoza Pérez, Evaristo Vital García, Jorge V. Campos Rojas, Jonathan Martínez, Raúl Pulido Martínez, Víctor Hugo Gil Guzmán, Alejandra Sánchez Sánchez y todos los demás compañeros de la Facultad por darme la oportunidad de ser su amiga, por su ayuda y apoyo en los momentos difíciles, por sus consejos, por las experiencias maravillosas que vivimos, incluyendo las desveladas juntos. Gracias a ustedes se hicieron más agradables las horas de estudios para los exámenes y proyectos, cómo olvidar esos momentos, definitivamente dejaron una huella imborrable en mi corazón. Deseo de todo corazón que a todos ustedes tengan mucho éxito y que esta amistad que hemos tenido perdure muchos, muchos años mas.*

# ÍNDICE

<b>OBJETIVO</b> .....	i
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>Introducción</b> .....	1
1.1 ¿Para qué sirven las redes? .....	1
1.2 Ventajas de las redes .....	2
1.3 Un modelo para las comunicaciones .....	3
1.4 Redes de transmisión de datos .....	3
1.4.1 Redes de área amplia (WAN, <i>Wide Area Networks</i> ) .....	4
1.4.2 Redes de área local (LAN Local Area Networks) .....	4
1.4.3 Redes de área metropolitana (MAN Metropolitan Area Networks) .....	4
1.4.4 Redes inalámbricas .....	5
1.4.4.1 Componentes de una red inalámbrica .....	5
1.4.4.2 Arquitectura de una red WLAN ( <i>Wireless Local Area Networks</i> ) .....	7
1.4.4.3 Topología de redes LAN inalámbrica .....	8
1.4.5 Redes alámbricas Vs Redes inalámbricas .....	10
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Redes Inalámbricas del tipo Ad Hoc</b> .....	13
2.1 Definición de una red Ad Hoc .....	13
2.2 Principio básico del funcionamiento de redes Ad Hoc .....	14
2.3 Protocolos de enrutamiento en redes Ad Hoc .....	17
2.3.1 DSDV <i>Destination-Sequence Distance Vector</i> .....	17
2.3.2 TORA <i>Temporally Order Routing Algorithm</i> .....	18
2.3.3 DSR <i>Dynamic Source Routing Protocol</i> .....	19
2.3.4 AODV <i>Ad Hoc On-Demand Distance Vector</i> .....	20
2.4 Aplicaciones de las redes Ad Hoc .....	26
2.4.1 Redes de sensores .....	27
2.4.2 Redes mesh .....	28
2.5 Limitaciones en las redes Ad Hoc .....	28
2.6 Retos que se presentan en las redes Ad Hoc .....	29
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>Estudio de la duración de rutas en redes Ad Hoc y el simulador NS-2</b>	30
3.1 Network Simulator Versión 2 (NS-29) .....	31
3.2 Simulación de redes inalámbricas en NS-2 .....	32
3.2.1 Generación de archivos de escenarios .....	32

3.2.2	Generación de tráfico	34
3.2.3	Archivo de simulación .TCL ( <i>Tool Command Language</i> )	35
3.2.4	Archivo de simulación .OUT	38
3.2.5	El animador de red NAM ( <i>Network Animator</i> )	40

## **CAPÍTULO 4**

### **Análisis de movilidad en redes Ad Hoc** . . . . . 44

4.1	Primer caso: Análisis de selección de un nodo intermedio en un enlace fuente-destino en un escenario estático	45
4.2	Análisis del tiempo de permanencia del enlace	48
4.3	Segundo caso: Escenario con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio Dinámico	49
4.4	Tercer caso: Escenario dinámico con un nodo intermedio	56
4.5	Cuarto caso: Escenario dinámico con tres o cuatro nodos intermedios	62
4.6	Quinto caso: Escenario dinámico con cinco, seis, siete y ocho nodos intermedios	65

## **CAPÍTULO 5**

### **Análisis de resultados** . . . . . 70

5.1	Análisis de resultados	70
5.1.1	Primer caso	70
5.1.2	Segundo caso	70
5.1.3	Tercer caso	71
5.1.4	Cuarto caso	72
5.1.5	Quinto caso	73

## **CAPÍTULO 6**

### **Conclusiones** . . . . . 78

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.1</b>	Diagrama general de un sistema de comunicaciones . . . . .	3
<b>Figura 1.2</b>	El nodo A es una terminal oculta para C . . . . .	7
<b>Figura 1.3</b>	El nodo C está expuesto al nodo B . . . . .	7
<b>Figura 1.4</b>	Red de la modalidad de infraestructura . . . . .	8
<b>Figura 1.5</b>	Red Ad Hoc . . . . .	8
<b>Figura 2.1</b>	Red Ad Hoc donde los nodos se mueven en direcciones arbitrarias a diferentes velocidades . . . . .	13
<b>Figura 2.2</b>	Red Ad Hoc con intervención de nodos intermedios y sin nodos Intermedios . . . . .	14
<b>Figura 2.3</b>	Clasificación de los protocolos de enrutamiento en redes Ad Hoc . . . . .	17
<b>Figura 2.4</b>	Ejemplo de descubrimiento de ruta . . . . .	21
<b>Figura 3.1</b>	Comunicación en una red Ad Hoc . . . . .	30
<b>Figura 3.2</b>	Inundación o flooding en una red Ad Hoc . . . . .	38
<b>Figura 3.3</b>	Pantalla NAM con explicación de cada una de sus herramientas . . . . .	40
<b>Figura 3.4</b>	Escenario al inicio de la simulación . . . . .	41
<b>Figura 3.5</b>	Sending Route Request . . . . .	41
<b>Figura 3.6</b>	Sending Reply . . . . .	42
<b>Figura 3.7</b>	Recv Reply . . . . .	42
<b>Figura 3.8</b>	Transmisión de paquetes del nodo 0 al nodo 1 a través de un nodo Intermedio . . . . .	43
<b>Figura 3.9</b>	Link Failure . . . . .	43
<b>Figura 4.1</b>	Comunicación entre el nodo fuente y destino utilizando un nodo intermedio . . . . .	45
<b>Figura 4.2</b>	Comunicación entre el nodo fuente y destino utilizando un nodo intermedio utilizando el mejor nodo intermedio . . . . .	46
<b>Figura 4.3</b>	Traslape de los radios de transmisión del nodo fuente y destino con las acotaciones que se utilizaron . . . . .	47
<b>Figura 4.4</b>	Ubicación de los nodos intermedios utilizados en la comunicación del primer caso . . . . .	48
<b>Figura 4.5</b>	Escenario con nodo fuente y destino estático y un nodo intermedio dinámico.	49
<b>Figura 4.6</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 1-20 del segundo caso . . . . .	51
<b>Figura 4.7</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 21-40 del segundo caso . . . . .	52
<b>Figura 4.8</b>	Distribución de los primeros cuarenta nodos intermedios en el traslape de los radios de transmisión del segundo caso . . . . .	52
<b>Figura 4.9</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 41-60 del segundo caso . . . . .	53
<b>Figura 4.10</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 61-80 del segundo caso . . . . .	54
<b>Figura 4.11</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 81-100 del segundo caso . . . . .	55
<b>Figura 4.12</b>	Distribución de los sesenta nodos intermedios restantes en el traslape de los radios de transmisión del segundo caso . . . . .	56

---

<b>Figura 4.13</b>	Escenario dinámico con un nodo intermedio	56
<b>Figura 4.14</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 1-20 del tercer caso	57
<b>Figura 4.15</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 21-40 del tercer caso	58
<b>Figura 4.16</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los primeros cuarenta escenarios del tercer caso	58
<b>Figura 4.17</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 41-60 del tercer caso	59
<b>Figura 4.18</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 61-80 del tercer caso	60
<b>Figura 4.19</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 81-100 del tercer caso	61
<b>Figura 4.20</b>	Trayectorias de los nodos intermedios de los sesenta últimos escenarios del tercer caso	62
<b>Figura 4.21</b>	Enlace fuente-destino dinámico con la intervención de cuatro nodos intermedios	62
<b>Figura 4.22</b>	Enlace fuente-destino dinámico con la intervención de ocho nodos intermedios	65
<b>Figura 5.1</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 10[s]	74
<b>Figura 5.2</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 20[s]	75
<b>Figura 5.3</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 40[s]	75
<b>Figura 5.4</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 10[s]	76
<b>Figura 5.5</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 20[s]	76
<b>Figura 5.6</b>	Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 40[s]	77
<b>Figura 6.1</b>	Nodos Intermedios Vs Tiempo	78

---

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 2.1</b>	Ventajas y desventajas de los protocolos reactivos y preactivos	16
<b>Tabla 2.2</b>	Ejemplo de tabla de enrutamiento	20
<b>Tabla 2.3</b>	Formato del RREQ (Route Request) mensaje de petición	23
<b>Tabla 2.4</b>	Campos que conforman el RREQ	24
<b>Tabla 2.5</b>	Formato de RREP (Route Reply) mensaje de respuesta	24
<b>Tabla 2.6</b>	Campos que conforman el RREP	24
<b>Tabla 2.7</b>	Formato de RERR (Route Error)	25
<b>Tabla 2.8</b>	Campos que conforman el RRER	25
<b>Tabla 2.9</b>	Comparación entre AODV y DSR	26
<b>Tabla 4.1</b>	Escenarios del 1-20 del segundo caso	50
<b>Tabla 4.2</b>	Escenarios del 21-40 del segundo caso	51
<b>Tabla 4.3</b>	Escenarios del 41-60 del segundo caso	53
<b>Tabla 4.4</b>	Escenarios del 61-80 del segundo caso	54
<b>Tabla 4.5</b>	Escenarios del 81-100 del segundo caso	55
<b>Tabla 4.6</b>	Escenarios del 1-20 del tercer caso	57
<b>Tabla 4.7</b>	Escenarios del 21-40 del tercer caso	57
<b>Tabla 4.8</b>	Escenarios del 41-60 del tercer caso	59
<b>Tabla 4.9</b>	Escenarios del 61-80 del tercer caso	60
<b>Tabla 4.10</b>	Escenarios del 81-100 del tercer caso	61
<b>Tabla 4.11</b>	Escenarios del 1-20 con tres nodos intermedios del cuarto caso	63
<b>Tabla 4.12</b>	Escenarios del 1-20 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso	63
<b>Tabla 4.13</b>	Escenarios del 21-40 con tres nodos intermedios del cuarto caso	64
<b>Tabla 4.14</b>	Escenarios del 21-40 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso	64
<b>Tabla 4.15</b>	Escenarios del 41-60 con tres nodos intermedios del cuarto caso	64
<b>Tabla 4.16</b>	Escenarios del 41-60 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso	65
<b>Tabla 4.17</b>	Escenarios del 1-20 con cinco nodos intermedios del quinto caso	66
<b>Tabla 4.18</b>	Escenarios del 1-20 con seis nodos intermedios del quinto caso	66
<b>Tabla 4.19</b>	Escenarios del 1-20 con siete nodos intermedios del quinto caso	66
<b>Tabla 4.20</b>	Escenarios del 21-40 con cinco nodos intermedios del quinto caso	67
<b>Tabla 4.21</b>	Escenarios del 21-40 con seis nodos intermedios del quinto caso	67
<b>Tabla 4.22</b>	Escenarios del 21-40 con siete nodos intermedios del quinto caso	67
<b>Tabla 4.23</b>	Escenarios del 21-40 con ocho nodos intermedios del quinto caso	68
<b>Tabla 4.24</b>	Escenarios del 41-60 con cinco nodos intermedios del quinto caso	68
<b>Tabla 4.25</b>	Escenarios del 41-60 con seis nodos intermedios del quinto caso	68
<b>Tabla 4.26</b>	Escenarios del 41-60 con siete nodos intermedios del quinto caso	69
<b>Tabla 4.27</b>	Escenarios del 41-60 con ocho nodos intermedios del quinto caso	69
<b>Tabla 5.1</b>	Resultados finales de los nodos del 1- 40 del segundo caso	71
<b>Tabla 5.2</b>	Resultados finales de los nodos del 41- 100 del segundo caso	71
<b>Tabla 5.3</b>	Resultados finales de los nodos del 1- 40 del tercer caso	71
<b>Tabla 5.4</b>	Resultados finales de los nodos del 41- 100 del tercer caso	72
<b>Tabla 5.5</b>	Resultados finales del cuarto caso	73
<b>Tabla 5.6</b>	Resultados finales del quinto caso	74

## OBJETIVO

Realizar un estudio de movilidad en una red inalámbrica Ad Hoc que permita:

- Estimar el tiempo promedio de conectividad en la red.
- Estudiar el comportamiento de la red.
- Analizar la conducta de los nodos que intervienen en el enlace fuente destino.
- Realizar un análisis estadístico de los diferentes tiempos de permanencia de enlace en los que opera la red.

Las redes de comunicaciones inalámbricas han tenido y seguirán teniendo grandes avances debido a que cada vez son de vital importancia para la humanidad, es por eso que he decidido que esta tesis esté enfocada a las redes de comunicaciones, específicamente a las redes inalámbricas sin infraestructura Ad Hoc porque este tipo de redes ofrecen muchas ventajas, una de ellas es que permite la comunicación y movilidad en cualquier lugar.

Todas las redes inalámbricas con infraestructura necesitan de un AP (*Access Point*) para poder establecer una comunicación, sin embargo las redes Ad Hoc no requieren ningún tipo de infraestructura, son los mismos nodos que conforman la red los que ayudan a establecer y mantener la comunicación con ayuda de los radios de transmisión y recepción que cada nodo tiene, es decir no existe un poder centralizado, por lo que permiten la comunicación y movilidad sin necesidad de cables en lugares de difícil acceso incluso donde suceden catástrofes atmosféricas.

Pero como todo, el tener este tipo de ventajas sobre las redes con infraestructura tiene un precio y en este caso el precio es que para algunos casos el tiempo de permanencia de enlace que ofrecen las redes Ad Hoc es limitado porque una vez que se establece la comunicación en la red es necesario que los nodos que intervienen en la comunicación no se salgan de los radios de transmisión y recepción de los nodos que están recibiendo y transmitiendo información, porque si alguno de ellos se sale de los radios de transmisión y/o recepción, la comunicación se interrumpe inmediatamente. El que uno o varios nodos se salgan del enlace de comunicación depende muchas veces de la velocidad y dirección a la que se mueven cada uno de ellos, por otra parte, también es importante tomar en cuenta el número de nodos intermedios que intervienen en el enlace fuente-destino, ya que si existe un enlace fuente-destino donde existen pocos nodos, es más probable que el enlace dure más que un enlace en el que participan varios nodos.

Como no se sabe con exactitud el tiempo que dura el enlace bajo diferentes condiciones, en esta tesis se ha decidido analizar varios escenarios para tener una mejor aproximación del tiempo de permanencia de enlace que tienen las redes Ad Hoc en la práctica. Para lograr tener

estas aproximaciones fue necesario realizar una serie de experimentos para cada caso con ayuda del simulador de redes NS-29 (*Network Simulator*).

Esta tesis está conformada de seis capítulos en los que trataremos los siguientes puntos:

### **Capítulo 1 Introducción:**

En este capítulo se proporcionará un panorama general de las redes, qué son y para qué sirven, sus clasificaciones, aplicaciones, ventajas y desventajas.

### **Capítulo 2 Redes Inalámbricas Ad Hoc:**

Debido a que esta tesis esta enfocada a las redes inalámbricas sin infraestructura Ad Hoc decidí utilizar este capítulo para proporcionar todo lo referente a este tipo de redes desde su definición, principio básico de funcionamiento, aplicaciones, limitaciones y retos que se presentan en este tipo de redes.

### **Capítulo 3 Estudio de la duración de rutas en redes Ad Hoc y el simulador NS-2:**

En este capítulo se mostrará cómo se calcula para cada caso el tiempo de permanencia del enlace y todo el procedimiento que se utilizó para generar los archivos de simulación que permitieron realizar el análisis de cada escenario.

### **Capítulo 4 Análisis de movilidad en redes Ad Hoc:**

Se analizaron cinco casos diferentes con 100 simulaciones cada uno excepto los últimos dos casos que sólo tuvieron 60 para tener una mejor aproximación del tiempo de permanencia del enlace bajo diferentes condiciones, todos los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones se muestran en este capítulo.

### **Capítulo 5 Análisis de resultados:**

En este capítulo se muestra una recopilación de todos los datos obtenidos en el capítulo 4, con gráficas que ayudan a analizar mejor el comportamiento de la red.

### **Capítulo 6 Conclusiones**

Finalmente como su nombre lo indica, en este capítulo se muestran las conclusiones a las que llegue después de realizar el análisis de los diferentes escenarios.

# CAPÍTULO 1

## Introducción

Desde que existe el hombre, por naturaleza y necesidad siempre ha buscado la forma de comunicarse. En la actualidad todos nosotros incluyendo amas de casa, profesionistas, obreros, adolescentes, niños, adultos, etc., sin importar raza o clase social tenemos la necesidad de estar comunicados a cualquier hora del día, los 365 días del año y en cualquier lugar del planeta e incluso fuera de él.

Es por eso que los sistemas y medios de comunicación han ido evolucionando rápidamente, desde sonidos con tambores y señales de humo, hasta telefonía inalámbrica y VoIP (voz sobre IP).

En el futuro no hay lugar para los cables, cada vez más aumenta el número de dispositivos inalámbricos y se van disminuyendo poco a poco aquellos que disponen de cables. El progreso es implacable y preferimos un teléfono inalámbrico a uno convencional o mejor aún, preferimos un teléfono móvil. Las redes de computadoras no pueden ser la excepción.

### 1.1 ¿Para qué sirven las redes?

Durante la última década, las computadoras y las redes informáticas han producido en nuestra sociedad un gran impacto. Se dice que hemos entrado en la *"Era de la información"*. Lo cierto es que estas herramientas revolucionarias han multiplicado la productividad y eficacia del trabajo, tanto para las empresas como para los usuarios individuales. Día a día, infinidad de usuarios acuden a las redes informáticas para atender sus necesidades privadas o comerciales y esta tendencia se acentúa a medida que las empresas y los usuarios van descubriendo la potencia de estos medios. Hoy por hoy, las computadoras registran las transacciones que tienen lugar cada día en un gran almacén, se ocupan de las operaciones bancarias, gestionan las reservas en los hoteles y existen muchas otras actividades económicas que dependen por completo de las redes de comunicación.

Pero, ¿qué es una red de ordenadores? Son varias las definiciones aceptadas por la industria; la más sencilla de todas es, probablemente, la siguiente: un grupo de ordenadores (y terminales en general) interconectadas a través de uno o varios caminos o medios de transmisión.

Las redes tienen una finalidad concreta: transferir e intercambiar datos entre ordenadores y terminales. Es el intercambio de datos lo que permite funcionar a los múltiples servicios de telecomunicaciones que ya consideramos como parte de nuestras vidas.

## 1.2 Ventajas de las redes

Las redes de ordenadores presentan varias ventajas importantes para empresas, usuarios y particulares como:

- 1) Las organizaciones modernas suelen estar bastante dispersas y a veces incluyen empresas distribuidas en varios puntos de un país o extendidas por todo el mundo. Muchos de los ordenadores y terminales situados en los distintos lugares necesitan intercambiar datos e información y con frecuencia ese intercambio ha de ser diario. Mediante una red puede conseguirse que todos esos ordenadores se intercambien y que los programas y datos necesarios estén al alcance de todos los miembros de la organización.
- 2) La interconexión de ordenadores permite que varias máquinas compartan los mismos recursos. Así, por ejemplo, si un ordenador se satura por estar sometido a una carga de trabajo excesiva, podemos utilizar la red para que otro ordenador se ocupe de ese trabajo, consiguiendo así un mejor aprovechamiento de los recursos.
- 3) Las redes pueden resolver también un problema de especial importancia: la tolerancia ante fallos. En caso de que un ordenador falle, otro puede asumir sus funciones y su carga de trabajo, algo de particular importancia en los sistemas de control de tráfico aéreo. Si un ordenador falla, los ordenadores de reserva entrarán en funcionamiento rápidamente y tomarán el mando de todas las operaciones de control, sin que en ningún momento llegue a existir peligro para los pasajeros.
- 4) El empleo de las redes confiere una gran flexibilidad a los entornos laborales. Los empleados pueden trabajar desde sus casas, utilizando terminales conectados con el ordenador de la oficina. Hoy día es frecuente ver personas que viajan con su ordenador portátil y lo conectan a la red de su empresa para transmitir y recibir información decisiva, como informes de ventas o datos administrativos entre otros.

El nombre de “Era de la Información” es bastante adecuado. La sociedad de nuestros días emplea la información para mejorar nuestra calidad de vida. Gracias a los sistemas de comunicaciones y a las redes de ordenadores, hoy es posible el intercambio rápido de información.

### 1.3 Un modelo para las comunicaciones

Antes de continuar, conviene considerar un modelo sencillo de sistema de comunicación como el que se muestra en la figura 1.1 en la que se propone un diagrama de bloques.



Figura 1.1 Diagrama general de un sistema de comunicaciones.

- **Fuente.** Este dispositivo genera los datos a transmitir. Ejemplos de fuentes puede ser un teléfono o una computadora personal.
- **Transmisor.** Normalmente los datos generados por la fuente no se transmiten directamente tal y como son generados. El transmisor transforma y codifica la información, generando señales electromagnéticas susceptibles de ser transmitidas a través de algún sistema de transmisión. Por ejemplo un modem convierte la cadena de bits generada por una computadora personal y la transforma en señales analógicas que pueden ser transmitidas a través de la red de telefonía.
- **Sistema de transmisión.** Puede ser desde una sencilla línea de transmisión hasta una compleja red que conecte a la fuente con el destino.
- **Receptor.** El receptor acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo de destino. Por ejemplo, un modem captara la señal analógica de la red o línea de transmisión y la convertirá en una cadena de bits.
- **Destino.** Toma los datos del receptor.

### 1.4 Redes de transmisión de datos.

Para clasificar las redes tradicionalmente se consideran dos grandes categorías: las redes de área amplia (WAN, *Wide Area Networks*) y las redes de área local (LAN, *Local Area Networks*). Las diferencias entre estas dos categorías son cada vez más difusas, tanto en términos tecnológicos como en posibles aplicaciones.

### **1.4.1 Redes de área amplia (WAN, *Wide Area Networks*)**

Generalmente, se considera como redes de área amplia a todas aquellas que cubren una extensa área geográfica, requieren atravesar rutas de acceso público y utilizan, al menos parcialmente, circuitos proporcionados por una entidad proveedora de servicios de telecomunicaciones. Generalmente, una WAN consiste en una serie de dispositivos de comunicación interconectados. La transmisión generada por cualquier dispositivo se encaminará a través de estos nodos intermedios hasta alcanzar el destino. A estos nodos (incluyendo los situados en los contornos) no les concierne el contenido de los datos, al contrario, su función es proporcionar el servicio de conmutación necesario para transmitir los datos de nodo en nodo hasta alcanzar a su destino final.

### **1.4.2 Redes de área local (LAN Local Area Networks)**

Al igual que las redes WAN, una LAN es una red de comunicaciones que interconecta varios dispositivos y proporciona un medio para el intercambio de información entre ellos. No obstante, hay algunas diferencias entre las LAN y las WAN que se enumeran a continuación:

- 1) La cobertura de una LAN es pequeña, generalmente un edificio o, a lo máximo un conjunto de edificios próximos.
- 2) Es habitual que la LAN sea propiedad de la misma entidad propietaria de los dispositivos conectados a la red. En WAN esto no es habitual o al menos una fracción significativa de recursos de la red son ajenos. Esto tiene dos implicaciones. La primera es que se debe cuidar mucho la elección de la LAN, ya que evidentemente lleva acarreado una inversión sustancial de capital (comparada con los gastos de conexión o alquiler de líneas en redes de área amplia) tanto en la adquisición como en el mantenimiento. Segunda, la responsabilidad de la gestión de la red local recae solamente en el usuario.
- 3) Por lo general, las velocidades de transmisión internas en una LAN son mucho mayores que en una WAN

### **1.4.3 Redes de área metropolitana (MAN Metropolitan Area Networks)**

Como el propio nombre los sugiere, las MAN (*Metropolitan Area Networks*) están entre las LAN y las WAN. El interés de las MAN surgió tras ponerse de manifiesto que las técnicas tradicionales de conmutación y conexión punto a punto usadas en WAN, pueden ser no adecuadas para las necesidades crecientes de ciertas organizaciones. Mientras que la retransmisión de tramas y ATM prometen satisfacer un amplio espectro de necesidades en cuando a velocidad de transmisión, hay situaciones, tanto de redes privadas como públicas, que demandan gran capacidad a coste reducido en áreas relativamente grandes. Para tal fin se han implementado una serie de soluciones, como por ejemplo las redes inalámbricas o las extensiones metropolitanas de Ethernet.

El principal mercado para las MAN lo constituyen aquellos clientes que necesitan alta capacidad en un área metropolitana. Las MAN están concebidas para satisfacer estas necesidades de capacidad a un coste reducido y con una eficacia mayor que la que se obtendría mediante una compañía local de telefonía para un servicio equivalente.

### **1.4.4 Redes inalámbricas**

Las redes LAN inalámbricas de alta velocidad ofrecen las ventajas de la conectividad de red sin las limitaciones que supone estar atado a una ubicación o por cables. Existen numerosos escenarios en los que este hecho puede ser de interés; entre ellos, se pueden citar los siguientes:

Las conexiones inalámbricas pueden ampliar o sustituir una infraestructura con cables cuando es costoso o está prohibido tender cables. Las instalaciones temporales son un ejemplo de una situación en la que la red inalámbrica tiene sentido o incluso es necesaria. Algunos tipos de construcciones o algunas normativas de construcción pueden prohibir el uso de cableado, lo que convierte a las redes inalámbricas en una importante alternativa.

Como ya se ha mencionado, las LAN inalámbricas son bastante habituales, fundamentalmente en entornos de oficinas. La tecnología inalámbrica es también utilizada en redes de área amplia de voz y datos. Las redes inalámbricas proporcionan ventajas evidentes en términos de movilidad y facilidad de instalación y configuración.

#### **1.4.4.1 Componentes de una red inalámbrica**

Los diferentes tipos de equipos utilizados para la construcción de una red inalámbrica y que son utilizados en estaciones para una apropiada interconexión y comunicación entre los equipos son:

##### **Terminales-Clientes**

Las terminales clientes necesitan adaptadores específicos, como PC-cards, USB, entre otros. En algunos casos el adaptador y el equipo forman un conjunto indisoluble orientado a cumplir una función muy específica (adaptadores multimedia, servidores de impresión, etc.).

##### **Equipos dedicados**

Nuevos equipos en el sector hogar han ido apareciendo como: adaptadores para consolas de juegos, equipos de sonido, televisiones y pantallas, cámaras fotográficas, cámaras de vigilancia, adaptadores para la interconexión a cualquier elemento multimedia, etc. Con interfaces Wi-Fi. Para la oficina ya se dispone, además de los anteriores, de adaptadores para impresoras remotas, sistemas de proyección de PC, PDA y terminales para uso de logística, etc. Pero quizás la clave esté destinada a otro uso: telefonía y transmisión de VoIP (voz sobre IP) en redes inalámbricas.

## Puntos de Acceso (Access Point o AP)

Es un nodo especial que actúa como punto centralizador y gestor del tráfico del resto de equipos (terminales de cliente) suscritos a él y dentro de la celda de cobertura. Dispone comúnmente de una interfaz Ethernet que le permite estar interconectado a una red cableada (LAN), además de la interfaz inalámbrica por la cual se conectan los equipos de dicha naturaleza. Permite la comunicación entre ambas interfaces y entre los propios equipos inalámbricos a nivel de capa 2 (modelo OSI). En general en un mismo lugar pueden coexistir más de un punto de acceso siempre que no interfieran fuertemente sus frecuencias de funcionamiento. Los equipos presentes estarán suscritos sólo a uno.

Los puntos de acceso tienen a parte de su función fundamental, otras funciones como son:

- Puentes (*Bridges*). Son elementos que interconectan dos o más redes locales a nivel de capa 2 (modelo OSI). Poseen dos interfaces, una Ethernet y otra inalámbrica.
- Repetidores. Extienden la cobertura de los Puntos de Acceso mediante la regeneración y re-envío de información a zonas anteriormente sin suficiente señal. Su desventaja: dado que toda la información que un equipo le transmite la tiene que remitir al Punto de Acceso, la eficiencia de la solución es inferior al 50%. También es factible encadenar numerosos repetidores para ampliar todavía más el alcance, pero numerosos problemas que aparecen por colisiones, retardos de señal y penalización en el uso del espectro, no aconsejan emplear más de uno.
- Enrutadores y Puertas de Enlace (Routers y Gateways). Poseen capacidad de enrutamiento a nivel de capa 3 y 4 (modelo OSI) de los paquetes de información que los atraviesa. Una de sus interfaces es inalámbrica, existiendo al menos otra fija Ethernet a la cual se le suele denominar puerto WAN. La mayoría de modelos existentes en el mercado no posee funcionalidades puras de enrutador, porque están especialmente diseñados para actuar como pasarela entre la red inalámbrica directamente gestionada por el equipo (genéricamente llamadas LAN) y las redes externas (red local de empresas, red de acceso a Internet u otras). Por ello con frecuencia se les denomina puertas de enlace (gateway).

## Antenas

Los equipos anteriores poseen habitualmente uno o dos conectores mediante los cuales se pueden acoplar antenas externas para la emisión de la señal inalámbrica. También se encuentran otros modelos con antenas internas o no reemplazables, lo que limita su uso en muchas instalaciones. Atendiendo a la ubicación, las antenas pueden ser interiores o de exteriores. Las primeras suelen ser de volumen pequeño, con estética y no suelen ser de gran potencia. En las segundas por su robustez frente al medio. Por la forma de su patrón de emisión, hay omnidireccionales (cobertura circular), direccionales o sectoriales (cubren un determinado ángulo) y muy directivas (ángulos por debajo de los 12 grados). Además de todo lo anterior, hay que tener en cuenta la ganancia que presenta cada modelo de antena para realizar correctamente un diseño, encontrando modelos comerciales desde 2 a 24 decibelios [dB]. Otras clasificaciones atienden a la tecnología de diseño (parabólicas, Yagi, helicoidales, de panel, entre otras) y a la polarización de la señal (lineal -horizontal o vertical- y circular -izquierda o derecha-).

### 1.4.4.2 Arquitectura de una red WLAN (Wireless Local Area Networks)

El BSS (*Basic Service Set Conjunto de Servicio Básico*) es el elemento fundamental en la arquitectura de este tipo de redes. Un BSS se define como un grupo de estaciones que se encuentran bajo el control directo de una función de coordinación sencilla (DFC o PFC). El área de cobertura cubierta por la BSS es conocida como BSA (*Basic Service Area*), la cual es análoga a una célula en una red celular. Por concepto, todas las estaciones en una BSS pueden comunicarse directamente con todas las estaciones dentro de la BSS. Todas las degradaciones del medio de transmisión provocadas por multi-trayectorias o la interferencia provocada por BSS cercanas que utilizan las mismas características de la capa física (frecuencia, patrón de saltos) pueden causar que algunas estaciones sean ocultas a otras estaciones. Por lo tanto una BSS es una entidad independiente que puede tener su vinculación con otros BSS a través del punto de acceso mediante un sistema de distribución DS (*Distribution System*). El DS puede ser: integrado (comunica al BSS con una red externa), cableado (con otro BSS a través de un tendido de cable por ejemplo una red Ethernet) o también inalámbrico en cuyo caso se denomina WDS (*Wireless Distribution System*).

El ESS (*Extended Service Set*), es representado por un conjunto de BSS asociados mediante un sistema de distribución. Esto permite una serie de prestaciones avanzadas opcionales como el roaming entre celdas

**Problema de terminales ocultas:** Como se muestra en la figura 1.2, debido a la distancia entre terminales y el alcance del radio de cada una, A puede enviar paquetes hacia B pero C no puede recibir de A, ocasionado por la atenuación que sufre la señal (puesto que la potencia decae proporcional a la distancia elevada a la  $n$ , para  $n > 2$ ). Por tanto, C podría transmitir hacia B, sin detectar una posible transmisión simultánea de A hacia B, ocasionando una colisión.

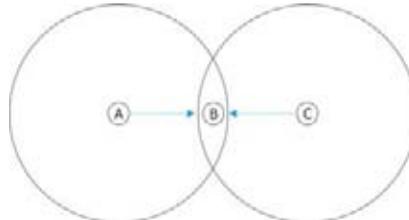


Figura 1.2 El nodo A es una Terminal oculta para C.

**Problema de terminal expuesta:** Para el caso que se muestra en la figura 1.3, la terminal B está transmitiendo a la terminal A y por su parte C transmite a D. Al dar lugar las transmisiones simultáneamente, C puede detectar que el canal está ocupado y por tanto debe esperar a su liberación. Sin embargo, A está fuera del alcance de C por lo que es innecesaria la espera, ocasionando una detección incorrecta del canal.

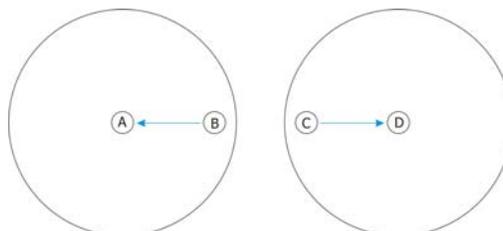


Figura 1.3 El nodo C está expuesto al nodo B.

### 1.4.4.3 Topologías de redes LAN inalámbricas

Las redes LAN inalámbricas se construyen utilizando dos topologías básicas. Para estas topologías se utilizan distintos términos, como administradas y no administradas, alojadas y par a par, e infraestructura y "Ad Hoc". En esta tesis se utilizarán los términos "infraestructura" y "Ad Hoc". Estos términos están relacionados esencialmente con las mismas distinciones básicas de topología.

Una topología de infraestructura es aquella que extiende una red LAN con cable existente para incorporar dispositivos inalámbricos mediante una estación base, denominada punto de acceso. El punto de acceso une la red LAN inalámbrica y la red LAN con cable y sirve de controlador central de la red LAN inalámbrica. Recordando que el punto de acceso coordina la transmisión y recepción de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de una extensión específica; la extensión y el número de dispositivos dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice y del producto.

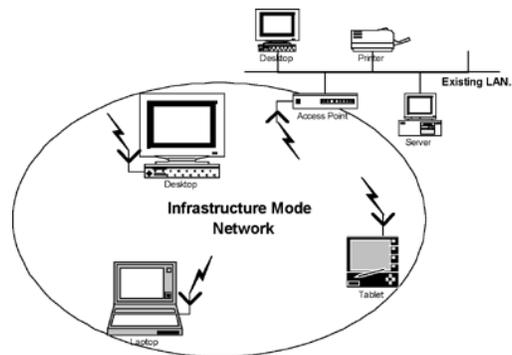


Figura 1.4 Red de la modalidad de infraestructura.

En una topología Ad Hoc, los propios dispositivos inalámbricos crean la red LAN y no existe ningún controlador central ni puntos de acceso. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos de la red, en lugar de pasar por un controlador central. Esta topología es práctica en lugares en los que pueden reunirse pequeños grupos de equipos que no necesitan acceso a otra red. Ejemplos de entornos en los que podrían utilizarse redes inalámbricas Ad Hoc serían un domicilio sin red con cable o una sala de conferencias, donde los equipos se reúnen con regularidad para intercambiar ideas.

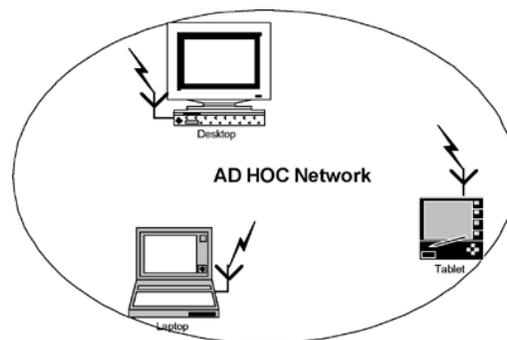


Figura 1.5. Red Ad Hoc.

Por ejemplo, cuando se combinan con la nueva generación de software y soluciones par a par inteligentes actuales, estas redes inalámbricas Ad Hoc pueden permitir a los usuarios móviles colaborar, participar en juegos de equipo, transferir archivos o comunicarse de algún otro modo mediante sus PC's o dispositivos inteligentes sin cables.

## **Descripción general del funcionamiento de la modalidad de infraestructura**

El portátil o dispositivo inteligente, denominado "estación" en el ámbito de las redes LAN inalámbricas, primero debe identificar los puntos de acceso y las redes disponibles. Este proceso se lleva a cabo mediante el control de las tramas de señalización procedentes de los puntos de acceso que se anuncian a sí mismos o mediante el sondeo activo de una red específica con tramas de sondeo.

La estación elige una red entre las que están disponibles e inicia un proceso de autenticación con el punto de acceso. Una vez que el punto de acceso y la estación se han verificado mutuamente, comienza el proceso de asociación.

La asociación permite que el punto de acceso y la estación intercambien información y datos de capacidad. El punto de acceso puede utilizar esta información y compartirla con otros puntos de acceso de la red para diseminar la información de la ubicación actual de la estación en la red. La estación sólo puede transmitir o recibir tramas en la red después de que haya finalizado la asociación.

En la modalidad de infraestructura, todo el tráfico de red procedente de las estaciones inalámbricas, pasa por un punto de acceso para poder llegar a su destino en la red LAN con cable o inalámbrica.

El acceso a la red se administra mediante un protocolo que detecta las portadoras y evita las colisiones. Las estaciones se mantienen a la escucha de las transmisiones de datos durante un período de tiempo especificado antes de intentar transmitir (ésta es la parte del protocolo que detecta las portadoras). Antes de transmitir, la estación debe esperar durante un período de tiempo específico después de que la red está despejada. Esta demora, junto con la transmisión por parte de la estación receptora de una confirmación de recepción correcta, representan la parte del protocolo que evita las colisiones. Observe que, en la modalidad de infraestructura, el emisor o el receptor es siempre el punto de acceso.

Dado que es posible que algunas estaciones no se escuchen mutuamente, aunque ambas estén dentro del alcance del punto de acceso, se toman medidas especiales para evitar las colisiones. Entre ellas, se incluye una clase de intercambio de reserva que puede tener lugar antes de transmitir un paquete mediante un intercambio de tramas "petición para emitir" y "listo para emitir", y un vector de asignación de red que se mantiene en cada estación de la red. Incluso aunque una estación no pueda oír la transmisión de la otra estación, oirá la transmisión de "listo para emitir" desde el punto de acceso y puede evitar transmitir durante ese intervalo.

El proceso de movilidad de un punto de acceso a otro no está completamente definido en el estándar. Sin embargo, la señalización y el sondeo que se utilizan para buscar puntos de acceso y un proceso de reasociación que permite a la estación asociarse a un punto de acceso

diferente, junto con protocolos específicos de otros fabricantes entre puntos de acceso, proporcionan una transición fluida.

La sincronización entre las estaciones de la red se controla mediante las tramas de señalización periódicas enviadas por el punto de acceso. Estas tramas contienen el valor de reloj del punto de acceso en el momento de la transmisión, por lo que sirve para comprobar la evolución en la estación receptora. La sincronización es necesaria por varias razones relacionadas con los protocolos y esquemas de modulación de las conexiones inalámbricas.

### **Descripción general del funcionamiento de la modalidad Ad Hoc**

Después de explicar el funcionamiento básico de la modalidad de infraestructura del modo Ad Hoc, se puede decir que no tiene punto de acceso. En esta red sólo hay dispositivos inalámbricos presentes. Muchas de las operaciones que controlaba el punto de acceso, como la señalización y la sincronización, son controladas por una estación. La red Ad Hoc no disfruta todavía de algunos avances como retransmitir tramas entre dos estaciones que no se oyen mutuamente.

Cuando un medio de red diferente se introduce en un nuevo entorno siempre surgen diferentes retos. Esto es cierto también en el caso de las redes LAN inalámbricas. Algunos retos surgen de las diferencias entre las redes LAN con cable y las redes LAN inalámbricas. Por ejemplo, existe una medida de seguridad inherente en las redes con cable, ya que la red de cables contiene los datos. Las redes inalámbricas presentan nuevos desafíos, debido a que los datos viajan por el aire, por ondas de radio.

Otros retos se deben a las posibilidades únicas de las redes inalámbricas. Con la libertad de movimiento que se obtiene al eliminar las ataduras (cables), los usuarios pueden desplazarse de sala en sala, de edificio en edificio, de ciudad en ciudad, etc., con las expectativas de una conectividad ininterrumpida en todo momento.

Las redes siempre han tenido retos, pero éstos aumentan cuando se agrega complejidad, tal como sucede con las redes inalámbricas. Por ejemplo, a medida que la configuración de red continúa simplificándose, las redes inalámbricas incorporan características (en ocasiones para resolver otros retos) y métricas que se agrega a los parámetros de configuración.

En el capítulo 2 se proporcionará información más específica sobre este tipo de redes sin infraestructura Ad Hoc.

### **1.4.5 Redes alámbricas Vs Redes inalámbricas**

En algunos casos, un sistema inalámbrico es la única opción, principalmente en las áreas más remotas. Cuando las condiciones de poner una red alámbrica son las mismas de una red inalámbrica, los motivos potenciales para optar por los sistemas inalámbricos son: mayor flexibilidad, menor costo, despliegue más rápido y fiabilidad entre otros.

## Ventajas de las redes inalámbricas

Las principales ventajas que presentan las redes de este tipo son:

- Su libertad de movimientos, sencillez en la reubicación de terminales y la rapidez consecuente de instalación. La solución inalámbrica resuelve la instalación de una red en aquellos lugares donde el cableado resulta inviable, por ejemplo en edificios históricos o en grandes naves industriales, donde la realización de canaletas para cableado podría dificultar el paso de transportes, así como en situaciones que impliquen una gran movilidad de los terminales del usuario o la necesidad de disponer de vías alternativas por motivos de seguridad.
- Los sistemas inalámbricos de banda ancha se están desplegando en el mercado con la idea de satisfacer una serie de funciones, por ejemplo dar acceso a redes, pero sin duda su principal ventaja frente a las redes alámbricas es la posibilidad de proveer este acceso desde cualquier punto.
- La velocidad de despliegue en red es mucho más rápida con los sistemas inalámbricos, permitiendo una entrada fulminante en el mercado.
- Los costos de entrada, despliegue y mejora del servicio son menores que las alternativas de las redes cableadas, debido a que la ingeniería de cableado es mucho más cara.
- La manutención es también menor en los sistemas inalámbricos.
- Tienen Arquitectura escalable, permitiendo la expansión de la cobertura y los servicios en relación directa con el nivel de demanda.
- Únicamente se requiere una arquitectura de redes para proveer voz, video y datos, y puede ser expandida cuando se desee.

## Limitantes de las redes inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas de banda ancha ofrecen una gran flexibilidad y un desempeño mejorado, pero tienen algunas limitaciones:

- Utilizan el espectro radioeléctrico, que es un recurso finito.
- Limita el número de usuarios y la cantidad del espectro disponible para cualquier usuario en cualquier momento.
- La cantidad del espectro disponible se compara casi directamente con el ancho de banda de los datos, con 1 Hz del espectro típicamente se tiene entre 1 y 4 bps del rendimiento en función de varios factores, entre los que se encuentran el tipo de modulación utilizada y el medio ambiente.

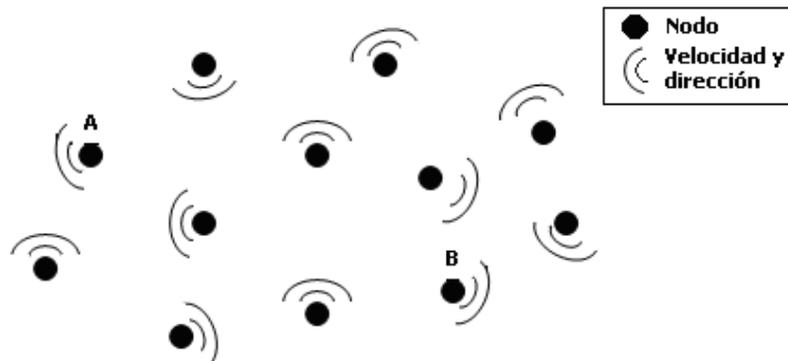
- La cantidad de espectro realmente disponible varía de radio de banda a radio de banda, pero basta con decir que la fibra óptica ofrece una capacidad total mucho mayor. A pesar de esta limitante en la capacidad, los sistemas inalámbricos ofrecen un ancho de banda suficiente para muchas aplicaciones.
- Otra limitación es que los sistemas inalámbricos de banda ancha funcionan en frecuencias que casi siempre requieren de línea de vista y esto es restrictivo para distancias que varían de unos cuantos kilómetros a decenas de kilómetros.
- Existen muy pocos estándares para los sistemas inalámbricos de banda ancha, por lo que se debe comprar el equipo del mismo vendedor para ambos lados de la conexión con la finalidad de asegurar interoperabilidad.
- Hay dudas que algunos sistemas pueden llegar afectar la salud de los usuarios.

# CAPÍTULO 2

## Redes Inalámbricas del tipo Ad Hoc

### 2.1 Definición de red Ad Hoc

Una red inalámbrica Ad Hoc, también conocida como MANET (Movil Ad Hoc Network), es un sistema autónomo constituido por nodos que pueden moverse arbitrariamente y que se encuentran interconectados por medio de enlaces inalámbricos empleando señales de radio frecuencia. También suelen llamarse IBSS (Independent Basic Service Set) debido a que este tipo de redes no cuentan con infraestructura, es decir, no poseen estaciones base (AP Access Point) ni administradores. En la figura 2.1 se puede apreciar un ejemplo de red Ad Hoc.



*Figura 2.1 Red Ad Hoc donde los nodos se mueven en direcciones arbitrarias a diferentes velocidades. Donde A es el nodo que transmite y B el nodo que recibe.*

Debido a que los nodos de la red se mueven arbitrariamente, la topología de la red puede adoptar múltiples formas y trayectorias siendo igual de funcional, por lo que se puede afirmar que este tipo de redes tienden a ser temporales.

## 2.2 Principio básico del funcionamiento de redes Ad Hoc

Las redes inalámbricas Ad Hoc o sin infraestructura no poseen un control centralizado, por lo que todos los nodos funcionan como encaminadores (routers) y se ven involucrados tanto en el descubrimiento (inundación) como en el mantenimiento de rutas.

Cuando un nodo desea comunicarse con otro dentro de la red, es necesario que encuentre una ruta al nodo destino. La comunicación se establece mediante saltos entre los nodos que se encuentran entre el nodo fuente y el nodo destino (nodos intermedios), tal y como se muestra en la figura 2.2 a). También existe la posibilidad de que la comunicación sea de manera directa, es decir que no existan nodos intermedios entre el origen y el destino como se observa en la figura 2.2 b), debido a que los nodos que van a mantener la comunicación se encuentran dentro del radio de transmisión del nodo fuente. Dado que las rutas que se forman son temporales cuando se trata de usuarios móviles, es muy frecuente que éstas se rompan constantemente por lo que es necesario iniciar nuevas búsquedas.

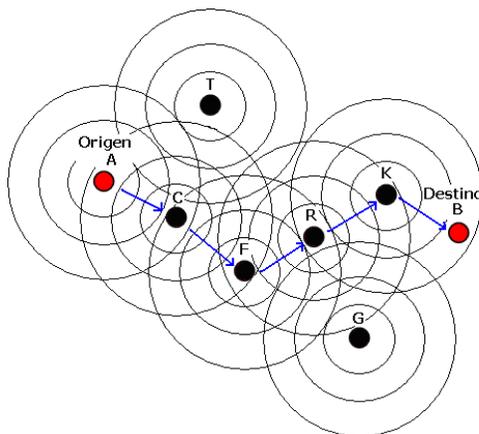


Figura 2.2 a)

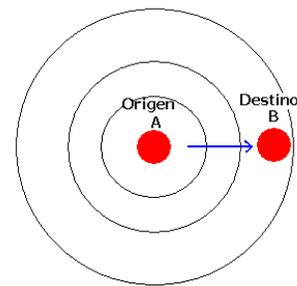


Figura 2.2 b)

*Figura 2.2 Red Ad Hoc con intervención de nodos intermedios y sin nodos intermedios. Figura 2.2 a) Red Ad Hoc donde el nodo A desea comunicarse con el nodo B, como B no se encuentra dentro del radio de transmisión de A utiliza nodos intermedios (C, F, R y K). Figura 2.2 b) El nodo A también quiere comunicarse con el nodo B, como B sí se encuentra dentro del radio de transmisión del nodo A la comunicación se establece de manera directa, es decir, no necesita nodos intermedios.*

### Propiedades deseadas en los protocolos de enrutamiento

La comunicación en las redes alámbricas es interrumpida sólo cuando existe alguna falla en alguno de los nodos o cuando el cable se encuentra averiado, por lo tanto, los cambios en su topología son menos frecuentes que los de una red inalámbrica.

Es por eso que las técnicas utilizadas para encaminar paquetes de datos en las redes cableadas no pueden ser utilizadas en redes Ad Hoc. Los algoritmos clásicos de las redes alámbricas presuponen que la topología de la red es poco cambiante y en consecuencia están basados en complicados algoritmos que tratan de conocer la mejor ruta hacia cualquier destino. Debido a la movilidad de los nodos en las redes Ad Hoc, no es viable esta alternativa.

Además el ancho de banda y la memoria de las redes sin infraestructura o Ad Hoc son reducidas, lo que provocaría una rápida saturación de la red, debido al denso tráfico de control desplegado en este tipo de algoritmos y al rápido crecimiento de las tablas de enrutamiento.

El protocolo de enrutamiento tiene la finalidad de descubrir las rutas entre los nodos para hacer posible la comunicación. A continuación se muestra una lista de las características que deben cumplir los protocolos en general y los protocolos que son utilizados en las redes Ad Hoc.

***La finalidad de los protocolos de enrutamiento en general son:***

- Adaptarse a los crecimientos de la topología de la red
- Responder de manera rápida y eficiente a los cambios de la red
- Proporcionar rutas libres
- Disminuir el retardo de propagación en la red (utilizando rutas cortas)
- Mostrar diferentes caminos para disminuir el congestionamiento en la red
- Ejecutarse distribuidamente

***En una red inalámbrica Ad Hoc los protocolos de encaminamiento deben contar con:***

- Ejecución descentralizada
- Un ancho de banda eficiente (minimizando la cabecera de los protocolos)
- Utilizar conexiones direccionales y bidireccionales

**Estrategias de los protocolos de enrutamiento:**

*a) Protocolos proactivos:* Este tipo de protocolo es el que se utiliza normalmente en las redes cableadas. Las rutas se establecen de manera independiente al patrón de tráfico y también puede ser utilizado en las redes inalámbricas siempre que no se exceda en la velocidad de los nodos, debido a que los algoritmos que utiliza no son lo suficientemente rápidos y eficientes para manejar cambios muy frecuentes.

- En estos protocolos cada nodo mantiene una o varias tablas de rutas a todos los destinos de la red.
- Estas tablas con rutas son actualizadas constantemente, incluso cuando los nodos no necesiten enviar algún mensaje.
- Los protocolos pierden más tiempo actualizando sus tablas de rutas, siendo esto una desventaja cuando la topología de la red cambia con mucha frecuencia, ya que muchas de las rutas que tienen como actuales en un momento dado, pueden ser ya obsoletas al segundo siguiente.
- Este tipo de protocolo es más recomendado para redes Ad Hoc semidinámicas.

*b) Protocolos reactivos:* Sólo cuando es necesario se crean y se mantienen las rutas. Como las rutas no están definidas, cuando un nodo fuente quiere mandar información a un nodo destino, el nodo fuente envía paquetes de búsqueda a toda la red inalámbrica tratando de encontrar el nodo destino, una vez que se localiza el nodo destino se establece su ruta con ayuda de nodos intermedios, el nodo destino manda paquetes de confirmación de su ubicación utilizando la ruta

encontrada y es así como empieza la comunicación entre el nodo fuente y destino. Como se ha mencionado, este tipo de redes se encuentra en constante movimiento provocando que la topología de la red cambie continuamente y aumentando la probabilidad de que la comunicación sea interrumpida; cuando esto sucede, se repite el procedimiento citado.

- Las rutas son creadas cuando son requeridas.
- Cuando una fuente desea enviar información hacia un destino, utiliza mecanismos de descubrimiento de ruta para encontrar la mejor ruta hacia ese destino.
- La gran ventaja de este protocolo es el uso de un encabezado más pequeño pues solamente se determinan las rutas cuando son requeridas.
- Una desventaja es el retardo en la determinación de rutas por el empleo del mecanismo de inundación.
- En general, por la manera en que funciona, este tipo de protocolo es más adecuado para redes donde los nodos están en constante en movimiento

c) *Protocolos híbridos*: Poseen características de los dos protocolos anteriores. Divide la red en zonas para utilizar diferentes propiedades en cada área según convenga, este tipo de protocolos es recomendado en las redes de áreas amplias que muchas veces son particionadas.

### Ventajas y desventajas de los protocolos reactivos y proactivos

Enseguida se muestra una tabla 2.1 en la que podemos observar las ventajas y desventajas de los protocolos reactivos y proactivos, los híbridos no se incluyen debido a que estos tienen características de los dos anteriores.

<b>PROTOCOLO</b>	<b>PROACTIVOS</b>	<b>REACTIVOS</b>
<b><i>Disponibilidad de las rutas</i></b>	Siempre disponibles	Disponibles cuando se requieren
<b><i>Latencia</i></b>	Mínima	Grandes retardos cuando no hay ruta disponible
<b><i>Actualización periódica de rutas</i></b>	Si	No
<b><i>Copiado en movimiento</i></b>	Informa a otros nodos para mantener consistentes las tablas de rutas	Se informa sólo si afecta al nodo fuente, utiliza rutas alternativas
<b><i>Generación de tráfico de control</i></b>	Mayor comparado con el de los reactivos	Aumenta si se incrementa la movilidad de ruteadores activos
<b><i>Consumo de energía</i></b>	Mayor	Depende del nivel de movilidad de los nodos

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los protocolos reactivos y proactivos.

## 2.3 Protocolos de enrutamiento en redes Ad Hoc

Como se observa en la figura 2.3 existe una gran variedad de protocolos de encaminamiento diseñados exclusivamente para redes Ad Hoc, los más utilizados son DSDV, TORA, DSR y AODV

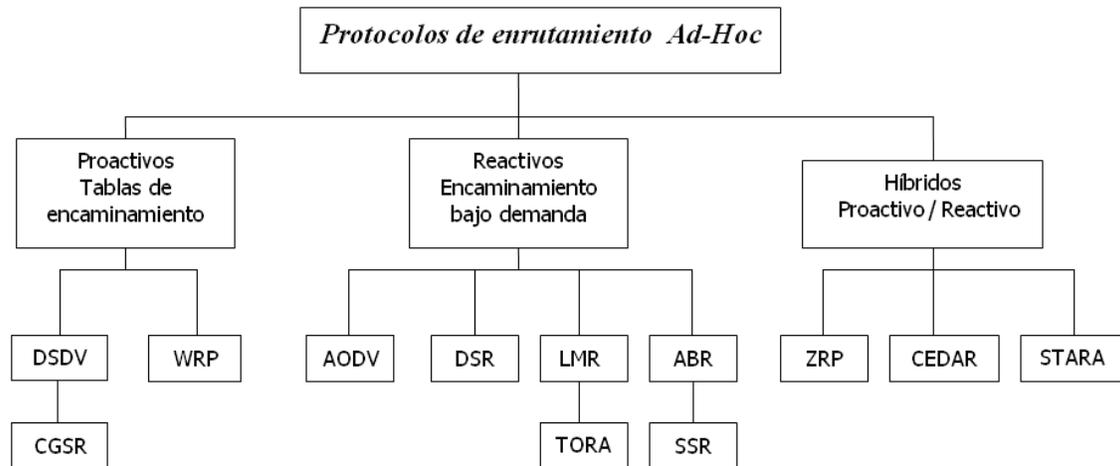


Figura 2.3 Clasificación de los protocolos de enrutamiento en redes Ad Hoc.

### 2.3.1 DSDV Destination-Sequence Distance Vector

El protocolo DSDV es una propuesta de Charles E. Perkins y Pravin Bhagwat, donde se modifican los mecanismos de ruteo del Bellman-Ford básico, dando como resultado un protocolo de enrutamiento proactivo para redes Ad Hoc basado en utilizar un vector de distancia que actualiza constantemente el enrutamiento gracias a la ayuda de todos los nodos que intervienen en la red, además sobresale el manejo de rutas libres de ciclos.

#### Principio básico de funcionamiento

Cada nodo móvil en la red Ad Hoc mantiene una tabla de rutas a todos los destinos posibles. Para conservar la validez de dichas tablas en una topología dinámicamente variable, cada nodo transmite periódicamente a sus vecinos actualizaciones de rutas, mediante broadcast o multicast, las actualizaciones son transmitidas tan pronto como se obtiene nueva información sobre las rutas. Cada entrada de las tablas de ruteo contiene los siguientes datos:

- Dirección del nodo destino.
- Número de nodos a visitar para alcanzar el destino.
- Un número de secuencia de la ruta, originada por el nodo destino.

Debido a las características del medio de transmisión en redes inalámbricas pueden presentarse conexiones unidireccionales, las cuales son más difíciles de manejar que las conexiones bidireccionales. Para evitar la inserción de rutas que contengan conexiones unidireccionales en la tabla de ruteo, el protocolo asegura que un nodo "x" no almacene rutas que vienen de un vecino "y" a menos que "y" compruebe que puede recibir paquetes de "x".

La propiedad más importante de este protocolo es que garantiza que no se formen rutas que contengan ciclos. Para evitar la formación de ciclos en las rutas se procede de la siguiente manera. La ruta a un destino "d" en una tabla "t", sólo será actualizada por otra ruta al nodo "d" si alguna de las siguientes dos cosas pasan:

- La nueva ruta contiene un número de secuencia más reciente.
- El número de secuencia es el mismo que el número de secuencia actualmente almacenado pero la nueva ruta ofrece un camino más corto.

### 2.3.2 TORA Temporally Order Routing Algorithm

El protocolo TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm, Algoritmo de Ruteo Temporalmente Ordenado) fue creado por M. Scott Corson y Vincent Park. Este algoritmo está diseñado para minimizar la reacción a cambios en la topología de la red, basado en el concepto de retorno de enlace (link reserval). Su característica principal es que los mensajes de control se localizan en un número reducido de nodos. La diferencia con otros algoritmos es la imposibilidad de estimar constantemente la distancia hacia el destino o de mantener siempre la ruta más corta. Sin embargo, tiene la ventaja de que es un algoritmo muy eficiente pues no satura la red con tráfico.

#### *Principio Básico de Funcionamiento*

El funcionamiento del TORA es de la siguiente manera. Cada vez que se requiera una ruta al nodo destino se ejecuta una versión lógica separada del protocolo. El protocolo puede separarse en tres funciones básicas: creación de rutas, manutención de rutas y borrado de rutas.

Para la creación de una ruta de cualquier nodo al destino se requiere el establecimiento de una secuencia de ligas dirigidas que conduzcan del nodo al destino. Esta función sólo se inicia cada vez que un nodo sin ligas dirigidas requiere una ruta a un destino. Así podemos decir que la creación de rutas consiste en asignar direcciones a las ligas de una red o porción de una red. Para lograr esto, se construye una trayectoria acíclica dirigido con raíz en el nodo destino.

La manutención de rutas se refiere a reaccionar a cambios en la topología de la red de forma tal que las rutas al destino puedan ser re-establecidas en un tiempo finito.

Al momento de detectarse una partición de la red, todas las ligas (en la porción de la red que ha quedado particionadas desde el destino) deben quedar sin dirección.

El protocolo logra estas tres funciones mediante el uso de tres paquetes de control distintos: de solicitud QRY (QUERY), de actualización UPD (UPDATE) y de limpieza CLR (CLEAR). Los paquetes QRY son usados para crear rutas, los paquetes UPD son usados tanto para crear rutas como para mantenerlas y los paquetes CLR son utilizados para borrar rutas.

TORA asocia una altura a cada nodo en la red. Todos los mensajes fluyen de nodos con mayor altura hacia nodos con menor altura. Cuando un nodo no tiene algún vecino con una altura menor a la de él mismo, entonces envía un mensaje QRY a toda la red. Este mensaje QRY se

propaga por toda la red hasta encontrar un nodo que tenga una ruta al destino deseado, o bien, hasta que el paquete llegue al destino. Entonces ese nodo genera un paquete UPD que contiene la altura del nodo. El paquete UPD es enviado a todos los nodos de la red y conforme los nodos vayan recibiendo este paquete, deben de ir actualizando sus propias alturas con valores mayores que el especificado en el mensaje UPD. A su vez cada nodo que recibe un paquete UPD envía su propio mensaje UPD a los demás nodos de la red. Con esta serie de acciones se obtiene un número de ligas dirigidas que van desde el nodo que originó el paquete QRY hasta el nodo destino.

### 2.3.3 DSR Dynamic Source Routing Protocol

DSR (*The Dynamic Source Routing*) fue creado por David B. Johnson y Josh Broch. Es un algoritmo basado en el concepto de encaminamiento en origen. Los nodos mantienen *cachés*, cuyas entradas incluyen el destino y la lista de nodos para llegar a él. Las entradas de esta tabla son actualizadas según se aprendan rutas nuevas.

#### *Principio básico de funcionamiento*

El protocolo consta de dos mecanismos principales: descubrimiento de ruta y mantenimiento de ruta. Cuando un nodo quiere enviar un paquete a un destino, primero consulta su *caché* para determinar si dispone de una ruta hacia el destino. Si tiene una ruta válida, la usará para enviar el paquete. Sin embargo, si el nodo no dispone de dicha ruta iniciará un descubrimiento de ruta enviando un paquete RREQ (*Route Request*). Este paquete contiene la dirección de destino buscada, la dirección del nodo que origina el envío y un identificador único. Cada nodo que reciba el paquete verificará si posee una ruta hacia el destino. Si no la tiene, añadirá su propia dirección en el registro de rutas del paquete y después reenviará el paquete a través de todos sus enlaces. Para limitar la propagación excesiva de descubrimientos de ruta, un nodo sólo reenviará este mensaje si la misma petición no fue recibida con anterioridad. Cuando un RREQ alcanza su destino final, este nodo genera una respuesta de ruta RREP (*Route Reply*). También podría contestar con un RREP un nodo intermedio que tuviera en su *caché* una ruta válida hacia el destino del RREQ. Si el nodo que genera la respuesta es el destino, colocará el registro de rutas contenido en el RREQ dentro del RREP. Si es un nodo intermedio el que responde, extraerá de su *caché* la ruta para llegar al destino, que unida al registro de rutas contenido en el RREQ compondrá la ruta a introducir en el RREP. El mantenimiento de rutas se completa con el uso de paquetes de error en ruta RERR (*Route Error*) y asentimientos. Los paquetes de error en ruta son iniciados por un nodo cuando encuentra un problema en la transmisión con algún enlace. Cuando un RERR es recibido, el nodo que provocó el error es eliminado de la *caché* de rutas. También serán borradas todas las rutas en las que intervenga el enlace roto. Además de los mensajes de error, se usan asentimientos para verificar que las operaciones con los enlaces son correctas.

### 2.3.4 AODV Ad Hoc On-Demand Distance Vector

Es importante mencionar que este protocolo fue el que se utilizó para realizar todas las pruebas de las redes Ad Hoc que se utilizaron en la elaboración de esta tesis, los resultados obtenidos se explican más adelante en los capítulos 4 y 5.

Este protocolo es de tipo reactivo, una de las características que lo define es el uso de tablas de enrutamiento (como se muestra en la tabla 2.2) en cada nodo para evitar transportar rutas en los paquetes. Cada destino de la tabla de enrutamiento lleva asociado un número de secuencia y un temporizador o lifetime. Este número permite distinguir entre información nueva e información antigua, de tal manera que se evita la formación de ciclos y la transmisión de rutas antiguas o caducadas por la red. La función del temporizador es evitar usar enlaces de los que no se conoce su estado desde hace mucho tiempo.

<i>Destino</i>	<i>Siguiente salto</i>	<i>Nº Secuencia</i>	<i>Nº Saltos</i>	<i>Tiempo de vida</i>	<i>Última modificación</i>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Tabla 2.2 Ejemplo de tabla de enrutamiento.

Como se mencionó, AODV pertenece a los protocolos de tipo reactivo, no mantiene rutas para cada nodo de la red. Estas rutas son descubiertas según se vayan necesitando. AODV es capaz de proveer de transmisión de tipo:

- Unicast.
- Multicast.
- Broadcast.

La transmisión unicast consiste en enviar datos de un nodo a otro, la transmisión multicast consiste en enviar información de un nodo a un grupo de nodos y la transmisión broadcast consiste en enviar datos de un nodo al resto de nodos de la red.

Los descubrimientos de rutas son siempre bajo demanda y siguen un ciclo de petición / respuesta de ruta. Las peticiones son enviadas usando un paquete especial denominado RREQ (Route Request). A su vez, las respuestas son enviadas en un paquete denominado RREP (Route Reply). A continuación se resume la secuencia de pasos para descubrir una ruta:

1. Cuando un nodo desea conocer una ruta hacia un nodo destino, envía por broadcast un RREQ.
2. Cualquier nodo que conozca una ruta hacia el destino solicitado (incluido el propio destino) puede contestar enviando un RREP.
3. Esta información viaja de vuelta hasta el nodo que originó el RREQ y sirve para actualizar las rutas de los nodos que lo necesiten.
4. La información recibida por el nodo destino del RREP se almacena en su tabla de enrutamiento.

Ahora el nodo ya podría encaminar su paquete de datos, pues ya conoce un camino hacia su destino.

### Descubrimiento de rutas

Cuando un nodo desea enviar datos a otro, primero revisa si tiene alguna entrada en su caché de rutas para dicho destino. Si cuenta con alguna entrada activa, se entiende que ésta es la más reciente, después enruta los datos por el nodo vecino que le indica la tabla. Sin embargo, si el origen no dispone de una entrada activa, porque es la primera vez que se va a comunicar con él o porque el tiempo para ese destino ha expirado (al comprobar el campo *lifetime* y la fecha de última modificación), se inicia un descubrimiento de ruta. Para ello se debe crear un paquete RREQ que contiene información referente al nodo destino e información propia. Cada paquete RREQ es identificado unívocamente con un identificador propio, unido al nodo que origina el mensaje. Este identificador se incrementa generando números de secuencia cada vez que se genere un nuevo RREQ y lo utilizan los nodos intermedios, para saber si deben retransmitir el paquete, o por el contrario, descartarlo porque ya lo retransmitieron con anterioridad. Dichos nodos, aún no siendo los destinatarios del RREQ, mantienen una entrada para ese destino en su tabla de enrutamiento.

Cuando un nodo reenvía un RREQ, añade una ruta inversa en su tabla que apunta al origen del RREQ (supone enlaces simétricos<sup>1</sup>). Si este paquete llega al destino, éste devolverá un RREP al origen, a través del camino inverso por el que le llegó la petición para evitar la propagación innecesaria de RREQ a través de la red.

Para que sea más fácil de entender, analizaremos el ejemplo que se muestra en la figura 2.4 donde el nodo A quiere descubrir una ruta hacia el nodo D:

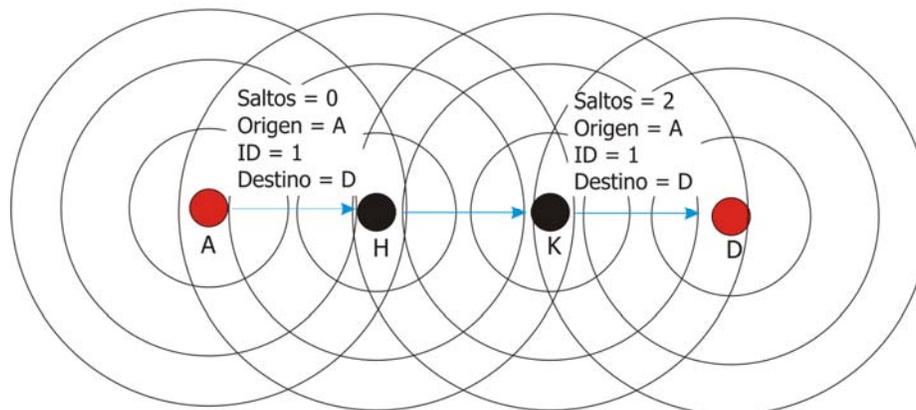


Figura 2.4 Ejemplo de descubrimiento de ruta.

<sup>1</sup> Todos los nodos tienen capacidades y responsabilidades idénticas

Para iniciar un descubrimiento de ruta, A transmite un RREQ enviando un único paquete en modo broadcast, el cuál es recibido por todos los nodos que están dentro del radio de transmisión de A, en nuestro ejemplo sólo hay un nodo dentro del radio de transmisión y es H. Cada RREQ incluye el origen y el destino del descubrimiento de ruta, además del identificador único, en este caso el 1, otorgado por el iniciador de la petición (A), también contiene datos del origen para que los nodos intermedios (H y K) puedan actualizar sus tablas con esta información. Por último se añade un campo con información que muestra el número de saltos que da el paquete.

Cuando H recibe esta petición, observamos en la fig. 2.4 que no es el nodo destino, H sólo forma parte de la trayectoria entre el nodo A y D. En el caso en el que H hubiera sido el nodo destino, debe devolver al nodo A un RREP y cuando A lo recibe, almacena en su caché el camino para futuros envíos al mismo destino. En nuestro ejemplo cuando H recibe RREQ, comprueba que no le ha llegado con anterioridad otra petición con el mismo origen y mismo identificador, después de esto, verifica que no es el destinatario del RREQ y tampoco dispone de una ruta hacia el nodo D. En seguida reenvía por broadcast la petición incrementando en una unidad el número de saltos, como también viaja la información del nodo A se añade esa ruta en su tabla para llegar hacia A (nodo que originó el mensaje). Esta última petición es recibida por el nodo K, este nodo realiza el mismo procedimiento. Finalmente, la petición llega al nodo D que es el destino. Este último mandará el RREP correspondiente al nodo A con la ruta obtenida por RREQ. Para enviar este paquete al nodo A, revisará en su caché para obtener algún camino o iniciará otro Route Discovery si fuera necesario. No hay que olvidar que debido a la omnidireccionalidad de los envíos, el nodo B también obtendría una copia del último mensaje, descartándolo por haberlo reenviado con anterioridad.

## Mantenimiento de rutas

Cuando se establece una ruta entre dos nodos, la ruta se considera válida durante un periodo de tiempo. Esto es debido a que los nodos son móviles y un camino que antes era óptimo, pasado un tiempo puede que ni siquiera sea válido. Para afrontar estas situaciones, AODV utiliza el mantenimiento de rutas. Si el nodo origen de un envío se mueve (y altera la topología de la red), debe reiniciar un nuevo descubrimiento de ruta hacia el destino.

Sin embargo, si ha sido el nodo destino de los datos el que se ha movido o algún nodo intermedio y existe algún mensaje dirigido hacia él, un mensaje especial de error en ruta RERR (Route Error) será enviado al nodo que originó el envío, por el nodo que advierte el cambio en la topología de la red.

Es importante resaltar que no todos los cambios de los nodos ocasionan operaciones en el protocolo, recordemos que AODV encamina bajo demanda. Todos los nodos por los que atravesase este paquete (RERR), cancelarán las rutas que pasaran por el nodo que se ha vuelto inaccesible. En el momento que el RERR llegue a su destino, éste puede decidir dar por terminado el envío o iniciar un nuevo RREQ si aún necesitase establecer la comunicación.

Es preciso mantener información actualizada de quiénes son los vecinos de cada nodo cada cierto tiempo. Cada vez que un nodo recibe un paquete de algún vecino, la entrada para ese vecino en la tabla de rutas se renueva, pues se sabe con seguridad que sigue en su lugar. Si no

hubiera entrada todavía para el vecino, se crearía una nueva en la tabla de encaminamiento. Además, cada cierto intervalo de tiempo, se mandan paquetes HELLO a los vecinos para informarles que el propio nodo sigue activo. Esta información es usada por los vecinos para actualizar los temporizadores asociados a dicho nodo o en su defecto, para deshabilitar las entradas que se encaminen por el nodo que no responde.

## Formatos de mensaje de AODV

### Formato del RREQ (Route Request)

0								31
Tipo	J	R	G	D	U	Reservado	Conteo de saltos	
RREQ ID								
Dirección IP destino								
Número de secuencia al destino								
Dirección IP del origen								
Número de secuencia del origen								

Tabla 2.3 Formato del RREQ (Route Request) mensaje de petición.

Los campos que conforman el RREQ, son los siguientes:

<b>TIPO</b>	1
<b>J</b>	Bandera de unión (Join); reservada para multicast
<b>R</b>	Bandera de reparación (Repair); reservada para multicast
<b>G</b>	Bandera de RREP gratuito (Gratuitous); indica cuando un RREP gratuito debe de ser unicast al nodo especificado en el campo de dirección IP destino
<b>D</b>	Bandera de sólo destino (Destination only); indica que sólo el destino puede responder a este RREQ
<b>U</b>	Número de secuencia desconocido (Unknown); indica que el número de secuencia al destino es desconocido
<b>Reservado</b>	Se envía como 0; se ignora en la recepción
<b>Conteo de saltos</b>	El número de saltos desde la dirección IP origen al nodo que está procesando el RREQ
<b>RREQ ID</b>	Un número de secuencia único que identifica un RREQ en particular cuando se toma en conjunto con la dirección IP del nodo origen
<b>Dirección IP destino</b>	La dirección IP del destino para el cual se desea una ruta
<b>Número de secuencia al destino</b>	El último número de secuencia recibido en el pasado por el origen para cualquier ruta hacia el destino

<b>Número de secuencia del origen</b>	El número de secuencia actual a ser usado en la información de ruta apuntando hacia el origen del RREQ
---------------------------------------	--

Tabla 2.4 Campos que conforman el RREQ.

#### Formato de RREP (Route Reply)

0						31
Tipo	R	A	Reservado	Tamaño de prefijo	Conteo de saltos	
Dirección IP destino						
Número de secuencia al destino						
Dirección IP del Origen						
Tiempo de vida						

Tabla 2.5 Formato de RREP (Route Reply) mensaje de respuesta.

Los campos que conforman el RREP, son los siguientes:

<b>TIPO</b>	2
<b>A</b>	Confirmación requerida (Acknowledgement)
<b>Reservado</b>	Se envía como 0; se ignora en la recepción
<b>Tamaño de prefijo</b>	Si no es 0, el tamaño de prefijo de 5 bits especifica que el siguiente salto puede ser usado por cualquier nodo con el mismo prefijo de ruteo como el destino requerido
<b>Conteo de saltos</b>	El número de saltos desde la dirección IP origen a la dirección destino. Para RREQ multicast, esto indica el número de saltos al miembro del árbol multicast que envía el RREP
<b>Dirección IP destino</b>	La dirección IP del destino para el cual se proporciona la ruta
<b>Número de secuencia al destino</b>	El último número de secuencia asociado con la ruta
<b>Dirección IP del origen</b>	La dirección IP del nodo que originó el RREQ para el cual se proporciona la ruta
<b>Tiempo de vida</b>	El tiempo en milisegundos para el cual el nodo que recibe el RREP considera la ruta como válida

Tabla 2.6 Campos que conforman el RREP.

El bit "A" se utiliza cuando el enlace sobre el cual el mensaje de RREP se envía, puede ser poco confiable o unidireccional. Cuando el mensaje de RREP contiene habilitado el bit "A", se espera que el receptor el mensaje envíe un paquete de RREP-ACK.

### Formato de RERR (Route Error)

0				31
Tipo	N	Reservado	<del>DestCount</del>	
Dirección IP destino inalcanzable (1)				
Número de secuencia al destino inalcanzable (1)				
Dirección IP destino inalcanzable adicional (si se necesita)				
Número de secuencia al destino inalcanzable adicional (si se necesita)				

Tabla 2.7 Formato de RERR (Route Error).

Los campos que conforman el RRER, son los siguientes:

<b>TIPO</b>	3
<b>N</b>	Bandera de no borrar; habilitado cuando un nodo ha desempeñado una reparación local del enlace y los nodos que intervienen en el no deben borrar la ruta
<b>Reservado</b>	Habilitado como 0; ignorado en recepción
<b>DestCount</b>	El número de destinos inalcanzables incluidos en el mensaje; debe ser al menos 1
<b>Dirección IP destino inalcanzable</b>	La dirección IP del nodo destino que se ha vuelto inalcanzable
<b>Número de secuencia al destino inalcanzable</b>	El número de secuencia en la información de la tabla de ruteo para el destino indicado en el campo de dirección IP del destino inalcanzable en su campo correspondiente

Tabla 2.8 campos que conforman el RRER.

Como se puede observar el protocolo AODV pretende mejorar a DSR, enseguida se muestra en la tabla 2.9 algunas diferencias entre ambos protocolos:

PROTOCOLO	AODV	DSR
Método de enrutamiento	El siguiente salto	Ruteo fuente
Almacenamiento de rutas	Tablas	Caché
Rutas	El siguiente salto y el precursor al destino	Rutas completas al destino
Métrica de rutas	Trayectoria más pequeña	Trayectoria más pequeña
Enlaces	Bi-direccional	Bi-direccional/Unidireccional
Configuración de rutas	Erase Route; notify sources	Erase Route; notify sources
Capacidad de multi-enrutamiento	No	Si

Tabla 2.9 Comparación entre AODV y DSR.

## 2.4 Aplicaciones de las redes Ad Hoc

Debido a que las redes Ad Hoc no cuentan con infraestructura, existen algunas características que las hacen interesantes, como la rapidez y facilidad con la que son expandidas en zonas de difícil acceso, lugares donde el cableado no es una buena opción por ejemplo en edificios históricos o grandes naves industriales, donde la realización de canaletas para el cableado podría dificultar el paso de transportes o para disminuir costos generados por movimientos, crecimientos y cambios provocados por despliegues temporales de redes de acceso en hoteles y centros de convenciones, en donde el tendido de cableado no tendría sentido, pues la red se retirará una vez concluido el evento. Los asistentes a sitios de entrenamiento de los corporativos y los estudiantes en algunas universidades utilizan este tipo de redes para tener acceso a la información y el aprendizaje.

Es por eso que este tipo de redes cuenta con una gran variedad de aplicaciones en diferentes campos como:

### a) Entornos civiles

- Reuniones y congresos
- Servicios de información contextual (museos)
- Aeropuertos
- Sincronización transparente entre dispositivos
  - Entornos domésticos
  - Entornos de oficina
  - Entre vehículos

### b) Entornos militares

- Comunicación entre vehículos, tanques, aviones y soldados
- Redes tácticas

- c) Desastres naturales
  - Operaciones de búsqueda y rescate
  - Análisis de datos en terrenos catastróficos
- d) Redes de área personal (PANs)
  - Teléfonos celulares con conexión a computadoras, audífonos y relojes
- e) Operaciones de emergencia
  - Búsqueda y rescate, cuerpos policíacos y de bomberos.

### 2.4.1 Redes de sensores

Una de las tecnologías que cambiarán el mundo según MIT Technology Review es una aplicación de las redes Ad hoc, se trata de las redes de sensores inalámbricos.

Las redes de sensores inalámbricos son redes de nano aparatos autónomos capaces de una comunicación sin cable y suponen uno de los avances tecnológicos más investigados en la actualidad. A través de redes de sensores, se puede integrar funcionalidades que antes eran independientes unas de otras, con el fin de lograr máxima eficiencia sobre todo en los campos de consumo y gestión de energía.

La diferencia entre los sensores alámbricos y la nueva generación de redes de sensores inalámbricos es que estos últimos son inteligentes (es decir, son capaces de poner en marcha una acción según la información que vayan acumulando) y no son limitados por un cable fijo.

Las últimas investigaciones apuntan hacia una eventual propagación de redes de sensores inteligentes, redes que recogerán enormes cantidades de información hasta ahora no registrada que contribuirá de forma favorable al buen funcionamiento de fábricas, al cuidado de cultivos, a tareas domésticas, a la organización del trabajo y a la predicción de desastres naturales como los terremotos.

Aunque la tecnología relacionada con las redes de sensores inalámbricos está todavía en su primera fase, equipos de investigación en la Universidad de California, Berkeley ya han fabricado una caja que se puede adaptar a muchos tipos de sensores. Los científicos utilizan los sensores sin cable para encontrar y controlar microclimas y plagas en plantaciones de uva, para estudiar los hábitos de aves y para controlar sistemas de ventilación y calefacción. En la Universidad de California, Los Ángeles, investigadores utilizan las redes de sensores sin cable para recibir información detallada sobre el efecto de los movimientos sísmicos en los edificios.

Si los avances tecnológicos en este campo siguen a la misma velocidad que han hecho en los últimos 2 años, las redes de sensores sin cable revolucionarán la capacidad de interacción de los seres humanos con el mundo.

## 2.4.2 Redes mesh

Este tipo de redes también forman parte de las aplicaciones de las redes Ad Hoc. Una red Mesh es una técnica de redes que permite conexiones entre nodos a un bajo costo, estas pueden ser a dispositivos fijos o móviles, además de proveer servicios de transporte a otros nodos en la misma red. Tienen la capacidad de extenderse compartiendo el acceso con infraestructuras de redes de alto costo.

Su funcionamiento está basado en el de las redes Ad Hoc, es decir, los nodos de ésta red actúan como repetidores para transmitir información a nodos vecinos dando como resultado una red que se puede expandir considerablemente, inclusive en lugares donde el acceso es limitado.

Debido a que cada nodo está conectado a uno o más nodos se genera redundancia que proporciona seguridad y robustez a la red en caso de fallas, pues la caída de un sólo nodo no implica la caída de toda la red.

Los protocolos que se utilizan en este tipo de redes ya fueron explicados en párrafos anteriores. Gracias a la capacidad de enrutamiento dinámico que poseen es posible el comportamiento de las redes Mesh.

Una de las grandes ventajas que tienen las redes Mesh es que con una mínima infraestructura que se desarrolle en las estaciones base la red puede operar, además tienen la capacidad de expandirse mucho mas incluyendo lugares de difícil acceso.

## 2.5 Limitaciones de las redes Ad Hoc

Los inconvenientes que tienen las redes de este tipo se derivan fundamentalmente de encontrarnos en un periodo transitorio de introducción, donde faltan estándares, hay dudas que algunos sistemas pueden llegar a afectar la salud de los usuarios, no está clara la obtención de licencias para las que utilizan el espectro radioeléctrico y son muy pocas las que presentan compatibilidad con los estándares de las redes fijas.

Debido a la movilidad y adaptabilidad a cualquier área de transmisión las redes Ad Hoc tienen principalmente dos tipos de limitaciones en cuanto a su operación y son:

- a) Limitaciones debidas al medio inalámbrico
  - Radio de transmisión limitado (en nuestro caso fue de 250 metros) debido al enrutamiento complejo.
  - Ancho de banda reducido.
  - Errores de transmisión/perdidas de paquetes.
  - Seguridad restringida.

- b) Limitaciones debidas al carácter móvil de las estaciones
  - Topologías dinámicas, debido a las rutas dinámicas
  - Energía reducida
  - Cambios de ruta (topología dinámica)

## 2.6 Retos que se presentan en las redes Ad Hoc

Debido a las limitaciones que se nombraron, las redes Ad Hoc o sin infraestructura se ven en la necesidad de afrontar grandes retos, para obtener un mejor desempeño en las redes.

**Configuración:** Algunos retos siempre han existido en las redes, pero se vuelven más complejos con las redes inalámbricas. Por ejemplo, debido a que la configuración es más fácil, las redes inalámbricas agregan funciones (algunas veces para resolver otros retos) y mediciones que se incorporan a los parámetros de configuración.

**Conectividad:** Con la libertad de movimiento que tienen este tipo de redes, los usuarios pueden caminar de un lugar a otro, ir de un edificio a otro, viajar de una ciudad a otra, etc., siempre requiriendo y esperando un nivel de conectividad continuo.

**Baterías:** A pesar de los recientes avances que se han obtenido en el área de capacidad de las baterías, el consumo de energía es todavía un factor de diseño fundamental

**Pérdidas de paquetes debidos a errores en la transmisión:** Las colisiones, rupturas de ruta, entre otros eventos, ocasionan que se pierdan paquetes antes de llegar a su destino.

**Seguridad y Privacidad:** La redes inalámbricas presentan nuevos retos en cuanto a seguridad y privacidad, porque la información viaja a través del aire, por medio de ondas de radio frecuencia y éstas pueden ser interceptadas por personas ajenas a la red.

## CAPÍTULO 3

# Estudio de la duración de rutas en redes Ad Hoc y el simulador NS-2

Del capítulo anterior sabemos que las redes Ad Hoc tienen un determinado tiempo de permanencia de enlace dependiendo de sus condiciones, es decir, la ruta que por un instante es válida puede que para el siguiente instante ya no lo sea por lo que la comunicación se ve interrumpida, esto se debe a que los nodos que conforman la red se pueden mover arbitrariamente en dirección y sentido a cualquier velocidad.

La única restricción que existe para que la comunicación no sea interrumpida es que los nodos fuente, destino e intermedios no se salgan nunca de los radios de transmisión y recepción del enlace como se muestra en la figura 3.1

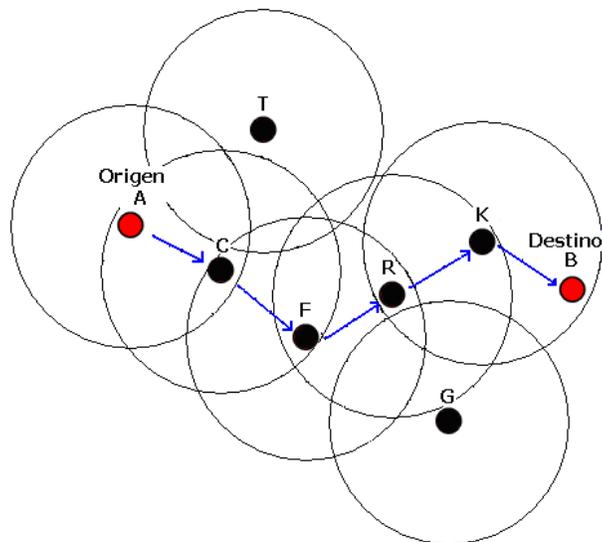


Figura 3.1 Comunicación en una red Ad Hoc.

En la misma figura 3.1 se puede observar que los nodos T y G están fuera del alcance de los demás nodos que conforman la red Ad Hoc, porque el radio de transmisión y recepción es limitado, sólo tiene un alcance de 250[m] por lo que si se quisiera establecer comunicación con el nodo G, primero tiene que ser localizado mediante el flooding por los nodos vecinos. En este caso ningún nodo vecino puede ver porque está fuera de alcance, así es que se debe esperar un poco mientras la red Ad Hoc empieza a tener movilidad y alguno de los nodos vecinos lo puedan localizar, esto sucederá cuando los nodos que lleven a cabo la comunicación se encuentren dentro del alcance de los radios de transmisión y recepción unos de otros.

Una vez que ya existe comunicación en la red Ad Hoc, ésta sólo dura un determinado periodo de tiempo que varía dependiendo de las condiciones de la red como: el tamaño de la red, la densidad de nodos que la conforman, la velocidad y dirección con la que se mueven los nodos, el número de nodos intermedios que se necesitan para entablar la comunicación, entre otras.

Debido a que el tiempo de conectividad en cada red varía dependiendo de las condiciones que ya se mencionaron, es importante realizar un estudio de movilidad en este tipo de redes que nos permita estimar el tiempo de permanencia de enlace bajo diferentes condiciones, además de analizar el comportamiento de la misma.

Es por eso que en esta tesis se analizaron cinco casos con diferentes condiciones. Cada caso constó de 100 simulaciones excepto los últimos dos que sólo tuvieron 60 simulaciones. Esto se hizo con la finalidad de tener una mejor aproximación a los resultados reales ya que mientras más experimentos existan de cada caso, los resultados obtenidos se apegan más a la realidad.

Las simulaciones que permitieron conocer el tiempo promedio de conectividad de la red además de su comportamiento fueron hechas con la ayuda del simulador de redes NS-29 (Network Simulator Versión 29), es por eso que a continuación nos enfocaremos a explicar este simulador.

### 3.1 Network Simulator Versión 2 (NS-29)

El NS-2 (*Network Simulator 2*) es un simulador de eventos discretos. Está basado en dos lenguajes: un simulador escrito en C++ y una extensión de TCL (orientada a objetos) que sirve para ejecutar los "scripts". NS-2 está orientado a la investigación de redes de comunicaciones. Provee soporte substancial para simulación de protocolos de TCP, ruteo y multicast en cada una de las capas del modelo OSI a través de redes alámbricas e inalámbricas (locales y satelitales), incluyendo modelos que soportan simulaciones de redes Ad Hoc.

El NS comenzó como una variante del simulador de redes *Real Network Simulator* en 1989 y ha sido envuelto considerablemente en los últimos años. El desarrollo de NS en 1995 fue apoyado por DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) a través del proyecto VINT (*Virtual Inter Network Testbed*) que conforman LBL, Xerox PARC, UCB, y USC/ISI, con el objetivo de construir un simulador de redes que permita estudiar la escala y la interacción de protocolos en el contexto de protocolos de redes actuales y futuras. En 1997 un grupo de investigadores de la universidad de California, Berkeley (UCB), incorporó modelos para simular enlaces de comunicaciones vía satélite. En 1999 a partir del proyecto Monarch de la Universidad de Carnegie Mellon (CMU *Carnegie Mellon University*), se agregaron los modelos para simular los

enlaces de comunicación inalámbricos al programa NS, originando la segunda versión del programa NS-2.

Continuamente se publican nuevos cambios al programa de simulación, desde los sitios en Internet del Instituto de Ciencias de la Información de la Universidad del Sur de California (USCI/ISI *University of Southern California/ Information Sciences Institute*) y de la Universidad de California, Berkeley (UCB).

La mayoría de las plataformas en las que opera el programa NS-2 están basadas en el sistema operativo UNIX como: Linux, SunOS, FreeBSD o BSD y solares. En algunas ocasiones el programa NS-2 también funciona en sistemas operativos de Microsoft como: Windows 95/98/Me/NT/2000/XP.

Una vez que ya tenemos un panorama más general de lo que es el NS-29 *Network Simulator*, a continuación se describe paso a paso el procedimiento que se realizó para crear cada uno de los escenarios que se utilizaron para llevar a cabo el análisis de movilidad.

## 3.2 Simulación de redes inalámbricas en NS-29

### 3.2.1 Generación de archivos de escenarios

El primer paso para realizar un escenario es la creación de la topología<sup>2</sup> de la red, para esto el simulador NS-2 cuenta con una herramienta llamada *setdest* que proporciona dos versiones para realizar escenarios con nodos estáticos (versión 1) y nodos móviles (versión 2). Debido a que este es el primer paso que se hace para la elaboración de los escenarios, es aquí donde se toma en cuenta el número de nodos, la velocidad, el tiempo de simulación, tiempo de pausa y tamaño del escenario, según el tipo de versión que se utilice. Enseguida se muestran los comandos para generar los dos tipos de escenarios.

a) Escenarios con nodos estáticos (versión 1):

```
ns-2/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest/
```

```
./setdest -n<número de nodos> -p<tiempo de pausa> -s<velocidad máxima>  
-t<tiempo de simulación> -x<máxima coordenada en x> -y<máxima coordenada en y>
```

b) Escenarios con nodos móviles (versión 2):

```
ns-2/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest/
```

```
./setdest -n<número de nodos> -s<tipo de velocidad> -m<velocidad mínima>  
-M<velocidad máxima> -t<tiempo de simulación> -P<tipo de pausa>  
-p<tiempo de pausa> -x<máxima coordenada en x> -y<máxima coordenada en y>
```

<sup>2</sup> Esquema o arquitectura de conexiones entre los elementos que conforman una red

Para la elaboración de esta tesis fue muy importante tomar en cuenta que la distribución de todos los nodos en el escenario fuera totalmente aleatoria. Para comprobar que efectivamente el programa NS-2.29 realiza este tipo de distribuciones, se generaron 40 escenarios con nodos estáticos y gracias a la ayuda del animador de red NAM (*Network Animator*) que se explicará más adelante, se pudo corroborar gráficamente la distribución aleatoria en el escenario.

A continuación se muestran los comandos que se utilizaron para crear los primeros 40 escenarios estáticos

```
ns-allinone-2.29]$ns-2.29/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest/
```

```
./setdest -n 302 -p 0.0 -s 1.000 -t 300 -x 1000 -y 1000 > scen1000x1000-302a
```

Donde:

- n = número de nodos = 302
- p = tiempo de pausa = 0.0
- s = velocidad máxima = 1[m/s]
- t = tiempo de simulación = 300[s]
- x = máxima coordenada en x = 1000
- y = máxima coordenada en y = 1000

*Nota:* es muy importante guardar la salida o resultado de los escenarios creados, para eso se debe nombrar cada escenario después de ">". Los nombres que se asignen dependen de cada persona, en este caso se les nombró de esta forma para recordar fácilmente que se trata de un escenario de 1000x1000 con 302 nodos y velocidad de 1[m/s], la "a" que aparece al último es para referirme al primer escenario creado, al segundo escenario al final designé "b", al tercero "c" y así sucesivamente.

Una vez creados los escenarios estáticos se elaboraron los escenarios móviles para diferentes casos (cada caso se explicara con más detalle en el capítulo 4, ahora sólo nos estamos refiriendo a la realización de los escenarios en general), utilizando los comandos que se explicaron anteriormente para generar escenarios con nodos móviles (versión 2) y que ahora se muestran con la información que realmente se utilizó para la elaboración de los mismos.

```
ns-allinone-2.29]$ns-2.29/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest/
```

```
./setdest -n 302 -s 1 -m 0.999 -M 1.0001 -t 300 -P 1 -p 0.0 -x 1000 -y 1000 >scen1000x1000-302-1a
```

Donde:

- n = número de nodos = 302
- s = tipo de velocidad = 1
- m = velocidad mínima = 0.999
- M = velocidad máxima = 1.0001
- t = tiempo de simulación = 300
- P = tipo de pausa = 1
- p = tiempo de pausa = 0.0

-x = máxima coordenada en x = 1000  
 -y = máxima coordenada en y = 1000

Nota: En este caso el nombre que se asignó es muy parecido al del escenario estático debido a que tiene el mismo significado, lo único que cambia es que los nodos de este escenario son móviles y esto se indica en el último dígito adicional, que indica la velocidad de los nodos 1[m/s].

### 3.2.2 Generación de tráfico

Existe una herramienta llamada cbrgen que se utiliza para generar el tráfico en la red, ésta puede establecer conexiones aleatorias de tráfico TCP (*Transmission Control Protocol*) y CBR (*Constant Bit Rate*) entre nodos móviles. Para crear un archivo de conexiones de tráfico necesitamos definir el tipo de conexión de tráfico (CBR o TCP), el número de nodos y el número máximo de conexiones que serán establecidos entre ellos, una semilla aleatoria y en el caso de conexiones CBR, la tasa, cuyo valor inverso es usado para calcular el intervalo de tiempo entre paquetes CBR. Entonces el comando se ve como el siguiente:

```
ns/indep-utils/cmu-scen-gen
```

```
ns cbrgen.tcl -type [cbr | tcp] -nn<número de nodos> -seed <semilla>
```

```
-mc<conexiones> -rate<tasa>
```

Es importante mencionar que las etiquetas <> deben ser reemplazados por los valores que el usuario pretenda analizar, tanto en el caso de la elaboración de los escenarios como en el caso de generar el tráfico.

El archivo de tráfico que se utilizó para todos los escenarios fue siempre el mismo y es el que se muestra enseguida. Cabe mencionar que la comunicación que se estableció fue siempre entre el nodo 0 y el nodo 1 por eso sólo existió una conexión.

```
ns/indep-utils/cmu-scen-gen
```

```
./ns cbrgen.tcl -type cbr -nn 302 -seed 2 -mc 1 -rate 0.1 > cbr-302-1-2-512
```

```
# nodos: 302, conexiones máximas: 1, tasa de envíos: 0.1, semilla: 2
# Conectando el nodo fuente al nodo destino en el tiempo t0 = 0.00 seg
#
set udp_(0) [new Agent/UDP]
$ns_ attach-agent $node_(0) $udp_(0)
set null_(0) [new Agent/Null]
$ns_ attach-agent $node_(1) $null_(0)
set cbr_(0) [new Application/Traffic/CBR]
$cbr_(0) set packetSize_ 512
$cbr_(0) set interval_ 0.1
```

```

$cbr_(0) set random_ 1
$cbr_(0) set maxpkts_ 10000
$cbr_(0) attach-agent $udp_(0)
$nns_ connect $udp_(0) $null_(0)
$nns_ at 0.00 "$cbr_(0) start"
#
#Total sources/connections: 1/1

```

### 3.2.3 Archivo de simulación .TCL (*Tool Command Language*)

Al principio de la simulación inalámbrica, se especificó cada uno de los componentes de la red (número de nodos, velocidad, tiempo de simulación, tamaño de la red etc.). Adicionalmente, necesitamos definir otros parámetros como el tipo de antena, el modelo de radio-propagación, el tipo de protocolo de enrutamiento ad-hoc usado por los nodos móviles —mencionados en el capítulo 2—, entre otros.

Por otro lado para que un nodo sea móvil, debe consistir de componentes de red como: la capa de enlace de datos *'Link Layer'* (LL), la cola de la Interfase *'Interface Queue'* (IfQ), la capa *MAC*, los nodos del canal inalámbrico, señales recibidas y transmitidas, etc.

Todos estos parámetros son los que utilizamos para definir la primera parte de nuestro archivo de simulación en lenguaje TCL (script .tcl), como se muestra a continuación

```

# sim1000x1000-302-1a.tcl
=====
# Se definen las opciones
=====
set val (chan)      Channel/WirelessChannel      ;# tipo de canal
set val (prop)     Propagation/TwoRayGround    ;# modelo de radiopropagación
set val (netif)    Phy/WirelessPhy            ;# tipo de interfaz de antena
set val (mac)      Mac/802_11                  ;# tipo de MAC
set val (ifq)      Queue/DropTail/PriQueue    ;# tipo de interfaz de fila(IF)
set val (ll)       LL                          ;# tipo de capa de enlace
set val (ant)      Antenna/OmniAntenna        ;# tipo de antena
set val (ifqlen)   50                          ;# cantidad de paquetes en ifq
set val (nn)       302                          ;# número de nodos móviles
set val (seed)     0.0
set val (rp)       AODV                          ;# protocolo de enrutamiento
set val (x)        1000                          ;# máxima coordenada en x
set val (y)        1000                          ;# máxima coordenada en y
set val (sc)       "/home/liz/ ns-allinone-2.29/ns-2.29/scen1000x1000-302-1a"
set val (cp)       "/home/liz/ ns-allinone-2.29/ns-2.29/ cbr-302-1-2-512"

```

```
=====
# PROGRAMA PRINCIPAL
=====
```

```
# Variables Globales
```

*# comenzamos por crear una instancia del simulador, luego establecemos el soporte de traza al abrir el archivo simple.tr y llamamos el procedimiento trace-all {} de la siguiente manera:*

```
set ns_      [new Simulator]
set tracefd  [open sim1000x1000-302-1a.tr w]
set namtrace [open sim1000x1000-302-1a.nam w]
```

```
$ns_ trace-all $tracefd
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
```

```
# Objeto de topografía
```

*# creamos un objeto topología que registra los movimientos de los nodos móviles dentro de la frontera topológica en nuestro caso nuestra frontera es de 1000[m]x1000[m].*

```
set topo    [new Topography]
$topo load_flatgrid 1000 1000
```

```
# Crear God
```

*# God (General Operations Director) es el objeto usado para guardar información global a cerca del estado del entorno, la red, o nodos que un observador tendría, pero esta información no debe revelarse a ningún participante de la simulación. God guarda el número total de nodos móviles y una tabla del número más corto de saltos requeridos para que un nodo alcance al otro. La información del siguiente salto normalmente es cargada en el objeto god desde los archivos de patrones de movimiento, antes de que la simulación sea ejecutada, puesto que esto se calcula sobre la marcha en la simulación puede consumir algo de tiempo.*

```
set god_ [create-god $val(nn)]
```

```
# Configuración del número especificado de nodos
```

*# Después, necesitamos configurar los nodos antes de que sean creados. La API de configuración de nodos puede consistir de la definición del tipo de direccionamiento (flat/hierarchical etc.), el tipo de protocolo de enrutamiento ad-hoc, Capa de Enlace "Link Layer", Capa MAC "MAC Layer", IfQ etc. La API de configuración puede ser definida de la siguiente manera:*

```
$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
                -llType $val(ll) \
                -macType $val(mac) \
                -ifqType $val(ifq) \
                -ifqLen $val(ifqlen) \
                -antType $val(ant) \
```

```

        -propType $val(prop) \
        -phyType $val(netif) \
        -channelType $val(chan) \
        -topoInstance $topo \
        -agentTrace ON \
        -routerTrace ON \
        -macTrace ON \
        -movementTrace ON \

    for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
        set node_($i) [$ns_ node]
        $node_($i) random-motion 0 ;# Deshabilita el movimiento aleatorio

#Se utiliza setdest para generar automáticamente el escenario con movimiento aleatorio puts "Cargando
archivo adicional de escenario"
source $val(sc)

# Modelo de tráfico
#Después se establece el flujo de tráfico entre los dos nodos de la siguiente manera

puts "Loading scenario file..."
source $val(cp)

#Definimos posición inicial en nam
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ initial_node_pos $node_($i) 30
}

# Decimos a los nodos donde termina la simulación
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ at 300.0 "$node_($i) reset";
}
$ns_ at 300.0 "stop"
$ns_ at 300.01 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"
proc stop {} {
    global ns_ tracefd
    $ns_ flush-trace
    close $tracefd
}
puts $tracefd "M 0.0 nn $val(nn) x $val(x) y $val(y) rp $val(rp)"
puts $tracefd "M 0.0 sc $val(sc) cp $val(cp) seed $val(seed)"
puts $tracefd "M 0.0 prop $val(prop) ant $val(ant)"

puts "Comenzando simulación..."
$ns_ run

```

### El concepto de inundación (*flooding*)

Cuando el nodo fuente F desea establecer una comunicación con el nodo destino D dentro de la red Ad Hoc, éste transmite un paquete P a todos los nodos vecinos que se encuentran dentro de su radio de transmisión con la finalidad de descubrir la ruta que lo lleve al nodo destino D. Para eso cada uno de los nodos vecinos que recibieron el paquete P, retransmiten el paquete a todos los nodos vecinos que se encuentren dentro de su radio de transmisión, este proceso se repite las veces que sea necesario hasta localizar al nodo D. Debido a que existe la posibilidad de que algún nodo reciba paquetes duplicados se utilizan números de secuencia dentro del paquete P, para evitar las retransmisiones innecesarias. Cuando finalmente el nodo F encuentra al nodo D mediante la ayuda del paquete P, el nodo D utiliza la información de los nodos que intervinieron en la comunicación para ser utilizada posteriormente en la comunicación. En la figura 3.2 se puede apreciar este proceso.

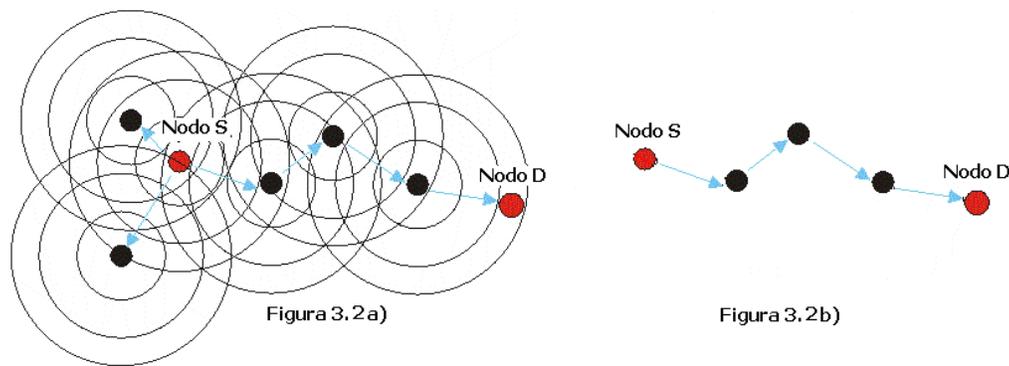


Figura 3.2 Inundación o flooding en una red Ad Hoc. a) transmisión del paquete P, ilustrando el radio de cobertura de cada nodo. b) Ruta descubierta por P para llegar a D después del flooding.

#### 3.2.4 Archivo de simulación .OUT

Cada vez que se ejecuta una simulación es importante guardar la salida o resultados como lo hemos estado haciendo con cada uno de los archivos creados, en este caso la forma de guardar la salida es la siguiente:

```
./ns sim1000x1000-302-1a.tcl > sim1000x1000-302-1a.out
```

Los nombres que se han estado proporcionando a las salidas o resultados pueden variar dependiendo del usuario, como se mencionó en los ejemplos anteriores, por cuestiones de practicidad en este ejemplo los nombres son muy similares lo único que cambia es la extensión (.tcl y .out), esto se hizo para evitar la confusión de las salidas debido a que se trabaja con muchos escenarios.

En el archivo .OUT se muestra de manera analítica el proceso que se lleva a cabo para el establecimiento de la comunicación, es decir, en él se pueden observar los mensajes de señalización y tiempos exactos que intervienen en todo el proceso. Desde que el nodo fuente (nodo 0) empieza a buscar al nodo destino (nodo 1) mediante el *flooding*, para establecer la comunicación, hasta que ésta es interrumpida.

A continuación se muestra sólo una pequeña parte de uno de los muchos archivos .OUT que se obtuvieron

```

Cargando archivo adicional de escenario
Loading scenario file...
Comenzando simulación...
NS EXITING...
num_nodes is set 202
( 2) - 0 sending Route Request, dst: 1 at 0.00000
( 4) - 0 sending Route Request, dst: 1, tout 1.800000 ms
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
1 - recvRequest: destination sending reply
sending Reply from 1 at 0.00245
14 - recvReply: received a REPLY at 0.08991
0 - recvReply: received a REPLY at 0.09502
handle_link_failure(10.137592): 0(1 5 14)
handle_link_failure(10.137592): 0 sending RERR...
sending Error from 0 at 10.13759
( 6) - 0 sending Route Request, dst: 1 at 10.16228
( 8) - 0 sending Route Request, dst: 1, tout 0.380090 ms
1 - recvRequest: destination sending reply
sending Reply from 1 at 10.16556
: calling drop()

```

Los eventos que más nos interesan en este segmento de código son:

Conocer el tiempo exacto en el que el nodo 0 (nodo fuente) encuentra al nodo 1 (nodo destino) por medio del flooding o inundación de la red, esto se puede ver en las líneas siguientes

```

1 - recvRequest: destination sending reply
sending Reply from 1 at 0.00245

```

El momento exacto en el que se establece la comunicación fuente-destino a través del nodo intermedio (en este caso el nodo intermedio es el nodo 14)

```

1 - recvRequest: destination sending reply
sending Reply from 1 at 0.00245
14 - recvReply: received a REPLY at 1.08991
0 - recvReply: received a REPLY at 1.09502

```

Y por último saber el tiempo exacto en el que la comunicación se pierde porque es interrumpida

```
handle_link_failure(10.137592): 0 (1 5 14)
handle_link_failure(10.137592): 0 sending RERR...
sending Error from 0 at 10.13759
```

Gracias al archivo .OUT se obtuvieron los diferentes tiempos en los que se lleva a cabo la comunicación, por lo tanto, se puede calcular el tiempo que ocupa la transmisión de un paquete entre el nodo fuente y destino así como también el tiempo promedio de conectividad en la red, estos cálculos se explicarán con más detalle en el capítulo 4.

Por otro lado, también es importante saber las posiciones en las que se encuentran los nodos dentro de la red en los tiempos mencionados, porque de esa forma se puede conocer la trayectoria completa de la comunicación. El archivo que proporciona ese tipo de información es el .NAM.

### 3.2.5 El animador de red NAM (*Network Animator*)

NAM (*Network Animator*) es una herramienta de animación basada en Tcl / TK para observar el comportamiento y la simulación de la red de manera gráfica, además aporta la información generada en tiempo real del intercambio de paquetes de datos.

Para utilizar el archivo NAM, es necesario que el archivo de trazado que se describió en los párrafos anteriores ya se encuentre listo, es decir, una vez que se genera el archivo de trazado se encuentra listo para ser animado por NAM. En el inicio, NAM leerá el archivo de trazado, creará una topología, abrirá una ventana, decidirá la disposición de nodos si es necesario y hará una pausa en el tiempo en el primer paquete indicado por el archivo de trazado. A través de su interfaz de usuario, NAM provee control sobre varios aspectos de la animación como se presenta a continuación en la figura 3.3.

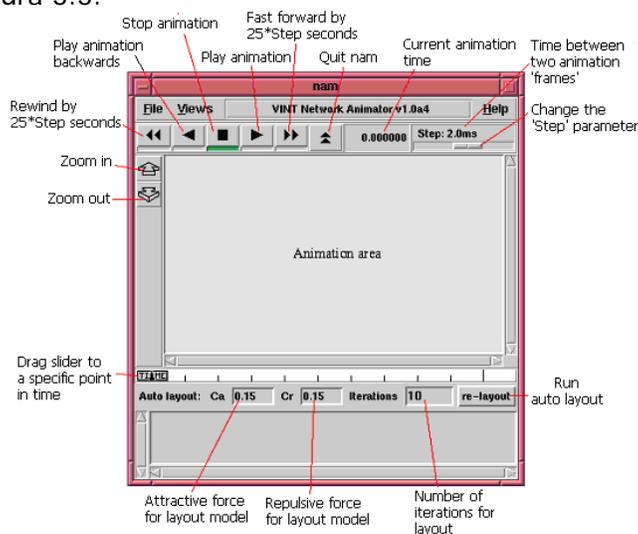


Figura 3.3 Pantalla NAM con explicación de cada una de sus herramientas.

Cada simulación genera un archivo .NAM, a continuación se muestran los comandos que se deben teclear dentro del NS-29 para ejecutar el programa de animación

```
./nam sim1000x1000-302-1a.nam
```

En seguida se muestran unas imágenes que se obtuvieron de capturar la ventana que despliega la interfaz gráfica del simulador durante la animación.

En la figura 3.4 se puede observar un escenario de 1000x1000[m] al inicio de la simulación, con una distribución de 302 nodos en la red. Los nodos que están en rojo son el nodo fuente (nodo 0) y el nodo destino (nodo 1) y entre ellos existe una distancia de 353.6 [m].

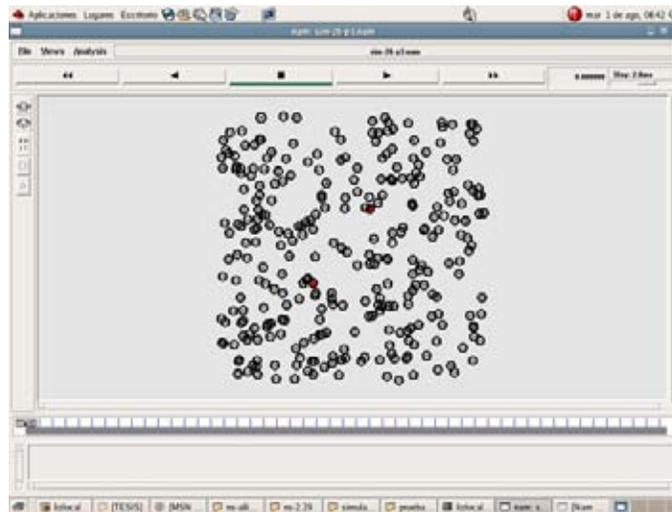


Figura 3.4 Escenario al inicio de la simulación.

El nodo fuente (nodo 0) envía una solicitud *Sending Route Request* a través de la red para localizar al nodo destino (nodo 1) como se muestra en la figura 3.5.

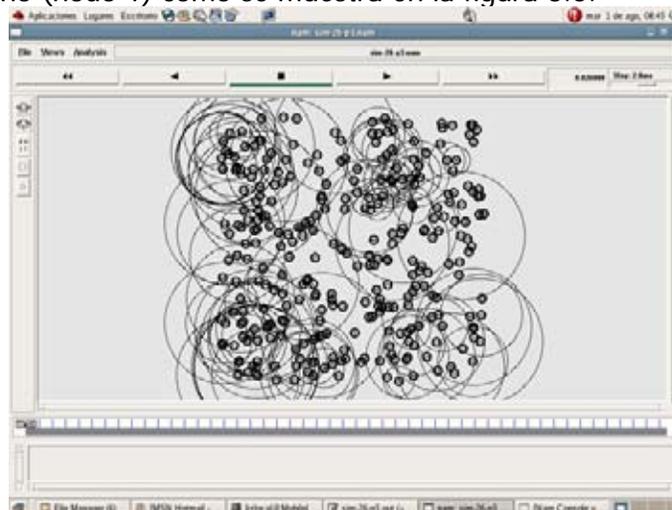
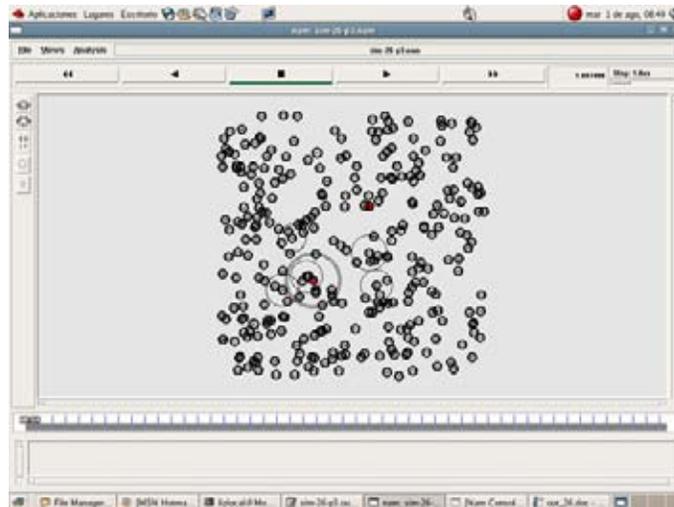


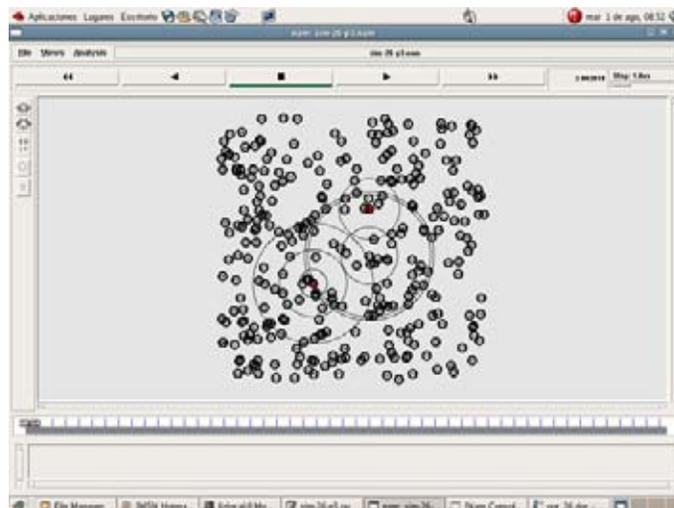
Figura 3.5 *Sending Route Request*.

Cuando el nodo destino (nodo 1) es encontrado por el nodo fuente (nodo 0), el nodo destino envía mensajes (Sending Reply) a través de la red utilizando la o las rutas que recibió del nodo fuente para decir que ya fue encontrado como se muestra en la figura 3.6.



*Figura 3.6 Sending Reply.*

Cuando el nodo fuente (nodo 0) recibe el Recv Reply como se muestra en la figura 3.7 inicia la transmisión de datos del nodo fuente al nodo destino.



*Figura 3.7 Recv Reply.*

En la figura 3.8 se muestra un aumento del escenario original para apreciar mejor la trayectoria que siguen los paquetes de información del nodo 0 al nodo 1 a través del nodo intermedio que en este caso es el que se muestra en color azul.

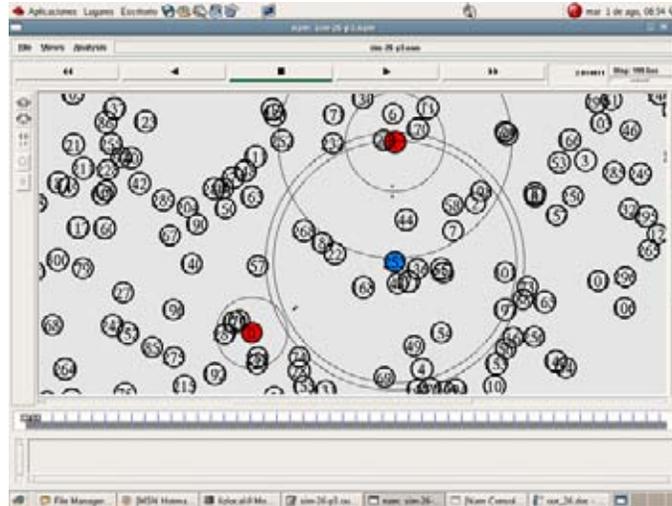


Figura 3.8 Transmisión de paquetes del nodo 0 al nodo 1 a través de un nodo intermedio.

Una vez que alguno de los nodos que intervienen en la comunicación se sale del radio de transmisión del enlace o existe alguna colisión que intervenga en la comunicación, es imposible seguir con la transmisión de datos, es decir, la conexión se rompe, *Link Failure*, como se muestra en la figura 3.9, en esta misma figura se puede ver un cuadro muy pequeño que está en el nodo intermedio (nodo azul), este cuadro significa que la información se está perdiendo por lo que ya no va a llegar a su destino.

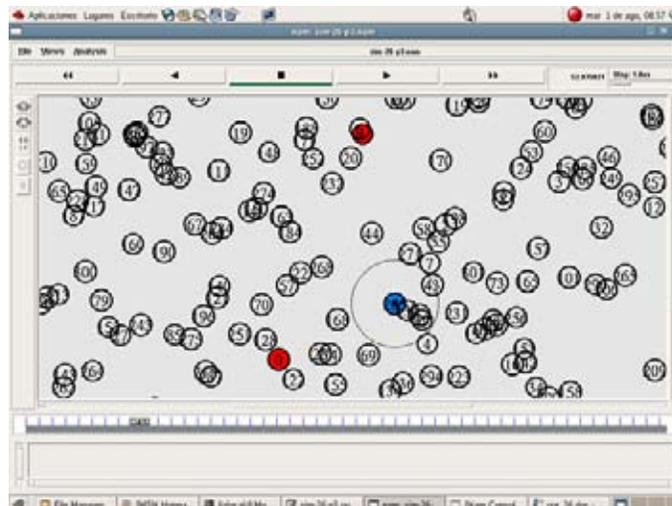


Figura 3.9 Link Failure.

# CAPÍTULO 4

## Análisis de movilidad en redes Ad Hoc

En este capítulo se realizó un análisis de movilidad en redes Ad Hoc o sin infraestructura, para cinco casos distintos, en donde sólo existió una comunicación en la red, que iba del nodo cero al nodo uno (enlace fuente-destino).

Los primeros cuatro casos constaron de 100 simulaciones y el quinto sólo de 60 en donde las primeras cuarenta simulaciones de los cuatro primeros casos tienen una ligera variante de las 60 restantes, debido a que en un principio se creyó que con 40 simulaciones de cada caso sería suficiente, pero al empezar con el análisis de los diferentes escenarios se concluyó que para tener una mejor aproximación a los resultados reales era conveniente realizar más simulaciones con una pequeña diferencia de las primeras que a continuación se muestra:

Las condiciones generales de los primeros cuarenta escenarios de cada caso fueron las siguientes:

- Tamaño de escenario: 750[m] x 750[m]
- Número de nodos: 100
- Velocidad de los nodos: 10[m/s]
- Tiempo de simulación: 60[s]
- Tipo de protocolo: AODV
- Nodo fuente ubicado en  $F_1(100,150)$
- Nodo destino ubicado en  $D_1(350,400)$

Las condiciones generales de los sesenta escenarios restantes de cada caso fueron las siguientes:

- Tamaño de escenario: 1000[m]x1000[m]
- Número de nodos: 302
- Velocidad de los nodos: 1[m/s]
- Tipo de simulación: 300[s]
- Tipo de protocolo: AODV
- Nodo fuente ubicado en  $F_2$  (350,370)
- Nodo destino ubicado en  $D_2$  (565,650)

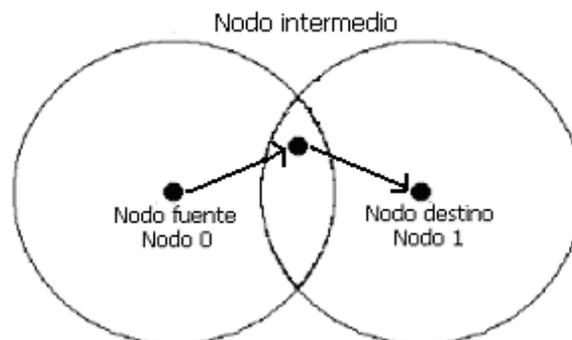
*Nota: Todos los parámetros utilizados en la fabricación de los escenarios ya fueron mencionados en el capítulo anterior por lo que aquí sólo se mencionan algunos*

#### 4.1 PRIMER CASO: Análisis de selección de un nodo intermedio en un enlace fuente destino en un escenario estático.

Las condiciones del escenario fueron las siguientes:

- Escenario estático
- Intervención de un sólo nodo intermedio

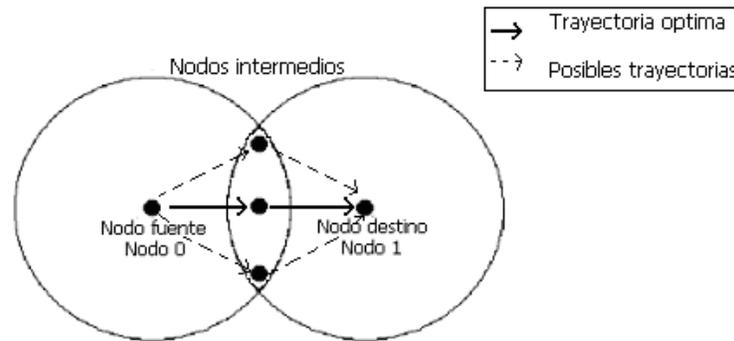
En este primer caso se analizó el procedimiento que el programa NS-29 (*Network Simulator*) utiliza, para seleccionar un nodo intermedio que ayude a la comunicación entre un nodo fuente y un nodo destino, como se muestra en la figura 4.1.



*Figura 4.1 Comunicación entre el nodo fuente y destino utilizando un nodo intermedio.*

Cuando el programa NS-29 distribuye de forma aleatoria los nodos que conforman la red, existe la posibilidad de que varios nodos sean candidatos a ser nodos intermedios, para eso, el programa debe seleccionar el más óptimo para la comunicación, esto quiere decir que el programa debe elegir el nodo intermedio en el que la trayectoria fuente-destino sea la más corta posible para que el tiempo de retardo sea también el menor.

En la figura 4.2 se puede apreciar claramente que existen tres nodos intermedios, cualquiera de los tres es capaz de establecer la comunicación entre el nodo fuente y destino, pero el nodo que ofrece la mejor trayectoria es justamente el que se encuentra en medio, porque la trayectoria entre el nodo fuente y destino es la menor, esto permite que la comunicación se establezca más rápido.

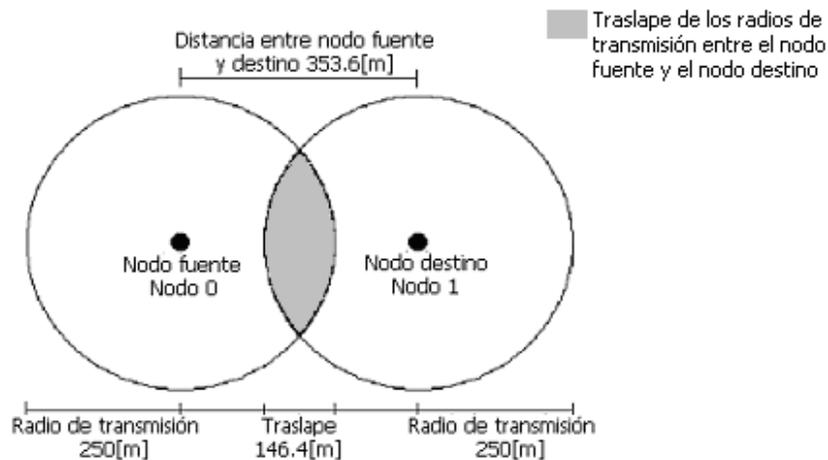


*Figura 4.2 Comunicación entre el nodo fuente y destino utilizando un nodo intermedio utilizando el mejor nodo intermedio.*

Para elegir el mejor nodo intermedio depende mucho del tipo de protocolo que se esté utilizando, para el caso de esta tesis en un principio se utilizó el protocolo DSR, pero debido a que en muchas ocasiones no seleccionaba al mejor de los nodos intermedios, se decidió cambiar de protocolo al AODV, ambos funcionamientos ya fueron explicados en el capítulo 2.

Para llevar a cabo este análisis se tomó en cuenta que el radio de transmisión de cada nodo dentro del NS-29 es de 250[m] (todos los nodos que se encuentran dentro del radio de transmisión tienen la capacidad de participar en la comunicación siempre y cuando sea necesaria su intervención) por lo que si se requiere que exista solamente un nodo intermedio que ayude a la comunicación del nodo cero –nodo fuente– al nodo uno –nodo destino– es necesario que la distancia que existe entre ambos nodos sea menor a 500[m] para que exista el traslape de los radios de transmisión del nodo fuente y destino.

En nuestro caso la distancia que hubo entre el nodo fuente y el nodo destino fue de 353.6 [m], se puede decir que este valor se tomó de forma arbitraria, lo único que se buscó fue que el traslape de los radios de transmisión no fuera muy pequeño para que la probabilidad de que el programa NS-29 colocara este tipo de nodos dentro del traslape (nodos intermedios) fuera aceptable, ya que mientras más reducido es el traslape la probabilidad de que hayan nodos intermedios es menor. En la figura 4.3 se puede observar el traslape del que se está hablando para que quede más clara la explicación.



*Figura 4.3 Traslape de los radios de transmisión del nodo fuente y destino con las acotaciones que se utilizaron.*

El principal objetivo de este primer caso fue demostrar que la distribución de los nodos dentro de la red es totalmente aleatoria y que el nodo intermedio seleccionado que participa en cada comunicación es también elegido de forma totalmente arbitraria, y esta forzosamente localizado dentro del traslape de los radios de transmisión.

Una vez utilizados los comandos que se explicaron en el capítulo tres y las especificaciones mencionados al inicio de este capítulo a continuación en la figura 4.4 a) y b) se muestran los resultados gráficos obtenidos con la ayuda de Matlab.

En ambas figuras, las circunferencias de mayor diámetro (250[m]) representan los radios de transmisión del nodo fuente y destino, para la figura 4.4 a) el nodo fuente se encuentra localizado en  $F_1(100,150)$  y el nodo destino en  $D_1(350,400)$  y para la figura 4.4 b) el nodo fuente y destino se encuentran localizados en  $F_2(350,370)$  y  $D_2(565,650)$  respectivamente. Las circunferencias de menor diámetro que se encuentran localizadas en el traslape de los radios de las figuras 4.4 a) y b) constituyen la ubicación de cada uno de los nodos intermedios utilizados para cada comunicación.

Las posiciones de estos nodos intermedios se obtuvieron con ayuda de los archivos .OUT y .NAM, gracias al archivo .OUT se pudo conocer el nodo que fue utilizado como intermedio en cada comunicación, una vez sabiendo esto, el archivo .NAM ayudó a obtener la posición exacta del nodo, para luego graficarla.

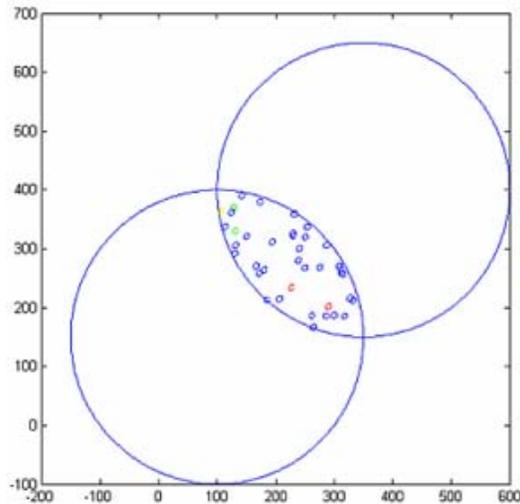


Figura 4.4 a)

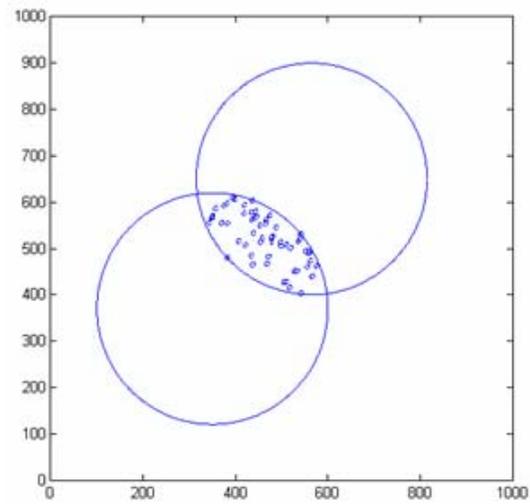


Figura 4.4 b)

Figura 4.4 Ubicación de los nodos intermedios utilizados en la comunicación del primer caso.  
Fig. 4.4 a) primeros 40 escenarios. Fig. 4.4 b) 60 escenarios restantes.

Con estos resultados podemos afirmar que el *NS-29* distribuye los nodos dentro del escenario de forma totalmente aleatoria y cuando el nodo 0 elige un nodo intermedio para la comunicación fuente-destino no sigue ningún patrón en específico, puesto que la distribución de los nodos intermedios que se muestra dentro de los radios de transmisión no se encuentra cargada hacia ningún lado.

## 4.2 Análisis del tiempo de permanencia del enlace

Una vez que la red tiene movilidad, la trayectoria que se utiliza para la comunicación es válida sólo por un determinado periodo de tiempo, ese tiempo durante el cual la red sigue comunicándose sin sufrir ninguna interrupción de ningún tipo es justamente el "*tiempo de permanencia del enlace*".

En las redes Ad Hoc o sin infraestructura, la comunicación se ve interrumpida justamente por la movilidad de la red, recordemos que este tipo de redes no cuenta con infraestructura y para que exista comunicación los nodos que intervienen en ella no deben salirse del radio de transmisión del enlace (radio de transmisión del nodo fuente y nodo destino), pero como los nodos se mueven de manera aleatoria, este *tiempo de permanencia de enlace* varía dependiendo de las situaciones de cada comunicación como el tamaño del escenario, la velocidad de los nodos, el número de nodos intermedios, entre otras cosas.

Por ejemplo, es más probable que una comunicación en la que intervienen varios nodos intermedios (muchos saltos) tenga un tiempo de permanencia de enlace más corto que una comunicación en la que sólo interviene un nodo intermedio, porque existe una probabilidad mayor de que alguno de los nodos que intervienen en el enlace donde existen muchos nodos

intermedios se salga del alcance de los demás (su correcto funcionamiento depende de muchas variables).

Es por eso que en esta tesis se han analizado cinco escenarios bajo diferentes condiciones cada uno, además de 100 simulaciones para cada caso excepto el quinto que sólo tuvo 60 simulaciones como se mencionó al inicio del capítulo, para tener una mejor aproximación del tiempo de permanencia de enlace y tratar de predecir el comportamiento de la red en cuanto a su tiempo de permanencia promedio.

Para conocer el tiempo de permanencia de enlace fue necesario realizar la diferencia entre el *Link Failure* y el *Recv Reply* (el tiempo en el que el enlace falla y el tiempo en el que el enlace se establece), proporcionados por el archivo .OUT.

### 4.3 SEGUNDO CASO: Escenario con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio dinámico.

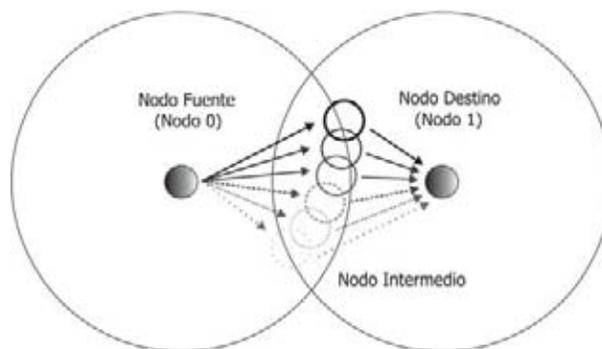


Figura 4.5 Escenario con nodo fuente y destino estático y un nodo intermedio dinámico.

En este segundo caso las condiciones del escenario para poder llevar a cabo el análisis de conectividad en la red fueron las siguientes:

- El nodo fuente –nodo 0– y el nodo destino –nodo 1– fueron estáticos y los demás nodos que conformaron la red fueron dinámicos.
- Sólo existió un nodo intermedio en el enlace fuente-destino.

Como podemos ver las condiciones fueron muy parecidas a las del caso 1, la diferencia es que en este caso el nodo fuente y destino son estáticos y los demás nodos que conforman la red son dinámicos incluyendo el nodo intermedio como se muestra en la figura 4.5.

## PRIMEROS 40 ESCENARIOS

A continuación se muestran en tablas los resultados obtenidos de los primeros cuarenta escenarios del caso 2, en ellas se observan el nodo intermedio utilizado en cada escenario, los tiempos en los que se establece e interrumpe su comunicación, así como la ubicación en esos tiempos y el tiempo de permanencia de cada escenario.

### Prueba 2 Escenarios (1-20)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
1	153	6.5025	6.5840 (275.83, 268.663)	32.4711 (134.791, 425.601)	25.8871
2	82	6.4732	6.5668 (66.62, 270.734)	18.7961 (272.275, 332.098)	12.2293
3	124	1.0020	1.0974 (286.368, 185.761)	8.422 (333.232, 243.126)	7.3246
4	3	6.500	6.5900 (150.647, 321.372)	26.8048 (282.16, 158.84)	20.2148
5	111	6.4313	6.5479 (240.839, 300.222)	14.3321 (214.514, 373.447)	7.7842
6	6	1.002545	1.09670 (312.31, 258.665)	12.0920 (245.158, 171.598)	10.9953
7	158	1.0065	1.0992 (254.212, 337.478)	2.6550 (269.501, 334.63)	1.5558
8	14	1.0041	1.0876 (229.454, 325.901)	4.3655 (252.872, 348.819)	3.2779
9	179	6.5028	6.5923 (131.328, 305.951)	15.7425 (148.241, 395.857)	9.1502
10	14	1.0024	1.095 (332.291, 212.514)	10.1375 (301.976, 297.669)	9.0425
11	163	2.8717	2.9576 (238.411, 280.147)	12.5247 (329.416, 250.839)	9.5671
12	10	11.9640	12.0398 (250.086, 267.948)	20.9651 (334.251, 238.421)	8.9253
13	173	6.4468	6.5402 (130.59, 292.227)	25.6864 (209.45, 374.056)	19.1462
14	137	1.0024	1.0922 (315.563, 257.281)	14.6392 (313.371, 152.345)	13.547
15	150	6.5014	6.5911 (250.417, 320.347)	12.8046 (305.938, 292.458)	6.2135
16	99	6.4584	6.5370 (193.947, 311.467)	18.1533 (307.877, 288.789)	11.6163
17	115	1.0022	1.0959 (127.974, 369.757)	4.1151 (136.033, 398.832)	3.0192
18	77	2.8179	2.9116 (173.97, 380.034)	3.8074 (176.516, 388.617)	0.8958
19	146	6.5013	6.5992 (180.585, 264.233)	19.4566 (165.381, 391.814)	12.8574
20	16	6.4820	6.5784 (289.927, 201.702)	12.4321 (334.928, 239.041)	5.8537

Tabla 4.1 Escenarios del 1-20 del segundo caso.

Con los primeros 20 escenarios de este segundo caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de Permanencia Promedio = **9.95516**
- Desviación Estándar Recv Reply = **3.1271**
- Desviación Estándar Link Failure = **8.0697**
- Desviación Estándar Tiempo de permanencia = **6.3427**

Los resultados obtenidos de los escenarios de la tabla 4.1 se muestran en la figura 4.6, donde nuevamente las circunferencias de mayor diámetro son los radios de transmisión del nodo fuente y destino, las circunferencias de menor diámetro son los nodos intermedios que participaron en la comunicación con la ubicación exacta de cuando empieza la comunicación y cuando ésta se rompe, las líneas de cada uno de los nodos intermedios muestran las trayectorias que siguieron cada uno de ellos, recordemos que en este caso los nodos fuente y destino son estáticos y los demás nodos son dinámicos

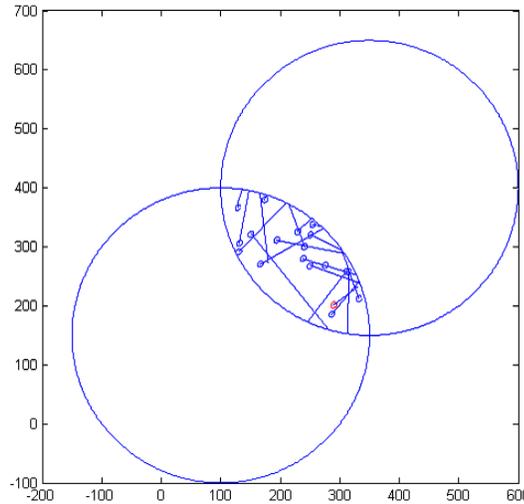


Figura 4.6 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 1-20 del segundo caso.

En la misma figura 4.6, es más sencillo visualizar que efectivamente, el tiempo de permanencia de enlace es diferente para cada escenario, pues existen unas trayectorias muy cortas y unas muy largas, lo que significa que el tiempo de permanencia de enlace a veces es pequeño y otras veces es más duradero.

En la tabla 4.2 se encuentran los resultados de los escenarios del 21-40

## Prueba 2 Escenarios (21-40)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINKNFAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
21	136	1.00302	1.09569 (113.698, 337.854)	17.1478 (274.035, 330.975)	16.05211
22	131	2.81489	2.91193 (206.539, 214.697)	17.7867 (236.074, 360.392)	14.87477
23	57	6.50491	6.58871 (261.466, 186.347)	28.4680 (282.921, 320.848)	21.87929
24	12	1.00020	1.00321 (125.356, 345.678)	16.2456 (564.231, 678.421)	15.24239
25	89	1.00324	1.10067 (185.068, 213.485)	15.63125 (789.452, 456.248)	14.53058
26	27	2.90803	2.99924 (124.625, 361.527)	6.8729 (135.933, 398.576)	3.87366
27	158	2.82311	2.91505 (287.226, 306.519)	15.5204 (346.195, 195.101)	12.60535
28	96	1.0022	1.09902 (106.187, 364.394)	15.5133 (249.585, 350.627)	14.41428
29	41	6.49990	6.59061 (131.333, 330.606)	15.1435 (112.507, 354.663)	8.55289
30	75	1.00229	1.09929 (232.016, 359.467)	1.4475 (235.176, 360.925)	0.34821
31	40	1.00212	1.09447 (311.315, 265.377)	19.6819 (126.706, 286.58)	18.58743
32	26	1.0031	1.1058 (171.979, 258.216)	4.0153 (165.904, 229.762)	2.9095
33	148	2.86151	2.95065 (300.225, 186.869)	6.2105 (287.297, 156.942)	3.25985
34	151	6.50364	6.58896 (226.635, 234.027)	19.5818 (347.792, 187.162)	12.99284
35	110	1.00521	1.10360 (317.876, 185.508)	15.2070 (180.233, 215.922)	14.1034
36	90	1.00380	1.09865 (142.239, 389.973)	1.8511 (144.465, 397.156)	0.75245
37	61	1.00213	1.09670 (327.058, 215.942)	2.9025 (337.131, 230.912)	1.8058
38	16	2.85256	2.94268 (264.526, 166.632)	12.3119 (340.713, 221.172)	9.36922
39	86	2.90974	2.99904 (308.738, 270.596)	4.19489 (312.9, 281.804)	1.19585
40	90	1.00217	1.09385 (230.316, 321.906)	6.8197 (287.315, 316.404)	5.72585

Tabla 4.2 Escenarios del 21-40 del segundo caso.

Con los escenarios del 21-40 de este segundo caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de Permanencia Promedio = **8.8916665**
- Desviación Estándar Recv Reply = **1.9860**
- Desviación Estándar Link Failure = **7.5061**
- Desviación Estándar Tiempo de permanencia = **6.7387**

En la figura 4.7 se pueden apreciar las diferentes trayectorias que cada uno de los nodos intermedios siguieron en la comunicación

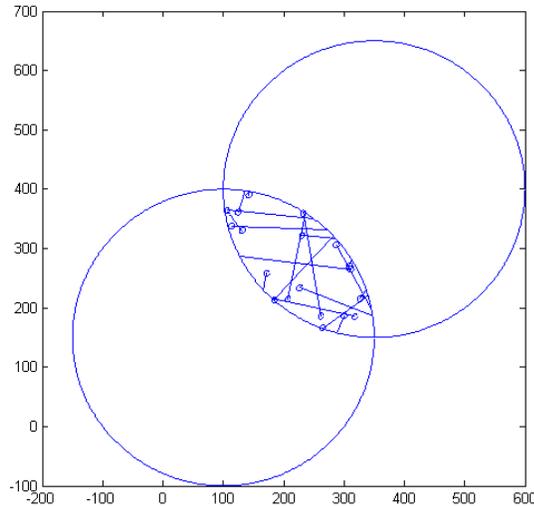


Figura 4.7 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 21-40 del segundo caso.

### RESULTADOS FINALES CASO 2, ESCENARIOS DEL 1- 40

Realizando una recopilación de los cuarenta escenarios puntos tenemos los siguientes resultados

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **9.66503923**
- DESVIACIÓN TOTAL ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA = **6.4588**

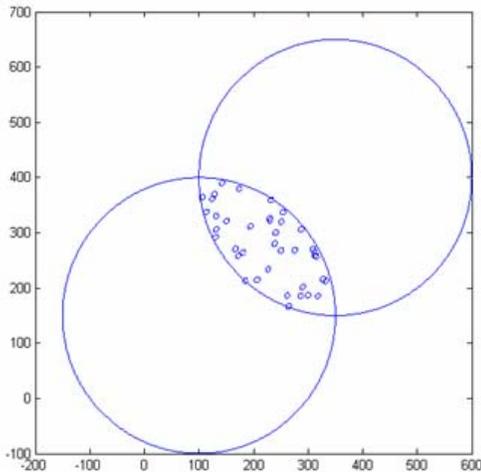


Figura 4.8 a)

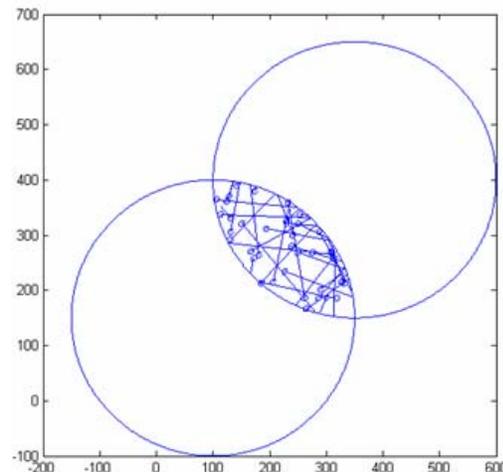


Figura 4.8 b)

Figura 4.8 a) Distribución de los primeros cuarenta nodos intermedios en el traslape de los radios de transmisión del segundo caso. Figura 4.8 b) Distribución de los mismos primeros cuarenta nodos intermedios junto con la trayectoria que siguieron todos y cada uno de ellos del segundo caso.

## 60 ESCENARIOS RESTANTES

Estos escenarios presentan una ligera variante en cuanto a su elaboración de los primeros cuarenta como se especificó al inicio del capítulo.

### Prueba 2-1 Escenarios (41-60)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
41	145	0.00766	0.11531 (437.182, 465.347)	128.8096 (556.91,510.489)	128.69429
42	194	0.00229	0.11852 (541.8, 403.818)	4.6839 (545.17, 400.735)	4.56538
43	275	0.00501	0.10787 (505.108, 428)	20.5031 (497.127, 409.235)	20.39523
44	269	30.10278	30.21468 (517.281, 415.84)	131.3097 (558.396,508.167)	101.09502
45	148	0.00768	0.11188 (452.677, 549.949)	117.0873 (560.549,504.961)	116.97542
46	81	0.00684	0.11647 (369.535, 555.357)	220.0126 (445.735,601.004)	219.89613
47	137	0.00302	0.11771 (468.25, 467.428)	128.4049 (459.736, 594.67)	128.28719
48	185	0.00199	0.10922 (499.817, 505.512)	123.0798 (593.532,426.666)	122.97058
49	54	0.00312	0.10773 (519.628, 500.567)	111.0960 (565.947, 399.89)	110.98827
50	252	0.00207	0.10760 (434.969, 562.594)	40.8279 (460.155, 594.56)	40.7203
51	159	0.00195	0.10468 (418.702, 576.074)	75.7442 (357.124, 619.984)	75.63952
52	62	0.00507	0.10923 (467.715, 563.801)	165.220 (512.806, 405.384)	165.11117
53	110	5.44975	5.56051 (559.792, 490.077)	49.7290 (585.452, 454.166)	44.16849
54	38	0.00207	0.11315 (457.574, 522.9)	84.6131 (393.187, 468.255)	84.49995
55	251	5.50584	5.61274 (348.61, 566.155)	244.5732 (572.744, 483.64)	238.96046
56	109	0.00221	0.11414 (527.313, 451.433)	64.3238 (559.021, 507.239)	64.20966
57	259	0.00219	0.11088 (480.364, 525.093)	195.211 (315.768, 630.059)	195.10022
58	116	1.84814	1.95599 (398.896, 605.913)	12.4410 (395.72, 615.894)	10.48501
59	296	1.81102	1.92057 (560.173, 494.871)	7.8590 (565.946, 496.255)	5.93843
60	106	1.81073	1.91254 (575.051, 462.214)	287.8135 (321.3, 593.939)	285.90096

Tabla 4.3 Escenarios del 41-60 del segundo caso.

Con los escenarios del 41-60 de este segundo caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **108.230084**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **80.7157**

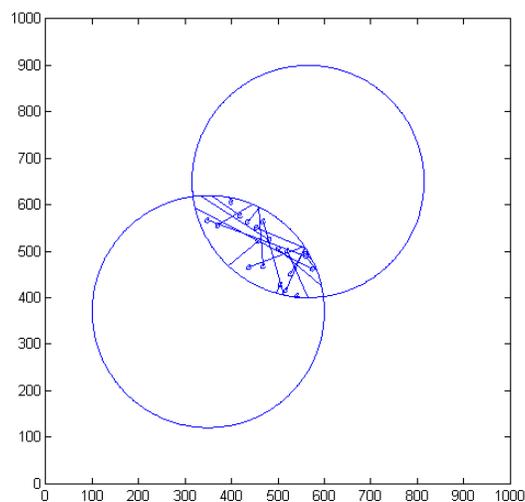


Figura 4.9 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 41-60 del segundo caso.

**Prueba 2-1 Escenarios (61-80)**

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
61	43	33.87253	33.97219 (540.382, 521.855)	262.7797 (322.175, 590.184)	228.80751
62	121	28.20771	28.31970 (454.69, 514.384)	105.3161 (421.99, 444.76)	76.9964
63	3	0.00331	0.11052 (332.361, 535.451)	73.6668 (325.837, 618.902)	73.55628
64	172	10.99849	11.10213 (435.491, 578.279)	213.2517 (583.021, 440.048)	202.14957
65	217	0.00371	0.11345 (382.343, 480.311)	134.1475 (496.136, 409.626)	134.03405
66	253	1.89749	2.00684 (562.645, 473.774)	75.9778 (562.041, 399.878)	73.97096
67	243	1.85138	1.96192 (536.266, 515.229)	16.2917 (544.837, 526.719)	14.32978
68	235	0.00371	0.10743 (444.438, 568.366)	87.8448 (372.761, 619.046)	87.73737
69	221	1.82258	1.93034 (556.371, 460.567)	30.6540 (572.297, 484.49)	28.72366
70	168	0.00217	0.11217 (488.31, 546.051)	40.7733 (477.346, 585.215)	40.66113
71	177	1.87933	1.98350 (440.154, 564.98)	102.1273 (370.002, 493.446)	100.1438
72	191	1.83308	1.93779 (471.517, 482.716)	201.0952 (326.326, 618.941)	199.15741
73	208	28.29859	28.41142 (479.357, 513.452)	88.0854 (525.115, 537.525)	59.67398
74	172	0.00391	0.11200 (434.718, 484.259)	150.2718 (558.872, 400.026)	150.1598
75	160	1.83394	1.93861 (369.981, 536.774)	225.3049 (546.993, 400.594)	223.36629
76	299	0.00399	0.11117 (439.582, 533.526)	109.2976 (372.301, 619.069)	109.18643
77	160	1.82543	1.92764 (407.451, 516.11)	45.9422 (379.592, 482.106)	44.01456
78	96	5.50286	5.60830 (541.758, 530.122)	6.2344 (541.544, 530.709)	0.6261
79	101	0.00224	0.10859 (375.144, 592.97)	42.7472 (413.136, 611.994)	42.63861
80	157	0.00207	0.11501 (349.476, 566.44)	22.3496 (336.374, 548.738)	22.23459

Tabla 4.4 Escenarios del 61-80 del segundo caso.

Con los escenarios del 61-80 de este segundo caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **95.608414**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **71.6060**

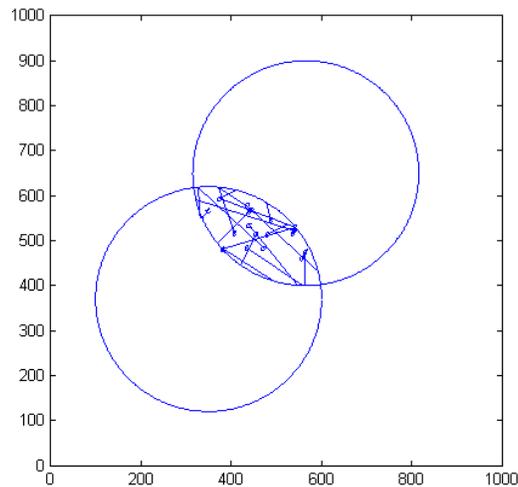


Figura 4.10 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 61-80 del segundo caso.

**Prueba 2-1 Escenarios (81-100)**

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
81	95	0.00214	0.10808 (552.33, 494.347)	12.8878 (562.678, 501.671)	12.77972
82	265	0.00214	0.11563 (394.417, 609.343)	10.9392 (387.099, 617.314)	10.82357
83	170	1.80990	1.91811 (443.869, 579.535)	117.4076 (376.095, 486.145)	115.48949
84	25	0.00207	0.10549 (382.474, 554.203)	49.3652 (356.031, 512.628)	49.25971
85	68	0.00203	0.10439 (465.744, 553.898)	115.2229 (565.617, 496.598)	115.11851
86	241	0.00203	0.10842 (476.909, 523.483)	84.9290 (559.902, 505.901)	84.82058

87	87	0.00616	0.11509 (532.525, 450.893)	62.1096 (591.925, 433.289)	61.99451
88	46	1.87197	1.97538 (343.761, 555.605)	25.0386 (344.286, 532.528)	23.06322
89	209	33.67689	33.78365 (466.209, 561.675)	189.4159 (318.25, 609.448)	155.63225
90	151	1.83237	1.93468 (510.285, 427.022)	83.4291 (578.653, 471.475)	81.49442
91	183	1.81053	1.92125 (474.655, 571.635)	207.1096 (588.716, 401.058)	205.18835
92	30	0.00388	0.10996 (382.196, 598.08)	30.5189 (408.649, 613.058)	30.40894
93	28	0.00219	0.10989 (508.914, 508.653)	40.8054 (547.01, 525.558)	40.69551
94	188	28.30572	28.41539 (497.665, 513.572)	86.2237 (523.517, 603.273)	57.80831
95	268	0.00430	0.11178 (357.564, 586.204)	114.0321 (385.616, 475.804)	113.92032
96	164	10.97345	11.08183 (422.077, 507.319)	65.0054 (369.994, 493.374)	53.92357
97	102	0.00787	0.11255 (437.407, 603.628)	179.5397 (573.037, 499.182)	179.42715
98	252	1.84145	1.94821 (350.797, 569.505)	25.7443 (327.185, 572.64)	23.79609
99	143	0.00224	0.10755 (566.158, 439.799)	133.9112 (432.373, 438.014)	133.80365
100	14	5.41386	5.52316 (419.825, 593.706)	62.1335 (475.934, 586.032)	56.61034

Tabla 4.5 Escenarios del 81-100 del segundo caso.

Con los escenarios del 81-100 de este segundo caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **80.3029105**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **56.4463**

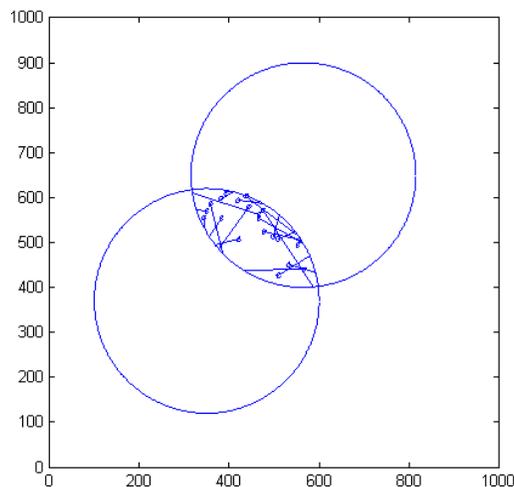


Figura 4.11 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 81-100 del segundo caso.

### RESULTADOS FINALES CASO 2-1, ESCENARIOS DEL 41- 100

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **94.71380283**
- DESVIACIÓN TOTAL ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA = **70.0565**

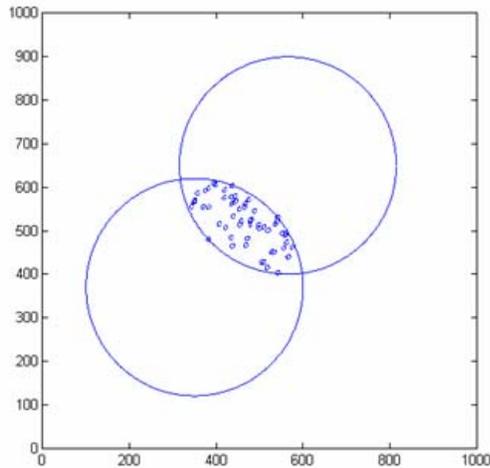


Figura 4.12 a)

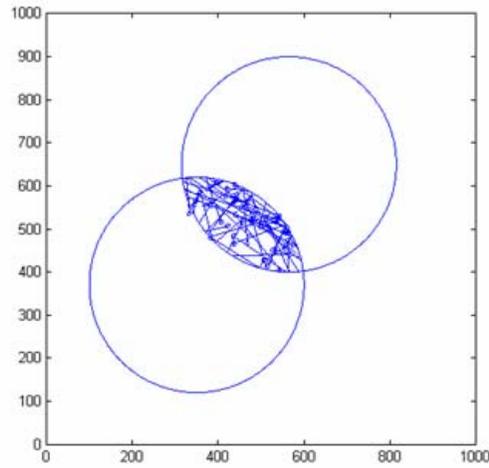


Figura 4.12 b)

Figura 4.12 a) Distribución de los sesenta nodos intermedios restantes en el traslape de los radios de transmisión del segundo caso. Figura 4.12 b) Distribución de los mismos sesenta nodos intermedios restantes junto con la trayectoria que siguieron todos y cada uno de ellos del segundo caso.

### 4.3 TERCER CASO: Escenario dinámico con un nodo intermedio

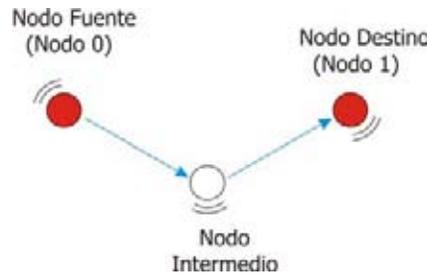


Figura 4.13 Escenario dinámico con un nodo intermedio.

### PRIMEROS 40 ESCENARIOS

#### Prueba 3 Escenarios (1-20)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
1	99	0.00767	0.10654 (143.423, 349.948)	22.5207 (356.772, 232.466)	22.41416
2	109	1.82355	1.91908 (159.443, 304.416)	10.9076 (246.846, 283.73)	8.98852
3	68	1.82694	1.90577 (297.51, 269.673)	9.8470 (362.116, 315.714)	7.94123
4	102	0.00227	0.10020 (271.06, 281.538)	6.3979 (210.02, 266.118)	6.2977
5	112	0.01544	0.10203 (260.25, 197.459)	20.4470 (271.516, 400.478)	20.34497
6	91	0.00324	0.10002 (122.559, 385.481)	32.6021 (439.348, 451.295)	32.50208
7	198	0.00514	0.10425 (225.405, 206.197)	39.2006 (276.701, 229.949)	39.09635
8	147	5.50255	5.59859 (233.995, 271.525)	39.04507 (458.433, 118.745)	33.44648
9	72	0.00212	0.09877 (252.198, 345.349)	8.97146 (171.622, 382.499)	8.87269
10	159	0.00617	0.09589 (225.561, 359.941)	0.84715 (232.683, 362.314)	0.75126

11	34	0.00350	0.09151 (218.848, 217.753)	25.5650 (361.457, 428.527)	25.47349
12	103	1.82811	1.92291 (290.583, 317.934)	14.7846 (305.311, 445.65)	12.86169
13	126	0.00217	0.09602 (316.965, 170.889)	1.3316 (305.419, 166.488)	1.23558
14	10	1.91468	2.01101 (327.84, 218.005)	6.8877 (346.503, 263.027)	4.87669
15	179	1.84586	1.93701 (328.198, 176.414)	19.8964 (258.042, 341.551)	17.95939
16	113	0.00223	0.09641 (131.098, 382.698)	21.9360 (305.739, 273.876)	21.83959
17	12	5.42242	5.51202 (256.839, 252.887)	11.8181 (319.886, 253.447)	6.30608
18	7	0.00217	0.09951 (184.576, 330.374)	8.02806 (172.761, 251.968)	7.92855
19	96	1.90563	1.99765 (172.266, 263.288)	4.3602 (195.826, 261.647)	2.36255
20	169	0.00212	0.09590 (190.212, 381.681)	45.8033 (386.729, 235.626)	45.7074

Tabla 4.6 Escenarios del 1-20 del tercer caso.

Con los escenarios del 1-20 de este tercer caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **16.3603225**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **13.3101**

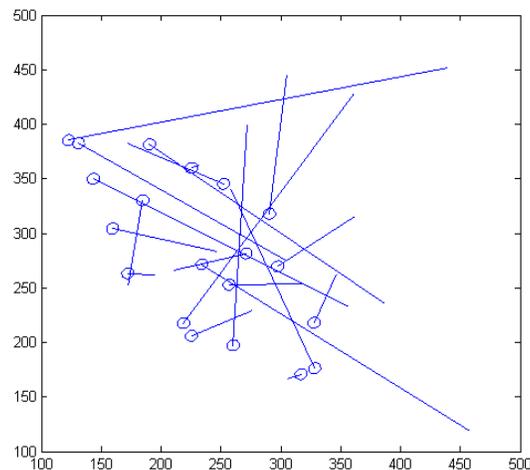


Figura 4.14 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 1-20 del tercer caso.

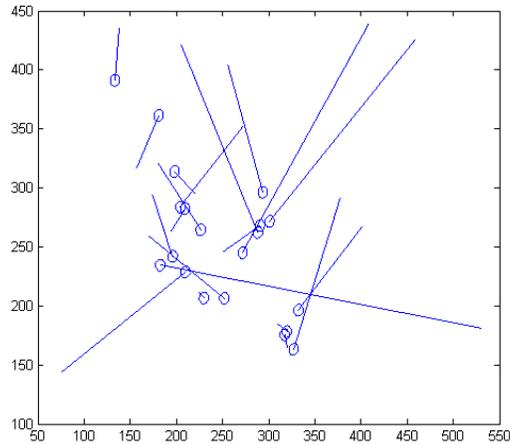
### Prueba 3 Escenarios (21-40)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
21	28	0.00431	0.09472 (209.82, 228.721)	16.0382 (75.3085, 143.342)	15.94348
22	172	1.00399	1.09290 (133.366, 391.251)	5.60345 (138.139, 436.081)	4.5105
23	9	0.00245	0.09146 (332.112, 196.387)	30.2698 (401.406, 268.097)	30.17834
24	140	0.00496	0.09708 (271.911, 245.17)	23.5193 (408.59, 439.718)	23.42222
25	47	0.00466	0.10575 (182.612, 234.498)	35.4047 (531.34, 181.454)	35.29895
26	58	1.82914	1.92142 (319.66, 178.327)	3.2309 (308.5, 185.173)	1.30948
27	97	0.00951	0.10337 (204.284, 283.866)	9.8549 (272.847, 353.161)	9.75153
28	67	1.81140	1.90127 (229.852, 206.659)	2.78214 (223.118, 212.336)	0.88083
29	42	1.80750	1.9035 (290.611, 268.095)	6.5495 (250.239, 245.384)	4.646
30	124	0.00223	0.09289 (326.969, 163.179)	13.95657 (377.735, 292.119)	13.86361
31	145	0.00308	0.09050 (300.953, 271.583)	22.2133 (459.094, 426.12)	22.1228
32	123	0.00607	0.10001 (317.371, 175.572)	1.2809 (320.54, 164.198)	1.18089
33	141	0.00727	0.10447 (251.84, 206.498)	9.8837 (169.812, 259.666)	9.77923
34	123	0.00808	0.09026 (288.338, 262.431)	18.0971 (204.929, 421.946)	18.00684
35	42	1.00219	1.10099 (226.45, 264.423)	8.9482 (179.319, 321.367)	7.84721
36	69	0.00217	0.09625 (180.9, 361.295)	5.2366 (156.512, 316.067)	5.14035
37	196	5.46973	5.55881 (198.059, 313.813)	8.5791 (221.403, 294.66)	3.02029
38	91	0.00516	0.10558 (196.099, 241.987)	5.8832 (173.421, 295.071)	5.77762
39	43	1.80908	1.90206 (209.326, 282.34)	4.4215 (193.506, 262.75)	2.51944
40	72	0.00245	0.09171 (293.612, 296.419)	11.6020 (256.026, 405.136)	11.51029

Tabla 4.7 Escenarios del 21-40 del tercer caso.

Con los escenarios del 21-40 de este tercer caso se calculó lo siguiente

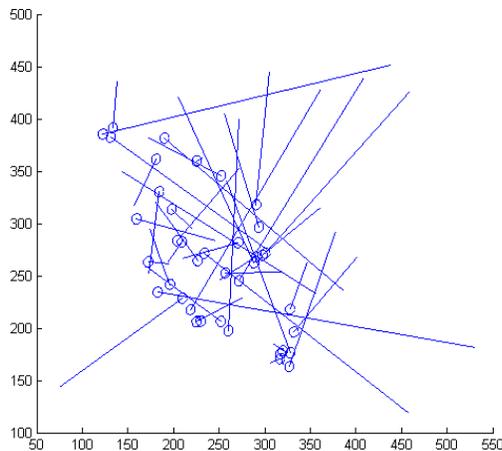
- Tiempo de permanencia promedio = **11.335495**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **10.0037**



*Figura 4.15 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios 21-40 del tercer caso.*

### RESULTADOS FINALES CASO 3, ESCENARIOS DEL 1- 40

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **13.8479088**
- DESVIACIÓN TOTAL ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA = **11.8969**



*Figura 4.16 Trayectorias de los nodos intermedios de los primeros cuarenta escenarios del tercer caso.*

## 60 ESCENARIOS RESTANTES

### Prueba 3-1 Escenarios (41-60)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
41	145	0.00766	0.11531 (437.182, 65.347)	218.5778 (558.997, 89.111)	218.46249
42	265	28.24429	28.35107 (510.397, 406.12)	207.0856 (381.086, 286.748)	178.73453
43	79	0.00401	0.11059 (573.409, 467.098)	15.6786 (585.891, 457.771)	15.56801
44	46	5.50863	5.61773 (483.944, 495.348)	144.5966 (616.4, 456.621)	138.97887
45	29	1.82549	1.94135 (451.635, 432.195)	27.7744 (471.259, 415.408)	25.83305
46	81	0.00684	0.11647 (369.535, 555.357)	111.7127 (477.376, 527.686)	111.59623
47	137	0.00302	0.11771 (468.25, 467.428)	59.6594 (464.299, 526.485)	59.54169
48	185	0.00199	0.10924 (499.817, 505.512)	58.2180 (544.101, 468.254)	58.10876
49	54	0.00312	0.10773 (519.628, 500.567)	288.4530 (639.962, 239.011)	288.34527
50	172	0.00391	0.11200 (434.718, 484.259)	48.4581 (474.691, 457.139)	48.3461
51	159	0.00195	0.10468 (418.702, 576.074)	149.4404 (297.129, 662.765)	149.33572
52	62	0.00507	0.10923 (467.715, 563.801)	125.0441 (501.834, 443.932)	124.93487
53	29	1.82549	1.94135 (451.635, 432.195)	27.7744 (471.259, 415.408)	25.83305
54	178	0.00993	0.11422 (328.502, 570.994)	134.5927 (260.604, 454.778)	134.47848
55	13	1.89822	2.00260 (501.435, 474.353)	39.6012 (482.055, 442.17)	37.5986
56	109	0.00221	0.11414 (527.313, 451.433)	285.5625 (668.271, 699.524)	285.44836
57	259	0.00219	0.11088 (480.364, 525.093)	222.5433 (292.71, 644.764)	222.43242
58	192	5.50639	5.61271 (538.507, 451.743)	54.6420 (506.018, 488.412)	49.02929
59	192	28.26989	28.37895 (515.411, 380.028)	286.9514 (267.229, 453.394)	258.57245
60	176	1.82653	1.93672 (498.54, 564.994)	24.3230 (520.46, 560.396)	22.38628

Tabla 4.8 Escenarios del 41-60 del tercer caso.

Con los escenarios del 41-60 de este tercer caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **122.678226**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **92.4949**

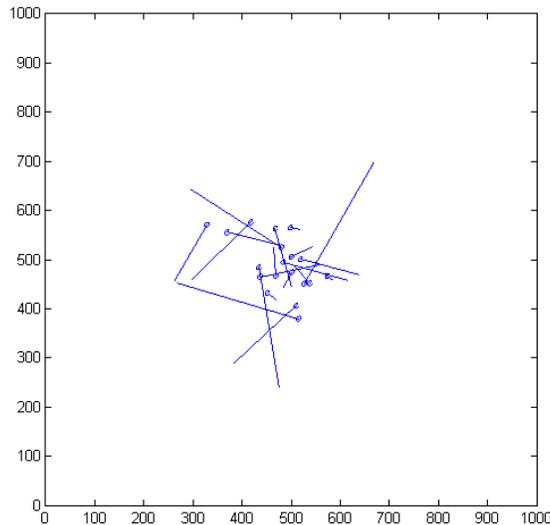


Figura 4.17 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 41-60 del tercer caso.

### Prueba 3-1 Escenarios (61-80)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
61	172	0.00391	0.11200 (434.718, 484.259)	48.4581 (474.691, 457.139)	48.3461
62	207	30.10586	30.20929 (561.219, 404.227)	37.5301 (564.007, 410.992)	7.32081
63	70	1.81489	1.91485 (530.18, 457.71)	66.5104 (563.884, 512.841)	64.59555
64	43	30.17564	30.28019 (477.549, 459.557)	67.5058 (458.905, 491.809)	37.22561
65	178	5.50356	5.60802 (458.348, 489.019)	61.7842 (415.266, 534.104)	56.17618
66	253	1.89749	2.00201 (562.645, 473.779)	52.9750 (562.229, 422.857)	50.97299
67	243	1.85144	1.95509 (536.262, 515.224)	120.6910 (607.283, 610.43)	118.73591
68	133	1.85554	1.95462 (587.322, 403.082)	22.2311 (595.09, 384.364)	20.27648
69	209	1.88380	1.98490 (496.44, 551.915)	84.0110 (418.458, 577.093)	82.0261
70	168	0.00217	0.11217 (488.31, 546.051)	275.4019 (613.707, 500.251)	275.28973
71	67	28.25699	28.36129 (445.858, 628.149)	83.9888 (409.367, 586.213)	55.62751
72	38	0.00207	0.11315 (457.574, 522.9)	78.1659 (389.274, 450.477)	78.05275
73	179	1.83371	1.93565 (543.051, 468.491)	267.45738 (310.257, 590.93)	265.52173
74	217	0.00371	0.11343 (382.343, 480.311)	1.7990 (383.774, 479.422)	1.68557
75	268	0.00430	0.11178 (357.564, 586.204)	199.2868 (406.61, 393.184)	199.17502
76	299	0.00399	0.11117 (439.582, 533.526)	45.0813 (411.872, 568.758)	44.97013
77	132	5.44738	5.55669 (359.367, 606.338)	164.2809 (201.611, 599.143)	158.72421
78	102	1.85936	1.97019 (569.982, 477.5)	4.2619 (572.239, 477.262)	2.29171
79	101	0.00224	0.10859 (375.144, 592.97)	28.7610 (400.674, 605.754)	28.65241
80	157	0.00207	0.11501 (349.476, 566.44)	14.0750 (341.25, 555.325)	13.95999

Tabla 4.9 Escenarios del 61-80 del tercer caso.

Con los escenarios del 61-80 de este tercer caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **80.4813245**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **82.3277**

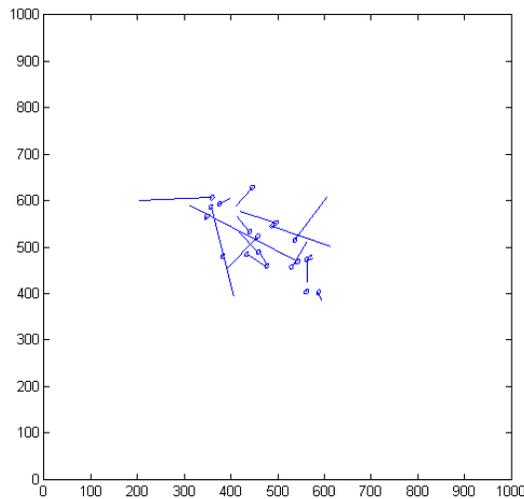


Figura 4.18 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 61-80 del tercer caso.

### Prueba 3-1 Escenarios (81-100)

ESCENARIO	NODO INTERMEDIO	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
81	95	0.00214	0.10808 (552.33, 494.347)	7.0650 (557.963, 498.334)	6.95692
82	234	5.51566	5.61616 (372.153, 573.512)	45.2494 (410.832, 582.154)	39.63324
83	262	1.84940	1.95593 (583.666, 445.451)	135.3799 (691.992, 522.723)	133.42397
84	25	0.00207	0.10549 (382.474, 554.203)	48.8874 (356.288, 513.031)	48.78191
85	68	0.00203	0.10439 (645.744, 553.898)	97.9881 (550.664, 505.176)	97.88371

86	241	0.00203	0.10842	(476.81, 523.504)	62.6089	(537.159, 510.72)	62.50048
87	265	0.00214	0.11563	(394.417, 609.343)	91.7516	(332.468, 676.827)	91.63597
88	193	5.50226	5.61287	(418.639, 580.375)	40.3389	(419.668, 615.072)	34.72603
89	209	1.88380	1.98490	(498.199, 551.347)	84.0110	(420.217, 576.525)	82.0261
90	24	0.00212	0.11403	(410.292, 610.358)	18.0195	(427.148, 604.295)	17.90547
91	257	1.81080	1.91607	(475.56, 519.934)	229.7276	(350.999, 467.063)	227.81153
92	30	0.00388	0.10996	(382.196, 598.08)	207.9272	(563.283, 700.44)	207.81724
93	28	0.00219	0.10989	(508.914, 508.653)	216.6051	(619.626, 622.841)	216.49521
94	123	0.00941	0.10297	(432.71, 594.057)	200.0294	(449.713, 395.028)	199.92643
95	126	0.01214	0.11090	(452.343, 444.458)	291.5325	(634.862, 617.47)	291.4216
96	165	0.00397	0.11060	(472.119, 558.908)	132.1585	(598.49, 596.887)	132.0479
97	151	1.83460	1.93665	(510.201, 426.967)	65.8424	(563.899, 461.882)	63.90575
98	175	1.92771	2.02852	(489.514, 512.139)	106.2594	(415.432, 585.291)	104.23088
99	3	1.84803	1.95507	(414.469, 611.597)	52.0650	(375.28, 580.387)	50.10993
100	14	1.81547	1.91785	(415.03, 594.362)	157.3496	(569.084, 573.292)	155.43175

Tabla 4.10 Escenarios del 81-100 del tercer caso.

Con los escenarios del 81-100 de este tercer caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **113.233601**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **79.9379**

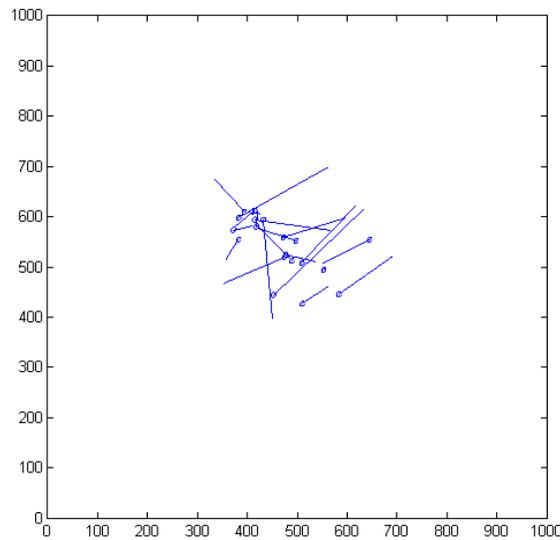


Figura 4.19 Trayectorias de los nodos intermedios de los escenarios del 81-100 del tercer caso.

### RESULTADOS FINALES CASO 3-1, ESCENARIOS DEL 41- 100

- TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO TOTAL = **105.4643838**
- DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO TOTAL = **5.6043**

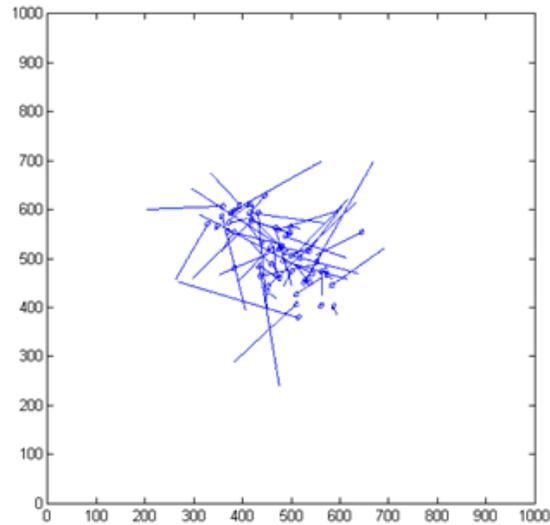


Figura 4.20 Trayectorias de los nodos intermedios de los sesenta últimos escenarios del tercer caso.

#### 4.5 CUARTO CASO: Escenario dinámico con tres o cuatro nodos intermedios

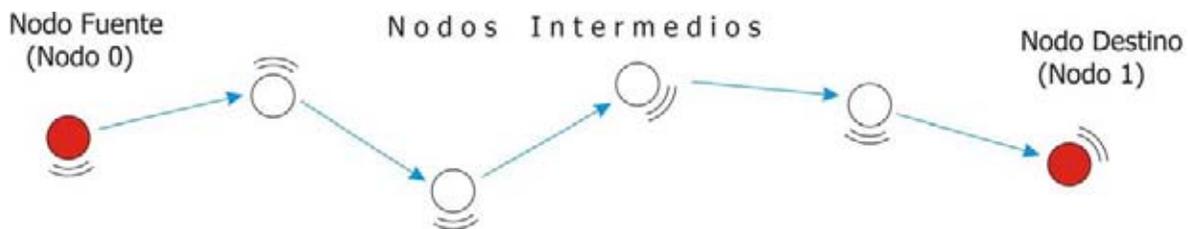


Figura 4.21 Enlace fuente-destino dinámico con la intervención de cuatro nodos intermedios.

En el capítulo 2 ya se explicó que cuando el nodo destino está fuera del alcance del radio de transmisión del nodo fuente es necesaria la intervención de uno o varios nodos intermedios. Para calcular el número de nodos intermedios que se utilizan en una comunicación, es necesario tener una aproximación de la distancia que existe entre el nodo fuente y nodo destino además de tomar en cuenta que el radio de transmisión y recepción de cada nodo es de 250[m] para el caso del NS-29.

#### Prueba 4 Escenarios (1-20) Tres nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
1	166, 168, 194	0.01372	0.12763	136.11738	35.99002
2	88, 157, 78	0.01312	0.11741	92.74376	92.62635
3	188, 112, 25	0.01695	0.12091	87.11950	86.99859
4	182, 159, 104	0.01194	0.12016	131.86094	131.74078
5	40, 62, 301	0.01970	0.12507	43.12439	42.99932
6	65, 21, 31	0.00804	0.12411	33.52276	33.39865
8	123, 178, 90	10.9089	11.01563	61.08973	50.0741
10	180, 32, 174	1.81030	1.91955	52.38817	50.46862
11	191, 192, 98	0.01452	0.12587	100.98896	100.86309
12	272, 271, 289	1.85716	1.96489	12.58099	10.6161
13	88, 135, 129	1.85229	1.95152	41.93106	39.97954
16	170, 235, 90	0.00632	0.12900	58.84091	58.71191
17	190, 128, 111	0.00795	0.12371	20.30808	20.18437
20	79, 103, 76	0.01402	0.12062	112.00063	111.88001

Tabla 4.11 Escenarios del 1-20 con tres nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de tres nodos intermedios del 1-20 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **69.0379607**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **40.7100**

#### Prueba 4 Escenarios (1-20) Cuatro nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
7	244, 117, 185, 280	0.02375	0.12919	238.63041	238.50122
9	49, 102, 298, 84	0.03634	0.13067	49.15170	49.02103
14	150, 159, 65, 221	0.02464	0.13550	141.40698	141.27148
15	296, 210, 149, 219	0.01643	0.12481	25.95509	25.83028
18	74, 83, 81, 163	10.98497	11.09888	11.55456	0.45568
19	127, 214, 8, 296	0.01890	0.12390	0.17438	0.05048

Tabla 4.12 Escenarios del 1-20 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de cuatro nodos intermedios del 1-20 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio: **75.8550283**
- Desviación estándar del tiempo promedio: **95.2754**

#### Prueba 4 Escenarios (21-40) Tres nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
21	229, 227, 288	0.02653	0.12665	114.01311	113.88646
23	208, 165, 40	0.01134	0.11894	61.20603	61.08709
24	271, 56, 60	0.01514	0.12664	68.63694	68.5103
25	81, 195, 73	1.87865	1.97258	170.07049	168.09791
27	219, 225, 2	1.92253	2.02845	52.40419	50.37574
28	283, 299, 222	1.84861	1.96251	11.17513	9.21262

31	23, 249, 251	1.91906	2.01791	10.82568	8.80777
32	58, 168, 50	0.00952	0.12191	291.33941	291.2175
33	286, 288, 45	0.01039	0.12804	4.18425	4.05621
34	256, 70, 205	1.87106	1.97549	76.7474	74.77191
36	247, 269, 122	28.23509	28.34644	223.19912	194.85268
37	140, 28, 210	1.84925	1.94960	2.60842	0.65882
38	75, 132, 86	0.01029	0.12036	30.62970	30.50934
39	210, 185, 259	19.27035	19.36459	97.88322	78.51863
40	118, 229, 247	0.01479	0.12755	51.19252	51.06497

Tabla 4.13 Escenarios del 21-40 con tres nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de tres nodos intermedios del 21-40 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **80.3751967**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **81.7385**

#### Prueba 4 Escenarios (21-40) Cuatro nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
22	291, 129, 101, 4	1.87651	1.99133	233.99918	232.00785
26	296, 210, 149, 219	0.01643	0.12481	25.95509	25.83028
29	210, 255, 99, 211	0.01601	0.12600	68.41137	68.28537
30	282, 173, 87, 252	0.01517	0.12328	24.29087	24.16759
35	260, 149, 247, 272	0.02293	0.12624	20.55659	20.43035

Tabla 4.14 Escenarios del 21-40 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de cuatro nodos intermedios del 21-40 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **74.144288**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **90.3774**

#### Prueba 4 Escenarios (41-60) Tres nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
41	212, 234, 281	0.00957	0.12115	246.51927	246.39812
42	198, 57, 12	0.03081	0.12387	27.42011	27.29624
43	253, 46, 272	28.27748	28.38432	128.16222	99.7779
44	270, 60, 123	0.02041	0.12089	56.99701	56.87612
47	275, 169, 287	0.01196	0.12140	234.59594	234.47454
48	78, 26, 41	1.87192	1.96827	4.55875	2.59048
50	239, 197, 221	10.97888	11.08843	11.68940	0.60097
53	65, 21, 31	0.00804	0.12411	33.52276	33.39865
54	3, 219, 33	0.00824	0.11870	3.18245	3.06375
59	15, 287, 41	0.01202	0.11921	279.65624	279.53703

Tabla 4.15 Escenarios del 41-60 con tres nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de tres nodos intermedios del 41-60 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **98.40138**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **111.5898**

### Prueba 4 Escenarios (41-60) Cuatro nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
45	181, 87, 106, 80	1.84276	1.94938	2.41132	0.46194
46	172, 171, 40, 282	0.02090	0.13472	8.70539	8.57067
49	168, 189, 182, 23	41.30659	41.36744	140.58867	99.22123
51	248, 5, 112, 286	0.01599	0.12342	26.94327	26.81985
52	239, 250, 20, 158	1.86816	1.98659	2.59558	0.60899
55	46, 95, 142, 29	0.01540	0.13066	29.0906	28.95994
56	245, 241, 199, 179	28.26992	28.37858	29.45547	1.07689
57	37, 134, 231, 27	0.02867	0.13092	143.35473	143.22381
58	207, 58, 136, 159	0.02477	0.13474	87.35981	87.22507
60	268, 216, 150, 47	0.03354	0.13628	43.27125	43.13497

Tabla 4.16 Escenarios del 41-60 con cuatro nodos intermedios del cuarto caso.

Con los escenarios de cuatro nodos intermedios del 41-60 de este cuarto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio: **43.930336**
- Desviación estándar del tiempo promedio: **49.6221**

### RESULTADOS FINALES CASO 4, ESCENARIOS DEL 1- 60

#### ESCENARIOS CON TRES NODOS INTERMEDIOS

- TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO TOTAL = **80.9275179**
- DESVIACION ESTANDAR DEL TIEMPO PROEMDIO TOTAL = **78.1680**

#### ESCENARIOS CON CUATRO NODOS INTERMEDIOS

- TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO TOTAL = **60.2454748**
- DESVIACION ESTANDAR DEL TIEMPO PROEMDIO TOTAL = **72.5638**

### 4.6 QUINTO CASO: Escenario dinámico con cinco, seis, siete y ocho nodos intermedios

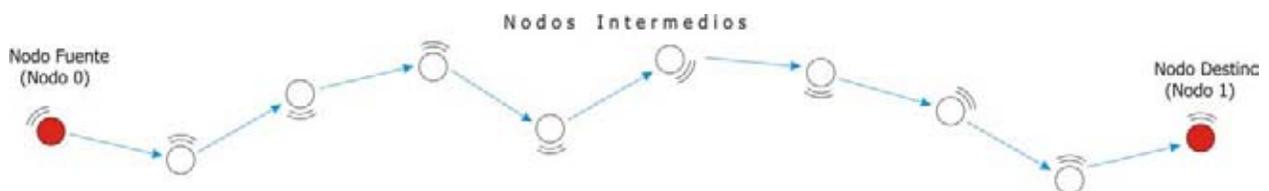


Figura 4.22 Enlace fuente-destino dinámico con la intervención de ocho nodos intermedios.

### Prueba 5 Escenarios (1-20) Cinco nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
1	192, 44, 223, 114, 142	0.3098	1.3748	18.48844	17.11364
5	174, 85, 25, 202, 72	0.01814	0.13171	47.99649	47.86478
7	301, 148, 257, 96, 230	1.87033	1.97653	30.71106	28.73453
9	10, 141, 300, 72, 98	0.02859	0.13737	69.55561	69.41824
12	224, 290, 247, 169, 148	1.83684	1.93752	2.23431	0.29679
15	7, 127, 110, 288, 141	30.11163	30.23843	31.399439	1.161009
17	6, 23, 147, 756, 611	0.45786	0.46578	14.78952	14.32374
19	128, 31, 145, 230, 39	30.02658	30.13208	32.346919	2.214839

Tabla 4.17 Escenarios del 1-20 con cinco nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de cinco nodos intermedios del 1-20 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **22.640946**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **24.8972**

### Prueba 5 Escenarios (1-20) Seis nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
2	91, 123, 209, 51, 127, 104	1.84560	1.95455	2.12529	0.17074
3	217, 148, 166, 8, 274, 29	0.03961	0.14642	51.5004	51.35398
4	15, 146, 106, 236, 225, 25	30.10498	30.20468	30.64602	0.44134
10	251, 27, 275, 197, 22, 21	1.89153	1.99867	2.142960	0.14429
13	267, 181, 182, 111, 56, 102	1.85014	1.96716	2.51499	0.54783
20	218, 121, 250, 20, 266, 109	0.03443	0.14473	22.39360	22.24887

Tabla 4.18 Escenarios del 1-20 con seis nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de seis nodos intermedios del 1-20 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **12.4845083**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **20.9648**

### Prueba 5 Escenarios (1-20) Siete nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
11	266, 31, 246, 290, 241, 98, 266	5.49617	5.60722	7.37315	1.76593
16	266, 40, 119, 7, 141, 223, 79	1.85093	1.98287	56.11030	54.12743
18	202, 116, 156, 175, 207, 20, 92	0.02775	0.13120	80.919826	80.788626
6	295, 248, 90, 135, 103, 248, 278	30.04380	30.16859	30.83443	0.66584
8	186, 252, 223, 177, 120, 208, 252	1.91691	2.03167	3.29401	1.26234
14	51, 94, 19, 117, 292, 196, 297	0.01512	0.13448	10.13168	9.9972

Tabla 4.19 Escenarios del 1-20 con siete nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de siete nodos intermedios del 1-20 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **24.7678943**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **34.2957**

### Prueba 5 Escenarios (21-40) Cinco nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
21	78, 98, 236, 52, 158	0.01602	0.12997	18.25794	18.12797
24	52, 209, 100, 64, 23	0.01949	0.13444	0.94359	0.80915
27	30, 291, 284, 226, 75	0.01821	0.13471	32.57509	32.44038
30	231, 298, 102, 288, 21	0.02568	0.13876	71.10950	70.97074
34	28, 5, 244, 119, 265	1.87783	1.98176	2.38657	0.40481
36	137, 22, 21, 240, 41	1.86632	1.97659	2.63235	0.65576
39	87, 271, 272, 52, 169	1.93654	2.03825	12.36782	10.32957

Tabla 4.20 Escenarios del 21-40 con cinco nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de cinco nodos intermedios del 21-40 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **19.1054829**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **25.7250**

### Prueba 5 Escenarios (21-40) Seis nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
22	183, 261, 13, 113, 109, 224	5.56072	5.69028	6.59109	0.90081
31	44, 281, 20, 229, 84, 161	10.84456	10.94507	11.40490	0.45983
35	192, 224, 34, 146, 233, 78	5.52851	5.63763	6.28946	0.65183
37	172, 44, 129, 5, 257, 252	30.02875	30.13694	31.183663	1.046723
38	194, 71, 108, 103, 57, 244	0.03227	0.14906	63.450393	63.301333

Tabla 4.21 Escenarios del 21-40 con seis nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de seis nodos intermedios del 21-40 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **13.2721052**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **27.9681**

### Prueba 5 Escenarios (21-40) Siete nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
23	61, 181, 214, 243, 124, 57, 30	5.50241	5.62801	6.56936	0.94135
25	218, 164, 278, 107, 67, 238, 210	5.53230	5.64587	6.89231	1.24644
26	295, 248, 90, 135, 103, 248, 278	30.04380	30.1685	30.83443	0.66593
28	58, 107, 145, 137, 29, 189, 96	5.47102	5.59507	6.43937	0.8443
29	275, 214, 261, 273, 222, 266, 116	1.92455	2.03663	2.85192	0.81529
32	214, 129, 97, 74, 222, 261, 286	30.15926	30.27179	30.43098	0.15919

Tabla 4.22 Escenarios del 21-40 con siete nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de siete nodos intermedios del 21-40 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **0.77875**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **0.3598**

### Prueba 5 Escenarios (21-40) Ocho nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
33	69, 125, 241, 277, 249, 77, 115, 293	1.90945	2.03203	2.28335	0.25132
40	110, 213, 61, 44, 675, 69, 228, 178	0.02807	0.14895	17.37796	17.22901

Tabla 4.23 Escenarios del 21-40 con ocho nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de ocho nodos intermedios del 21-40 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **8.740165**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **12.0050**

### Prueba 5 Escenarios (41-60) Cinco nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
43	180, 253, 208, 72, 200	0.01936	0.13451	69.01669	68.88218
44	177, 42, 173, 228, 129	1.84168	1.94472	27.94313	25.99841
46	206, 85, 167, 165, 67	5.52165	5.63582	5.82495	0.18913
51	110, 130, 142, 154, 268	0.02422	0.13140	19.3128	19.1814
52	92, 2, 181, 95, 129	0.03611	0.14080	23.15735	23.01655
53	90, 275, 175, 178, 20	0.02444	0.12989	10.05495	9.92506
54	27, 181, 92, 164, 61	1.91197	2.02318	2.67140	0.64822
55	280, 95, 85, 227, 54	1.88091	1.97863	93.59580	91.61717
56	223, 149, 141, 79, 163	0.01254	0.13208	49.75410	49.62202
57	64, 241, 242, 116, 234	1.89670	1.99703	17.14206	15.14503
58	86, 133, 172, 150, 120	5.43565	5.53697	7.72184	2.18487
59	206, 264, 216, 20, 113	1.89939	2.00682	2.81614	0.80932

Tabla 4.24 Escenarios del 41-60 con cinco nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de cinco nodos intermedios del 41-60 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **25.6016133**
- Desviación estándar del tiempo de permanencia promedio = **29.6078**

### Prueba 5 Escenarios (41-60) Seis nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
41	145, 164, 63, 258, 135, 136	28.29931	28.40701	30.83063	2.42362
42	202, 203, 142, 280, 291, 227	14.75973	14.86788	15.89685	1.02897
47	170, 257, 96, 116, 174, 251	0.03125	0.14558	55.09800	54.95242
48	273, 289, 28, 139, 56, 204	0.02741	0.14556	40.6612	40.51564
49	260, 62, 258, 29, 84, 248	1.92889	2.04203	76.0981	74.05607

Tabla 4.25 Escenarios del 41-60 con seis nodos intermedios del quinto caso.

Con los escenarios de seis nodos intermedios del 41-60 de este quinto caso se calculó lo siguiente:

- Tiempo de permanencia promedio = **34.595344**
- Desviación estándar del tiempo promedio = **32.2813**

### Prueba 5 Escenarios (41-60) Siete nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
60	290, 135, 197, 111, 2, 109, 197	33.35438	33.47510	67.95842	34.48332

*Tabla 4.26 Escenarios del 41-60 con siete nodos intermedios del quinto caso.*

- Tiempo de permanencia promedio = **34.48332**

### Prueba 5 Escenarios (41-60) Ocho nodos intermedios

ESCENARIO	NODOS INTERMEDIOS	REPLY SENDING	RECV REPLY	LINK FAILURE	TIEMPO DE PERMANENCIA
50	128, 66, 105, 188, 228, 48, 144, 37	1.82814	1.94237	2.07907	0.1367

*Tabla 4.27 Escenarios del 41-60 con ocho nodos intermedios del quinto caso.*

- Tiempo de permanencia promedio = **0.1367**

## RESULTADOS FINALES CASO 5, ESCENARIOS DEL 1- 60

### ESCENARIO CON CINCO NODOS INTERMEDIOS

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **23.04019659**
- DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL DEL TIEMPO PROMEDIO = **26.4146**

### ESCENARIO CON SEIS NODOS INTERMEDIOS

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **19.6402685**
- DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL DEL TIEMPO PROMEDIO = **27.2312**

### ESCENARIO CON SIETE NODOS INTERMEDIOS

- TIEMPO TOTAL DE PERMANENCIA PROMEDIO = **15.4997713**
- DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL DEL TIEMPO PROMEDIO = **26.1584**

# CAPÍTULO 5

## Análisis de resultados

Una vez que el simulador de redes NS-29 (*Network Simulation*) permitió realizar las simulaciones de los cinco casos, en seguida se presenta una recopilación de los resultados que se obtuvieron de cada uno de los escenarios.

### **5.1.1 PRIMER CASO: Análisis de selección de un nodo intermedio en un enlace fuente-destino**

Recordemos que en el primer caso sólo se graficaron las posiciones de los nodos intermedios para corroborar que el NS-29 distribuye los nodos de forma arbitraria en la red, aunque lo más importante fue demostrar que el o los nodos intermedios que intervienen en el enlace fuente-destino también son elegidos de forma aleatoria, como se indica en la figura 4.4 a) y b) permitiendo tener una mejor aproximación al comportamiento de la red en la vida real.

### **5.1.2 SEGUNDO CASO: Escenario con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio dinámico**

Los resultados que se muestran en la tabla 5.1 fueron tomados de escenarios de 750x750[m], con una distribución de 102 nodos a una velocidad de 10[m/s].

Con estos resultados podemos decir que un escenario donde la fuente y el destino permanecen estáticos mientras los demás nodos que conforman la red se mueven a una velocidad de 10[m/s] incluyendo el nodo intermedio tienen un tiempo de permanencia promedio de 9.665 [s] con una desviación estándar de  $\pm 6.4588$ , esto significa que la comunicación es interrumpida después de ese periodo de tiempo.

	ESCENARIOS 1-20	ESCENARIOS 21-40	ESCENARIOS 1-40
Tiempo de permanencia promedio	9.95516	8.8916665	<b>9.66503923</b>
Desviación estándar del tiempo de permanencia	6.3427	6.7387	<b>6.4588</b>

Tabla 5.1 Resultados finales de los nodos del 1- 40 del segundo caso.

Los resultados de la tabla 5.2 fueron tomados en las mismas condiciones que los de la tabla 5.1 la diferencia es que este escenario fue de 1000x1000[m] con 302 nodos a una velocidad de 1[m/s].

Como los nodos en este caso se mueven a una velocidad 10 veces menor a los de la tabla 5.1 tienen un tiempo de permanencia promedio 10 veces más que los anteriores. En la tabla 5.2 podemos ratificar que el tiempo de permanencia promedio de este enlace es de 94.7138 [s] con una desviación estándar de  $\pm 70.0565$

	ESCENARIOS 41-60	ESCENARIOS 61-80	ESCENARIOS 81-100	ESCENARIOS 41-100
Tiempo de permanencia promedio	108.230084	95.608414	80.3029105	<b>94.71380283</b>
Desviación estándar del tiempo de permanencia	80.7157	71.6060	56.4463	<b>70.0565</b>

Tabla 5.2 Resultados finales de los nodos del 41- 100 del segundo caso.

### 5.1.3 TERCER CASO: Escenario dinámico con un nodo intermedio

En este tercer caso el nodo fuente, el nodo destino, el nodo intermedio y los demás nodos que conformaron la red de 750x750[m] (102 nodos en total) a una velocidad 10[m/s] muestran un tiempo de permanencia promedio de 13.8474[s] con una desviación estándar de  $\pm 11.8969$ , con lo que se puede afirmar que: una red en la que todos sus nodos son dinámicos y sólo necesita de un nodo intermedio tiene un tiempo de permanencia promedio mayor que otra que se encuentre en las mismas condiciones, excepto que su nodo fuente y destino sean estáticos.

	ESCENARIOS 1-20	ESCENARIOS 21-40	ESCENARIOS 1-40
Tiempo de permanencia promedio	16.3603225	11.335495	<b>13.8479088</b>
Desviación estándar del tiempo de permanencia	13.3101	10.0037	<b>11.8969</b>

Tabla 5.3 Resultados finales de los nodos del 1- 40 del tercer caso.

Al igual que en el caso 2, esta segunda parte del caso 3 se hizo con escenarios de 1000x1000[m], 302 nodos y velocidad de 1[m/s].

El tiempo de permanencia promedio de estos escenarios fue de 105.4645 con una desviación estándar de  $\pm 5.6043$  por lo que se observa claramente que estos escenarios presentan mayor durabilidad que los de la tabla 5.2. Esto significa que un escenario que sólo tiene un nodo intermedio y todos sus nodos son dinámicos a una velocidad menor, también tiene un tiempo de permanencia promedio mayor que uno que bajo las mismas condiciones tienen su nodo fuente y destino estático.

	ESCENARIOS 41-60	ESCENARIOS 61-80	ESCENARIOS 81-100	ESCENARIOS 41-100
Tiempo de permanencia promedio	122.678226	80.4813245	113.233601	<b>105.4643838</b>
Desviación estándar del tiempo de permanencia	92.4949	82.3277	79.9379	<b>5.6043</b>

Tabla 5.4 Resultados finales de los nodos del 41- 100 del tercer caso.

#### 5.1.4 CUARTO CASO: Escenario dinámico con tres o cuatro nodos intermedios

En este caso todo el escenario fue dinámico como en el caso 3, la diferencia es que aquí no se utilizó un nodo intermedio, se utilizaron 2 o 3.

Aunque en los primeros 20 escenarios el tiempo de permanencia promedio de los enlaces que tuvieron 4 nodos intermedios (75.8550[s]) duró más que los que tuvieron tres (69.0379[s]), al hacer el promedio general de los 60 escenarios se puede apreciar que el tiempo de permanencia promedio de los enlaces que tuvieron 3 nodos intermedios (80.9275) fue 1.3432 veces más grande que los escenarios en lo que se involucraron 4 nodos intermedios. A su vez estos tiempos son mucho menores que los que presentaron los enlaces que sólo tuvieron un nodo intermedio.

	TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA
Escenarios 1-20 tres nodos intermedios	69.0379607	40.7100
Escenarios 1-20 cuatro nodos intermedios	75.8550283	95.2754
Escenarios 21-40 tres nodos intermedios	80.3751967	81.7385
Escenarios 21-40 cuatro nodos intermedios	74.144288	90.3774
Escenarios 41-60 tres nodos intermedios	98.40138	111.5898
Escenarios 41-60 cuatro nodos intermedios	43.930336	49.6221

<b>ESCENARIOS 1-60 TRES NODOS INTERMEDIOS</b>	<b>80.9275179</b>	<b>78.1680</b>
<b>ESCENARIOS 1-60 CUATRO NODOS INTERMEDIOS</b>	<b>60.2454748</b>	<b>72.5638</b>

*Tabla 5.5 Resultados finales del cuarto caso.*

### 5.1.5 QUINTO CASO: Escenario con nodo fuente y destino móviles y cinco, seis, siete y ocho nodos intermedios

Finalmente este caso también fue totalmente dinámico, con la intervención desde cinco hasta ocho nodos intermedios. Se puede ver claramente que se repite el mismo patrón de los tiempos, es decir mientras más nodos intermedios tenga el enlace, menor es su tiempo de permanencia promedio, ya que para 5 nodos intermedios su tiempo de permanencia promedio fue de 23.0401, para 6 nodos intermedios su tiempo de permanencia promedio fue de 19.6402, con 7 nodos intermedios se tuvo un tiempo de 15.4997 y por último con 8 nodos intermedios se obtuvo un tiempo de 5.8723.

	<b>TIEMPO DE PERMANENCIA PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL TIEMPO DE PERMANENCIA</b>
<b>Escenarios 1-20 cinco nodos intermedios</b>	22.640946	24.8972
<b>Escenarios 1-20 seis nodos intermedios</b>	12.4845083	20.9648
<b>Escenarios 1-20 siete nodos intermedios</b>	24.7678943	34.2957
<b>Escenarios 21-40 cinco nodos intermedios</b>	19.1054829	25.7250
<b>Escenarios 21-40 seis nodos intermedios</b>	13.2721052	27.9681
<b>Escenarios 21-40 siete nodos intermedios</b>	0.77875	0.3598
<b>Escenarios 21-40 ocho nodos intermedios</b>	8.740165	12.0050
<b>Escenarios 41-60 cinco nodos intermedios</b>	25.6016133	29.6078
<b>Escenarios 41-60 seis nodos intermedios</b>	34.595344	32.2813
<b>Escenarios 41-60 siete nodos intermedios</b>	34.48332	

Escenarios 41-60 ocho nodos intermedios	0.1367	
ESCENARIOS 1-60 CINCO NODOS INTERMEDIOS	23.04019659	26.4146
ESCENARIOS 1-60 SEIS NODOS INTERMEDIOS	19.6402685	27.2312
ESCENARIOS 1-60 SIETE NODOS INTERMEDIOS	15.4997713	26.1584
ESCENARIOS 1-60 OCHO NODOS INTERMEDIOS	5.8723433	

Tabla 5.6 Resultados finales del quinto caso.

Las gráficas 5.1, 5.2 y 5.3 muestran los histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio. La única diferencia entre las gráficas 5.1, 5.2 y 5.3 es que el intervalo del análisis del tiempo se fue duplicando para tener una visión general del comportamiento de la red

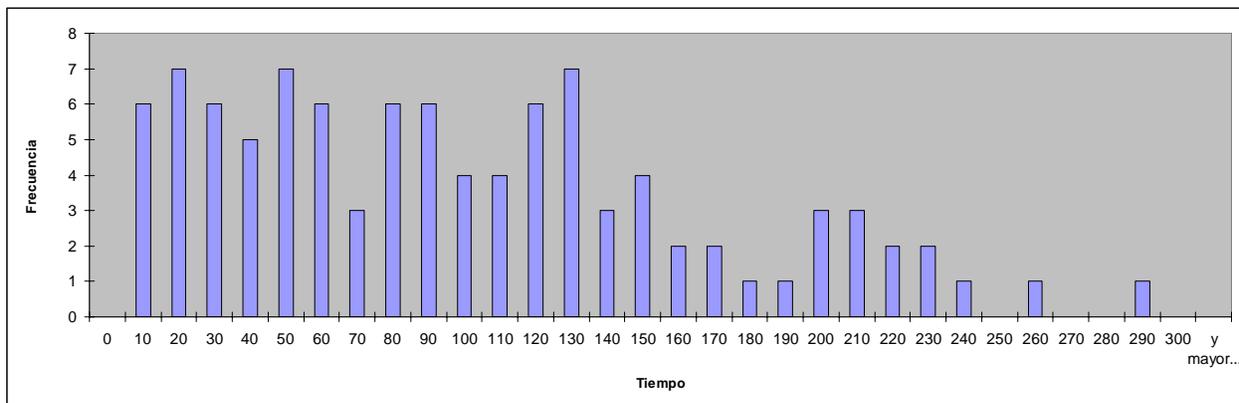


Figura 5.1 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 10[s].

TIEMPO [S]	FRECUENCIA	TIEMPO [S]	FRECUENCIA
0	0	160	2
10	6	170	2
20	7	180	1
30	6	190	1
40	5	200	3
50	7	210	3
60	6	220	2
70	3	230	2
80	6	240	1
90	6	250	0
100	4	260	1
110	4	270	0
120	6	280	0
130	7	290	1
140	3	300	0
150	4	y mayor...	0

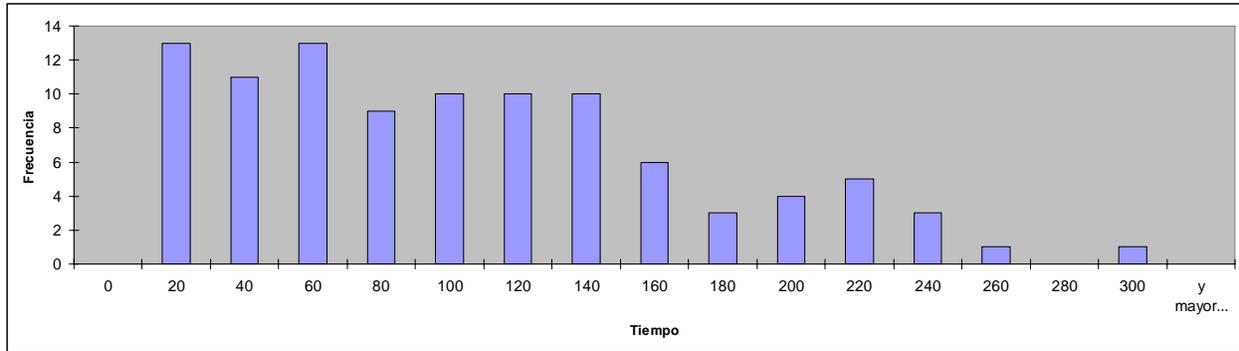


Figura 5.2 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 20[s].

TIEMPO [S]	FRECUENCIA	TIEMPO [S]	FRECUENCIA
0	0	180	3
20	13	200	4
40	11	220	5
60	13	240	3
80	9	260	1
100	10	280	0
120	10	300	1
140	10	y mayor...	0
160	6		

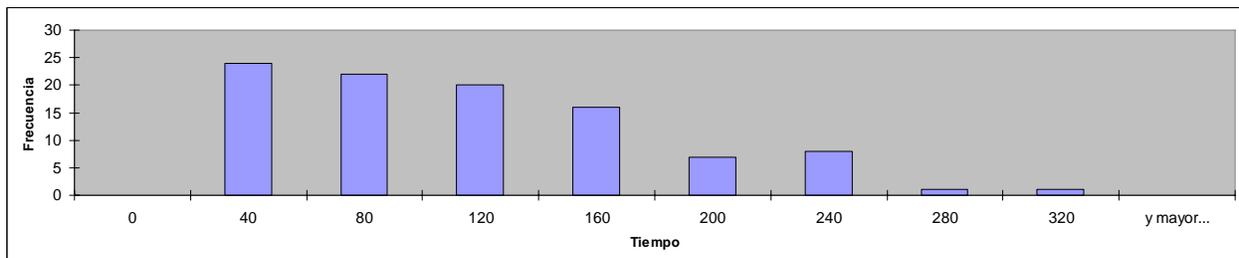


Figura 5.3 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios con nodo fuente y destino estáticos y un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 40[s].

TIEMPO [S]	FRECUENCIA	TIEMPO [S]	FRECUENCIA
0	0	200	7
40	24	240	8
80	22	280	1
120	20	320	1
160	16	y mayor...	0

En la gráfica 5.3 se puede apreciar claramente que la mayoría de las rutas donde el nodo fuente y destino fueron estáticos y sólo tuvieron un nodo intermedio tuvieron un intervalo de tiempo de permanencia de (0 a 40] segundos.

Por otra parte, las gráficas 5.4, 5.6 y 5.7 muestran los histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas generadas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio. En estas gráficas también se va duplicando el intervalo del análisis del tiempo para tener también un panorama general del comportamiento de la red

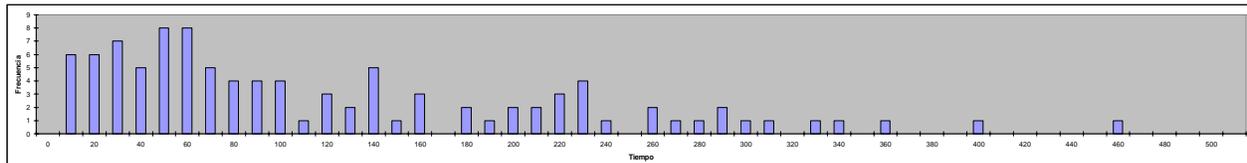


Figura 5.4 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 10[s].

TIEMPO [S]	FRECUENCIA	TIEMPO [S]	FRECUENCIA	TIEMPO [S]	FRECUENCIA
0	0	180	2	360	1
10	6	190	1	370	0
20	6	200	2	380	0
30	7	210	2	390	0
40	5	220	3	400	1
50	8	230	4	410	0
60	8	240	1	420	0
70	5	250	0	430	0
80	4	260	2	440	0
90	4	270	1	450	0
100	4	280	1	460	1
110	1	290	2	470	0
120	3	300	1	480	0
130	2	310	1	490	0
140	5	320	0	500	0
150	1	330	1	y mayor...	0
160	3	340	1		
170	0	350	0		

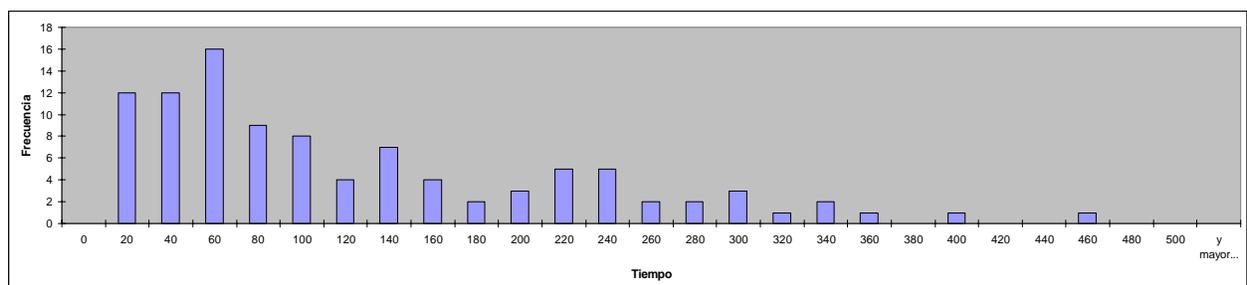


Figura 5.5 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 20[s].

TIEMPO [S]	Frecuencia	TIEMPO [S]	Frecuencia
0	0	280	2
20	12	300	3
40	12	320	1
60	16	340	2

80	9	360	1
100	8	380	0
120	4	400	1
140	7	420	0
160	4	440	0
180	2	460	1
200	3	480	0
220	5	500	0
240	5	y mayor...	0
260	2		

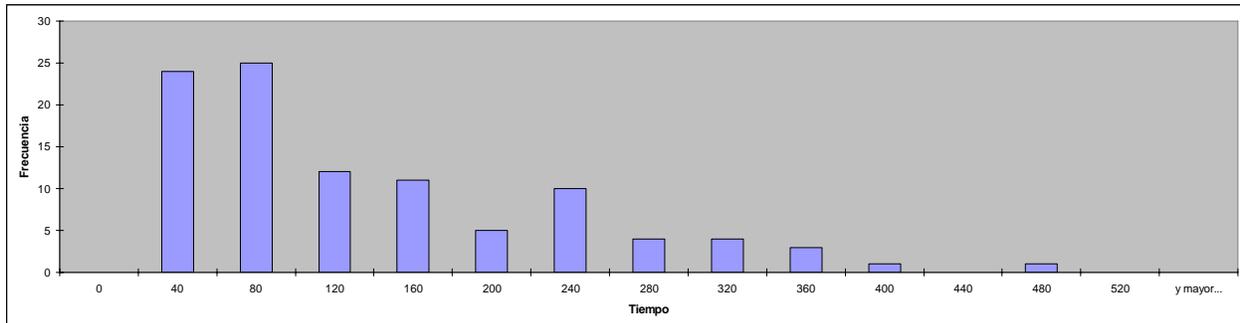


Figura 5.6 Histogramas que expresan la frecuencia de ocurrencia de los tiempos de permanencia de las rutas en los escenarios totalmente dinámicos y que tuvieron más de un nodo intermedio con intervalo de análisis del tiempo de 40[s].

TIEMPO [S]	Frecuencia	TIEMPO [S]	Frecuencia
0	0	320	4
40	24	360	3
80	25	400	1
120	12	440	0
160	11	480	1
200	5	520	0
240	10	y mayor...	0
280	4		

Finalmente para los escenarios dinámicos tenemos la gráfica 5.6 en la que se aprecia que la mayoría de las rutas duraron entre (40 y 80] segundos, en este caso se puede observar que un escenario hizo la diferencia, ya que para el intervalo de (0 a 40] segundos hubieron 24 escenarios dentro del rango mientras que para el intervalos (40 y 80] segundos hubieron 25 escenarios.

Para obtener un histograma más detallado sería necesario efectuar mayor cantidad de eventos, pero existe la dificultad que el tiempo de simulación de cada evento fluctúa alrededor de 7 horas, (este tiempo puede ser mayor o menor dependiendo del tamaño de la red, la densidad de nodos, la velocidad a la que se mueven entre otros) lo cual complica la realización de este experimento con mayor detalle. No obstante, aunque la cantidad de eventos no es la deseada, aún así es posible observar que se presenta un aumento en la ocurrencia de eventos en el intervalo (0, 40] o (0, 80] segundos (ver el "chipote" que se observa en las gráficas) y que se debe a los eventos en los que los nodos se mueven de forma tal que se acercan o siguen trayectorias similares, contribuyendo esto a un mayor tiempo de permanencia de la ruta.

# CAPÍTULO 6

## Conclusiones

Finalmente en la gráfica 5.7 se corrobora nuevamente que mientras más nodos intermedios participen en la comunicación fuente – destino, menor es el tiempo de duración de ruta en la red, ya que existe mayor probabilidad de que alguno de los nodos que forman el enlace quede fuera del alcance de sus nodos vecinos.

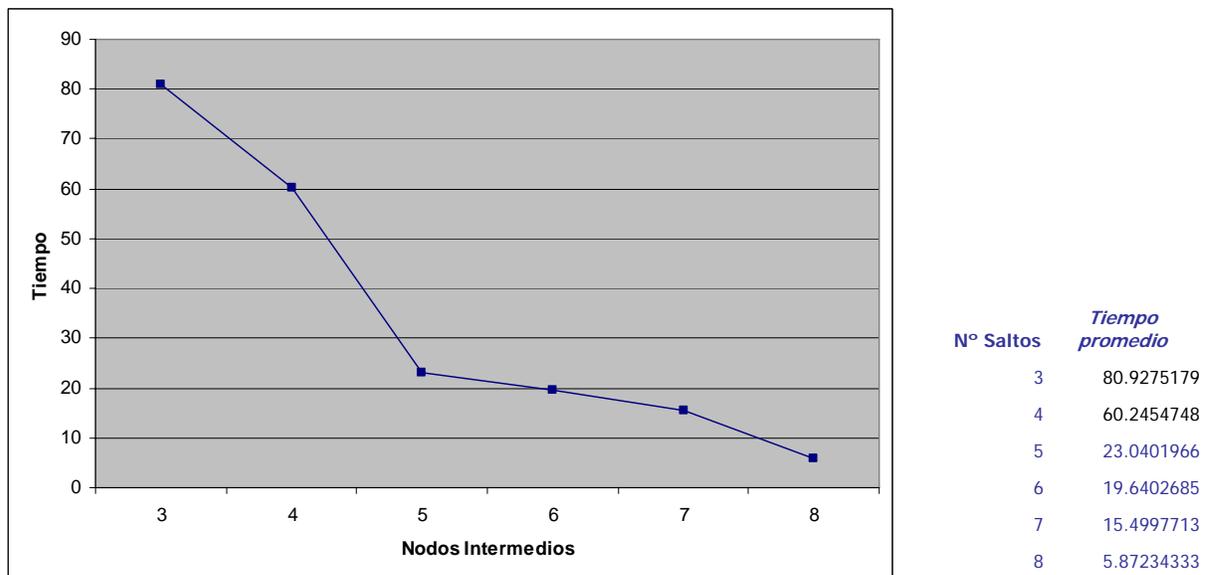


Figura 6.1 Nodos Intermedios Vs Tiempo.

De los escenarios que se analizaron con un nodo intermedio (caso 2 y 3) existieron dos variantes, una donde el nodo fuente y destino fueron estáticos y los demás dinámicos y otro donde todos los nodos tuvieron movilidad, de estos dos escenarios los que tuvieron un mayor

tiempo de comunicación es decir que el enlace no fue interrumpido fueron las simulaciones en donde todo el escenario fue dinámico.

Por otro lado mientras más velocidad tienen los nodos que conforman la red, menor es el tiempo de permanencia promedio. En esta tesis sólo se utilizaron velocidades de 10[m/s] y 1[m/s] y se confirmó que los nodos que se movieron a 1[m/s] tuvieron un tiempo de permanencia promedio 10 veces mayor a los que tuvieron velocidad de 10[m/s].

Cuando se tomó el tiempo de cada uno de los escenarios con diferente número de nodos intermedios, los enlaces que tuvieron más nodos intermedios en algunas ocasiones tuvieron un tiempo de permanencia mayor que los que tenían menos nodos intermedios, pero al hacer los promedios de los escenarios, se obtuvo que el tiempo de permanencia promedio es mayor mientras menos número de nodos intermedios participen. Esto se debe a que mientras menos nodos intermedios existan hay menos variables de las que depende el comportamiento de la red.

En algunos casos la desviación estándar fue grande, esto se debió a que como lo mencioné en el párrafo anterior hubieron algunos escenarios que tuvieron un comportamiento un poco disparado, es decir el tiempo de permanencia de algunos escenarios que tuvieron muchos nodos intermedios fue mayor al tiempo que presentaron los de menos nodos intermedios, pero cuando se consideraron todos los escenarios y se obtuvieron los promedios de las diferentes desviaciones estándar se fueron estabilizando.

---

## BIBLIOGRAFIA

- 📖 Jacobson, Andree. "Metrics in Ad Hoc Networks" Lulea University of Technology, (2000).
- 📖 Pascoe Chalke, Michael. "Estudio de movilidad y localización en redes de sensores inalámbricos" Universidad Nacional Autónoma de México, (2005).
- 📖 Fall, Kevin and Varadhan, Kannan "The NS Manual" The VINT project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI and Xerox PARC, July 16, 2003.
- 📖 Gómez Castellanos, Javier "Redes Inalámbricas y Móviles, IEEE 802.11, WLAN" Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- 📖 Black, Uyles. "Computer Networks, Protocols, Standard, and Interfaces" New York 200.
- 📖 Stalling, William. "Data and computer communications" Pearson Education Florida 2004.
- 📖 Tsuda, Shingo, "Battery Technologies Based on the Requirements for Applications and Future Movement, Italy June 2000.

## SITIOS DE INTERNET

- 📖 Marc, Greis. "Tutorial for the Network Simulator NS", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/>
- 📖 <http://www.tutoriales.com>
- 📖 <http://mx.geocities.com/redes.html>
- 📖 [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_computadoras](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_computadoras)
- 📖 <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2004/Abril/redes.htm>
- 📖 <http://www.wlana.org/learn/educate.htm>
- 📖 <http://www.unincca.edu.co/boletin/indice.htm>
- 📖 [http://www.weca.net/OpenSection/pdf/Wi-Fi\\_Protected\\_Access\\_Overview.pdf](http://www.weca.net/OpenSection/pdf/Wi-Fi_Protected_Access_Overview.pdf)
- 📖 <http://www.intel.com/ebusiness/strategies/wireless/wlan/standards.htm>
- 📖 <http://es.wikipedia.org/wiki/WLAN>
- 📖 <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EEuyEVAIZVJwOqzXbT.php>
- 📖 <http://www.fi-b.unam.mx/pp/profesores/wireless/cursos2>
- 📖 <http://gsync.escet.urjc.es/~caguero/proyectos/pera/node13.html>
- 📖 <http://en.wikipedia.org/wiki/AODV>
- 📖 [http://en.wikipedia.org/wiki/Ad\\_hoc\\_protocol\\_list](http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_protocol_list)
- 📖 [http://en.wikipedia.org/wiki/Protocol\\_%28computing%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_%28computing%29)

-  <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html>
-  <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-13.txt>
-  <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Dynamic+Source+Routing.html>
-  <http://200.67.232.218/personal/ucetina/adhoc/node11.html>
-  <http://www.tucumanwireless.com.ar/servicios/glosarios.html>
-  <http://www.cs.wm.edu/~kearns/swg97/tora.pdf>
-  <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Temporally-Ordered+Routing+Algorithm.html>