# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

## CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

## TRABAJO DE TITULACIÓN

# "ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL PROTOCOLO HIERARCHICAL MOBILE IPV6 EN EL ENRUTAMIENTO USANDO NETWORK SIMULATOR NS"


**Autora:**

Verónica Katherine Aguilar Vega

**Tutor:**

Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca


**Riobamba – Ecuador**

**Año 2019**

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **"ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL PROTOCOLO HIERARCHICAL MOBILE IPV6 EN EL ENRUTAMIENTO USANDO NETWORK SIMULATOR NS"**, Presentado por: **Verónica Katherine Aguilar Vega** y dirigida por la **Mgs**. **Deysi Vilma Inca Balseca.**

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

MSc. Daniel Haro
**Presidente de Tribunal**

**Firma**

Phd. Yesenia Cevallos
**Miembro del Tribunal**

**Firma**

Phd. Leonardo Rentería
**Miembro de Tribunal**

**Firma**

**DECLARACIÓN EXPUESTA DE TUTORÍA**

En calidad de tutor del tema de investigación: **"ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL PROTOCOLO HIERARCHICAL MOBILE IPV6 EN EL ENRUTAMIENTO USANDO NETWORK SIMULATOR NS"**. Realizado por la Srta. **Verónica Katherine Aguilar Vega**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, Julio 2018

Mgs. Deysi Inca Balseca

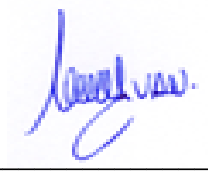
C.I. 060381048-2

Tutora

**Firma**

**AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación, corresponde exclusivamente a **Verónica Katherine Aguilar Vega y la Mgs. Deysi Inca Balseca**; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo



Verónica Katherine Aguilar Vega

**C.I:** 0604814137

## *DEDICATORIA*

*"Siempre que te pregunten si puedes hacer un trabajo, contesta que sí y ponte enseguida a aprender cómo se hace**". Franklin D. Roosevelt***

*Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por un buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las adversidades que se me presentaron a lo largo de la vida universitaria, enseñándome siempre a encarar los problemas sin perder la fe y la confianza en mí misma.*

*De igual manera, la presente tesis se la dedico a toda mi familia y amigos, especialmente a mis dos madres quienes han sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la oportunidad de estudiar y poder cumplir con mis anhelos planteados al inicio de este proceso.*

*Este proyecto es una meta, con qué puedo demostrar que si pude lograrlo.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo me sienta muy agradecida, no tengo palabras para expresar todo mi amor y gratitud a mis dos madres Carmen Vega y Genny Vega, por su fe, su generosidad y su incansable ayuda en todo momento, gracias a ello he podido culminar con una meta muy importante en mi vida.*

*A mi papá Edgar Aguilar, por sus palabras de superación para no desmayar y continuar estudiando sin importar el obstáculo que se presente.*

*A mis tíos Alexandra Vega y Rodrigo Rodas, por ser la guía en mis primeros años de vida, dándome su cariño incondicionalmente.*

*A mi tutora Mgs. Deysi Inca, quien desde el primer momento me brindó su amistad, su bondad y fue de gran apoyo en momentos difíciles, siendo una gran amiga que creyó en mi capacidad.*

*A los docentes, que me brindaron sus conocimientos en las aulas, y me apoyaron incondicionalmente sirviendo de aporte para poder conseguir tantos logros con mi robot bailarín Bot-Ka, haciendo posible que pueda ampliar mi conocimiento en nuevas ramas de la carrera.*

*A mi novio Franklin Quinzo, quien me brindó su cariño y me acompañó a conseguir mis sueños apoyándome constantemente en esta etapa universitaria, y siempre anhelando lo mejor para mí.*

*A mis amigos, Danny Lozano y Ricardo Aguirre, por compartir grandes momentos, sobre todo saber escucharme en situaciones dificultosas, porque, aunque resulte extraño por más tristeza siempre pudieron sacarme una sonrisa, y creyeron en mí, en todo momento, con este tiempo demostraron ser unos grandes amigos con ideas revolucionarias.*

## ÍNDICE GENERAL

## ÍNDICE DE FIGURAS

## ÍNDICE DE TABLAS

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

## RESUMEN

La gestión de movilidad se analiza en función de dos protocolos: macromovilidad con MIPV6 (Mobility Support IPV6, Soporte de Movilidad IPV6) (Johnson, Arkko, & Perkins, 2004) y micromovilidad con HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6, Jerárquico Móvil IPV6) (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005). Actualmente HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005), está considerado como una extensión del protocolo MIPV6 (Johnson, Arkko, & Perkins, 2004), porque acoge y examina las falencias de la macromovilidad, entonces se plantea este protocolo experimental para la comunidad de internet, como referencia de investigaciones que buscan corregir las diversas problemáticas en las comunicaciones móviles, de esta manera se proporciona beneficios con respecto a la disminución de los términos de velocidad de entrega, ancho de banda, mejoramiento en la calidad del servicio, y minimización en las posibles interrupciones de las comunicaciones.

Debido a todas estas circunstancias, el objetivo principal de esta investigación consiste en analizar y simular el protocolo HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005), bajo las especificaciones del RFC (Request For Comments, Peticiones de Comentarios) (Francois & Villagómez, 2018) 4140. Esta simulación es implementada en el software NS-3 (Network Simulator versión 3) (NSNAM, 2011), que es un software idóneo para realizar simulaciones de redes fijas e inalámbricas.

La simulación del protocolo HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005) está compuesto por un total de 9 nodos, éstos se definen como: Nodo Correspondiente (CN), Agente Local (HA), INTERNET (I), Punto de Anclaje Móvil (MAP), 2 Routers de Acceso (AR1,AR2), 3 Nodos Móviles (MN, MN2, MN3).

Gracias al software NS-3 se puede verificar la información de la simulación, mediante dos herramientas: visualización de la gráfica de la simulación con la herramienta NetAnim, mientras que con la herramienta Tracemetrics se analiza el Throughtput/Goodput, velocidad de entrega, tiempo promedio empleado por cada paquete en el nodo (E[W]), cantidad de paquetes enviados y recibidos, paquetes perdidos y redundantes.

## ABSTRACT

Mobility management is studying according to two protocols: macro mobility with MIPV6 (Mobility Support IPV6) (Johnson, Arkko, & Perkins, 2004) and micro-mobility with HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005). At present, HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005), is considered an extension of the MIPV6 protocol (Johnson, Arkko, & Perkins, 2004), because it examines the shortcomings of macro mobility, then this experimental protocol for the Internet community is a reference for this research to correct the various problems in mobile communications, in this way benefits are providing with respect to the decrease of the terms of delivery speed, bandwidth, and improvement in the quality of the service. Because of this circumstances, the main objective of this investigation is to analyze and simulate the HMIPV6 protocol (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005), with the specifications of the RFC (Request For Comments) (Francois & Villagómez, 2018) 4140. This simulation is implemented in the NS-3 software (Network Simulator version 3) (NSNAM, 2011), because it is an ideal software to perform simulations of fixed and wireless networks.

With the NS-3 software, you can verify the simulation information, using two tools: visualization of the simulation graph with the NetAnim tool, while the Tracemetrics tool analyzes the Throughput, delivery speed, average time spent by each packet in the node, number of packages sent, lost and redundant packets.


Reviewed: Marcela González R.
English Professor

# INTRODUCCIÓN

Básicamente, HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005) introduce un nuevo nodo denominado como MAP (Mobile Anchor Point, Punto de Anclaje de Movilidad), MAP es el encargado de la movilidad local, en donde las funciones son similares a las de un agente local. La señalización que debe reducirse es en base al desplazamiento entre los diversos nodos que componen la red, puesto que la sobrecarga aumentará de acuerdo al incremento de los usuarios en Internet. Los nodos que componen el estructuramiento de HMPIV6 son: Nodo Correspondiente (CN), Agente Local (HA), INTERNET (I), Punto de Anclaje Móvil (MAP), 2 Routers de Acceso (AR1, AR2), 2 Nodos Móviles (MN, MN2, MN3).

La operación de HMIPV6 está basado en el desplazamiento de los nodos móviles (MNs), entonces, sí los Nodos Móviles cambian su punto de acceso se procede actualizar la ubicación actual tanto del Nodo Correspondiente (CN) y el Agente Local (HA), de esta manera es posible comprobar y verificar que el Agente Local (HA) conozca la posición del Nodo Móvil. (Becerra Sánchez, Padilla Aguilar, & Paradells Aspas, 2014)

Las caracterizaciones de estos protocolos deben estar anclados bajo especificaciones de la IETF (Internet Engineering Task Force, Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet) (Pérez de Acha, 2017) descritas en la RFC 4140, en donde se detalla que al utilizar un MAP se cuenta con la posibilidad de poder trabajar en cualquier jerarquía de la RED, y sustentando su objetivo en base a la gestión de movilidad para mejorar el rendimiento de HMIPV6 y reducir el impacto de la sustentación de ipv6 en redes de próxima generación. (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005)

El desempeño del Protocolo Hierarchical Mobile IPV6 es posible verificar con herramientas de simulación como es NS-3. ***"NS es un simulador de eventos discretos para modelar redes de tipo IP"*** (Herrera M, 2004)**.** NS-3 permite crear, simular y modificar nuevos protocolos, con su amplia fiabilidad permitiendo realizar mediciones como: velocidad de entrega, tiempo promedio empleado por cada paquete en el nodo (E[W]), cantidad de paquetes enviados y recibidos, paquetes perdidos y redundantes.
Este documento está organizado de la siguiente manera:

- ✓ **Capítulo I:** La sección está conformada por los objetivos del proyecto con el propósito de poder establecer los logros que se esperan alcanzar con la investigación.
- ✓ **Capítulo II:** Describe toda la información empleada para el proceso de desarrollo del proyecto, iniciando por criterios básicos de IPV6, descripción detallada y explícita de los elementos que conforman el protocolo HMIPV6, hasta las caracterizaciones de utilidad de Network Simulator.
- ✓ **Capítulo III:** Menciona la metodología que se empleó para la realización del modelo de simulación HMIPV6.
- ✓ **Capítulo IV:** Muestra el modelo de simulación HMIPV6 en funcionamiento, comprobando la efectividad de acuerdo a las simulaciones realizadas.

Se finaliza con las conclusiones y recomendaciones, descritas en el **Capítulo V.**

# CAPÍTULO I

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar y simular el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) a través de la herramienta Network Simulator para valorar el rendimiento del funcionamiento del protocolo en las diversas topologías existentes en una red, con sus respectivas variaciones.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Realizar el análisis profundo y extensivo del funcionamiento de los Protocolos MIPV6 (Mobile Support IPV6) y HMIPV6 (Hierarquical Mobile IPV6) para establecer sus vulnerabilidades.
- ✓ Diseñar y simular una red con el protocolo HMIPV6, para verificar su funcionamiento, estableciendo un escenario para pruebas.
- ✓ Evaluar el desempeño de la red a través de la medición de paquetes enviados, paquetes perdidos, paquetes redundantes, estado de filas, Throughtput/Goodput, velocidad de entrega.

# CAPÍTULO II

## 2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA

### 2.1. ANTECEDENTES

El presente documento consta de información del protocolo HMIPV6 (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005), y documentación del simulador NS-3, toda esta búsqueda se ha realizado en libros, artículos y propiamente en las especificaciones de la IETF (Internet Engineering Task Force).

Según el estudio de (Becerra Sánchez, Padilla Aguilar, & Paradells Aspas, 2014), el protocolo HMIPV6 corresponde al mejoramiento del antes mencionado protocolo MIPV6, que puede solventar los problemas vinculados a la micromovilidad, y obtener una reducción de la señalización, es decir la latencia del handover y pérdida de paquetes.

En el "Estudio de soluciones de movilidad en redes de cuarta generación" de (Bernardos, 2004) el protocolo HMIPV6, es capaz de brindar la posibilidad de manejar una estructura jerárquica de red con lo que se facilite la movilidad a través de la introducción de un nodo denominado como MAP (Mobility Anchor Point, Movilidad del Punto de Anclaje), la función de este nodo es poder gestionar la movilidad del MN (Mobile Node, Nodo Móvil) y el HA ( Agente Local, Home local)

En la investigación de (You, Sangheon, & Yanghee, 2003) se planteó mejorar las características de este protocolo por ende proveer beneficios con respecto al mejoramiento de la calidad del servicio, entonces se desarrolló un mecanismo amplio para el protocolo jerárquico móvil IPV6, que proporcione el mejoramiento en cuanto a la disponibilidad y el desempeño de la red ante una falla.

Considerando los beneficios que ofrece el protocolo HMIPV6 con respecto al protocolo MIPV6 y que los simuladores más usuales no tienen diseñados un módulo de simulación, se pretende plantear nuevas herramientas para poder evaluar el funcionamiento y características básicas del antes mencionado protocolo.

## 2.2. DIRECCIONAMIENTO IP

Una dirección IP, es un conjunto de números separados por puntos que sirven para identificar el nombre exacto de un dominio o un equipo dentro de una red. Es el identificador único que sirve para localizar a un equipo (NeoAttack), incluso portal online dentro de una red o dentro de internet (NeoAttack).

La dirección IP cuenta con dos características, la primera es identificar a la RED mientras que la segunda caracterización está ligada a la identificación de la máquina dentro de una red. Un conjunto de máquinas que pertenecen a una red requieren la misma numeración de red para hacer posible la navegación (Torres, 2017), tal como se observa en la figura 1.

La numeración de una máquina es capaz de identificar a una workstation, servidor, router, o algún dispositivo que soporte TCP/IP conectado a una red, entonces se puede determinar que cada host consta de una dirección IP única. (Delgado, 2018)

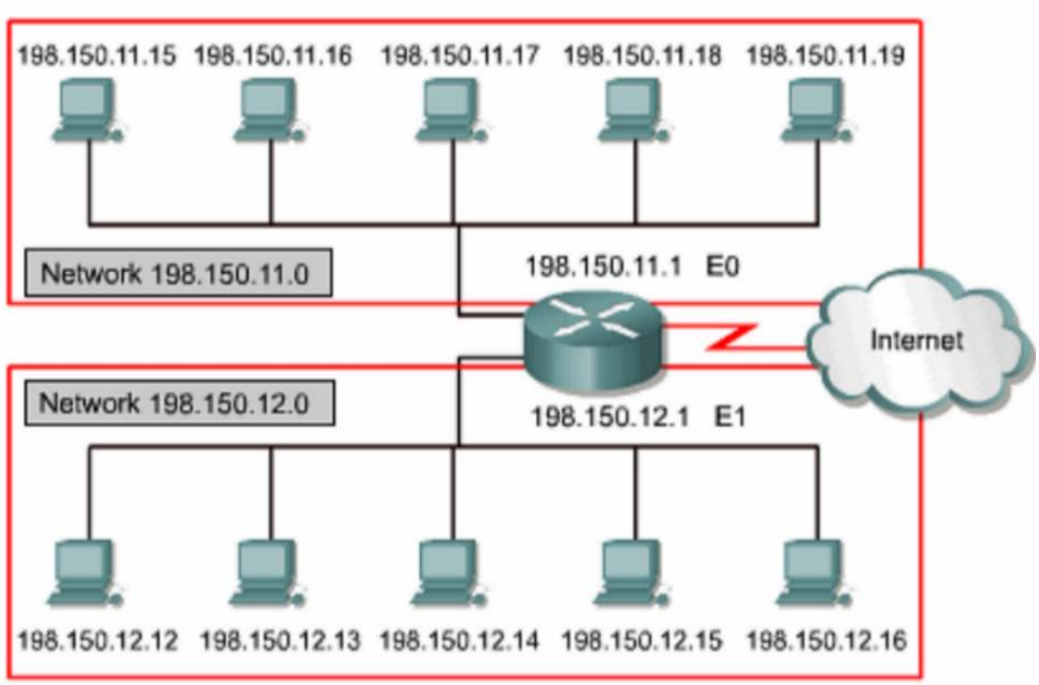



***Figura 1.*** *Ejemplo de un Diagrama de Direccionamiento IP*

*Fuente:* (Atom, 2015)

### 2.2.1. GENERALIDADES DE IPV6

IPV6 (*Protocolo de Internet versión 6*) también conocido como IPng (Protocolo de Internet de Siguiente Generación) corresponde a la nueva versión del protocolo de internet, que ha sido planteado por el IETF (Internet Engineering Task Force) para poder reemplazar a la versión actual IPV4 (Ramírez & Cervantes, 2005). El principal motivo para desarrollar otro protocolo de internet es la falta de direcciones IP, puesto que IPV4 consta de un espacio de direcciones de 32 Bits, mientras que IPV6 propone un espacio de 128 Bits (Ramírez & Cervantes, 2005).

Otras desventajas de IPV4 están relacionadas en cuanto a las dimensiones de las tablas de ruteo en un backbone de Internet, porque debido al tiempo de respuesta tan prolongado no resulta un sistema eficaz, cabe recalcar que la escalabilidad para validación de nuevos recursos es otra complicación que se derivan en dificultades abismales en cuanto a la calidad de servicio (QoS), seguridad y movilidad (Ramírez & Cervantes, 2005).

La solución ante todos los problemas descritos en IPV4, corresponden al desarrollo del protocolo IPV6 capaz de brindar un mayor espacio de direcciones puesto que soportará 128 Bits, lo que implica un mayor nivel de jerarquías del direccionamiento y a su vez se consigue más nodos direccionables (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008).

IPV6 es apto de poder manejar una mejor organización de direccionamiento, así como lograr una minimización de las tablas de enrutamiento, enfocándose en la flexibilidad de una topología, en donde las direcciones pueden ser configuradas, proporcionando de esta manera una seguridad integrada con una mayor compatibilidad en cuanto a la calidad de servicio (QoS), haciéndose capaz de poder interaccionar con nodos vecinos y fortaleciendo la capacidad de ampliación. (Turmero, 2014)

### 2.2.2. DIFERENCIAS EN EL ENCABEZADO IPV4 vs IPV6

IPV6 integró una serie de cambios con respecto a IPV4 en donde se agregó información en un paquete por medio del uso del encabezado, en la figura 2 se identifica los campos que componen la cabecera de IPV4 y de IPV6. (Prado Rueda, 2014)


a) IPV4 b) IPV6

***Figura 2.*** *Estructuramiento de Encabezados: a) IPV4, b) IPV6*

*Fuente:* (Prado Rueda, 2014)

A continuación, en la tabla 1, se hace un análisis comparativo de cada uno de los campos de las cabeceras de IPV4 y de IPV6.

***Tabla 1.*** *Diferenciación de Encabezados de IPV4 vs IPV6*

| **CABECERA IV4** | **CABECERA IPV6** |
|---|---|
| ✓ La sección de color rojo corresponde a elementos eliminados en el encabezado de IPV6.<br>✓ La sección de color azul, en IPV6 se modificó de nombre y de posición.<br>✓ La sección de color amarillo no presenta cambios en el encabezado de IPV6. | |
| Secciones Eliminadas | Secciones Modificadas |
| **IHL** (*Longitud del encabezado IP)(4 bits)*<br>El valor IHL combinado con el Total Length permite al equipo conocer cuántos bytes existen en la carga útil o denominado payload, es necesario especificar que el tamaño de encabezado en IPV4 es variable. | **TRAFFIC CLASS** *(8 bits)*<br>Es capaz de almacenar la información de precedencia, clase de servicio, describiendo la misma funcionalidad que el Type of Service de IPV4. |
| **IDENTIFICATION/FLAGS/FRAGMENT OFFSET** (*32 bits*)<br><br>Todos estos elementos se disponen para manejar la fragmentación de paquetes. | **PAYLOAD LENGTH** (*16 bits)*<br><br>IPv6 tiene un encabezado fijo de 40 bytes, entonces no es necesario conocer el tamaño de la información |

| | |
|---|---|
| | útil del paquete, entonces no existe la necesidad de efectuar rutinas de búsqueda como en IPV4. |
| **HEADER CHECKSUM** (*16 bits)*<br><br>Se aplica un algoritmo para saber si el encabezado esta defectuoso o ha sido modificado, en IPV6 se elimina esta sección y la revisión de los paquetes y se encarga al CRC en capa 2. | **NEXT HEADER** (*8 bits)*<br><br>Permite identificar el protocolo al que pertenece la información por ejemplo TCP, UDP, ICMPv6.<br>Además, permite la opción de conocer si existe opciones dentro del paquete. |
| **OPTIONS**<br><br>Esta sección tiene un tamaño variable y es capaz de contener datos de la información de los paquetes que no se pudieron integrar en los otros campos del encabezado, por lo que hace el encabezado de IPV de tamaño variable. | **HOP LIMIT** (*8 bits)*<br><br>Cumple la misma función que el TTL en IPV4 , solo se realizó el cambio de nombre porque este parámetro se encarga de un contador de saltos, y no un contador de tiempo. |
| **PADDING**<br><br>Corresponde a una serie de bits de proporcionalidad “0” cuyo objetivo es alinear el encabezado a un múltiplo de palabras de 32 bits. | |

*Fuente (Prado Rueda, 2014)*

### 2.2.3. MODELOS DE DIRECCIONAMIENTO IPV6

Las interfaces están identificadas por direcciones, por lo menos deben tener una dirección de enlace local (Link-Local) de tipo Unicast. Pero a su vez una interfaz es capaz de poder tener asignada varias direcciones de tipos Unicast, Anycast, Multicast o Ámbito (Scope). (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

En IPV6 los prefijos de subred siguen el mismo modelo de IPV4, en donde el prefijo se puede asociar a un enlace, pudiendo haber varios prefijos en el mismo, entonces IPV6 ha determinado la existencia de 3 tipos de direcciones. (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

- ✓ **Unicast** (*one to one*)**:** Identificador utilizado para una interfaz simple, es decir de uno a uno, con este modelo de direccionamiento el paquete se envía desde un único emisor a un único receptor, así como se muestra en la figura 3. En un grupo de trabajo que contemplen la utilización del modelo Unicast existirán varios usuarios que soliciten el mismo tipo de información en el mismo tiempo, el servidor responderá todas las peticiones de los usuarios con la información que fue solicitada (Rosales, 2009). Cabe mencionarse que se envía el tráfico de manera aislada a cada equipo que solicitó la información (Rosales, 2009).

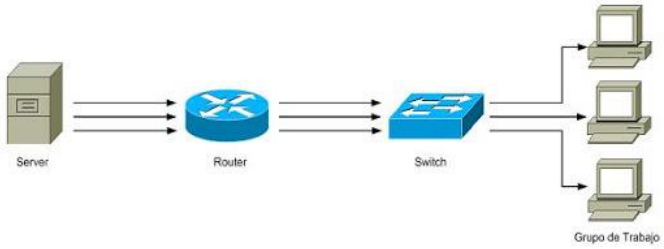



***Figura 3****. Direccionamiento Unicast (One to One)*

*Fuente: (Rosales, 2009)*

- ✓ **Anycast:** Es el identificador de un conjunto de interfaces, pertenecientes a diferentes nodos, si se envía un paquete con dirección Anycast se entregará a las interfaces de la dirección de acuerdo a la distancia del protocolo de ruteo, la figura 4, confirma la funcionalidad de direccionamiento Anycast. (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

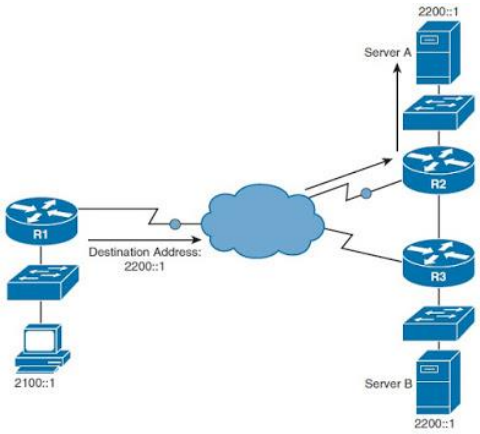



***Figura 4.*** *Direccionamiento Anycast*

*Fuente: (Abosallout, 2015)*

- ✓ **Multicast:** Identificador empleado para un conjunto de interfaces los mismo que pertenecen a diversos nodos. La figura 5, corresponde a una transmisión de uno a varios, en donde se envía los datos a múltiples destinos simultáneamente. (Rosales, 2009)

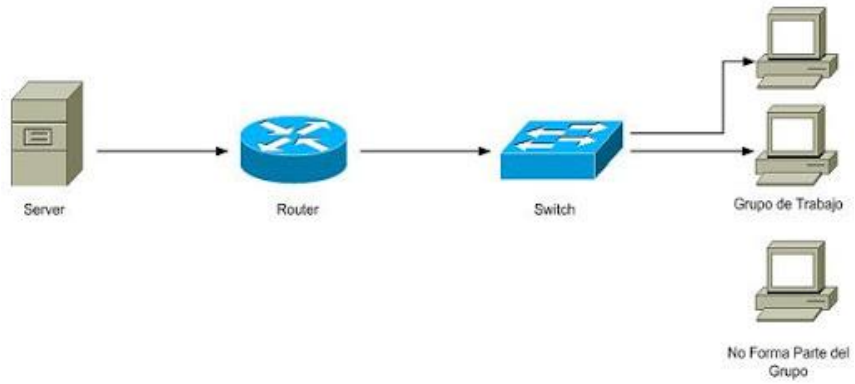



***Figura 5.*** *Direccionamiento Multicast*

*Fuente (Rosales, 2009)*

### 2.2.4. ÁMBITOS IPV6

El protocolo IPV6 integra una serie de direcciones que contemplan diferentes ámbitos, entonces se podrá obtener direcciones globales y no globales. En IPV4 se utilizaban direccionamientos no globales con la ayuda de los prefijos de redes privadas, mientras que en IPV6 esta temática ya es parte de la arquitectura del direccionamiento. (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

Cada dirección IPV6 tiene un ámbito con la capacidad de poder identificar a una o varias interfaces, entonces el ámbito de cada dirección formará parte de la misma dirección y se podrá diferir fácilmente. (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

La tabla 2, especifica los tres ámbitos de las direcciones Unicast.

***Tabla 2****. Dirección Unicast y sus tres Ámbitos*

| ÁMBITO | UTILIDAD | DIRECCIÓN |
|---|---|---|
| **Enlace Local** *(Link Local)* | Permite identificar las interfaces de un mismo segmento de red. | **Fe80:.** |

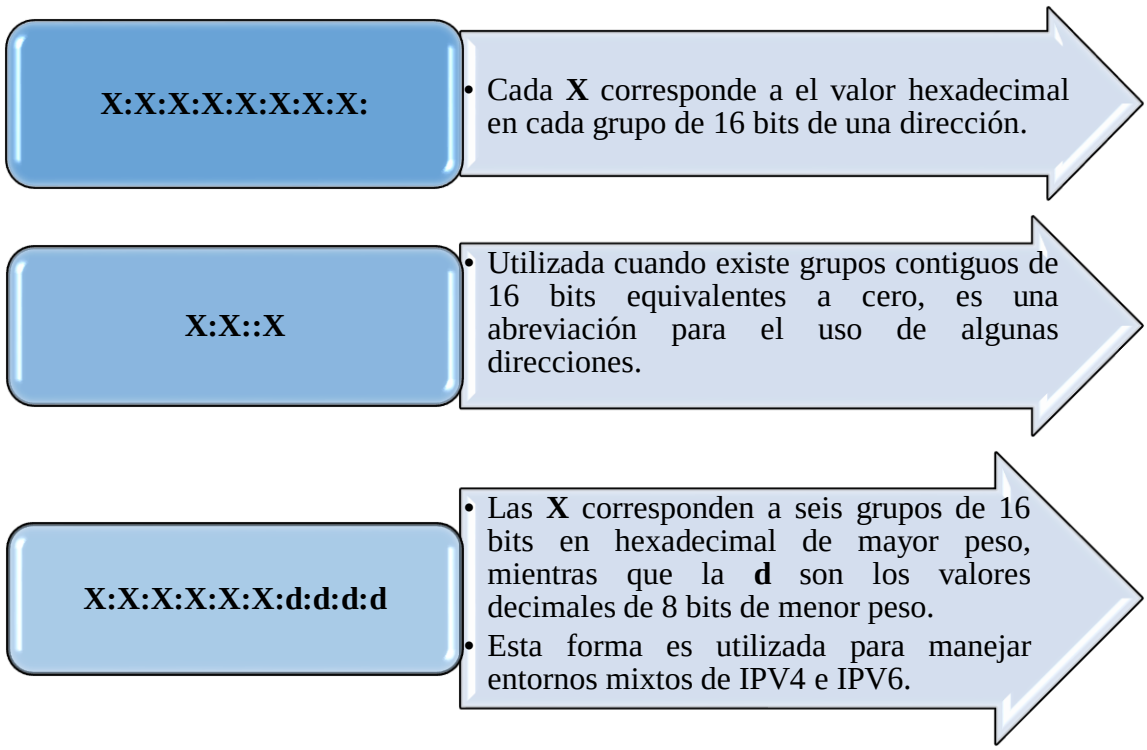
| | | |
|---|---|---|
| **Sitio Local** *(Site-Local)* | Capaz de identificar las interfaces que componen un área topológica de red perteneciente a un edificio o un campus que incumbe a una misma organización. | **Fec0:.** |
| **Global** | Identifica interfaces en todo el internet. | **2001:** ó **3ffe:.** |

*Fuente: (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)*

En las direcciones Anycast persisten las mismas normas que en las direcciones Unicast, mientras que en las direcciones Multicast existen catorce posibles ámbitos capaces de identificar una interfaz local y una dirección global. Los nodos que corresponden a un mismo ámbito y que sean visibles entre ellos se los define como una zona, por lo que no se permite en IPV6 que un router encamine el tráfico entre zonas diferentes. (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)

### 2.2.5. NOMENCLATURA DE LAS DIRECCIONES IPV6

El esquema 1, muestra la nomenclatura de direccionamiento IPV6.




***Esquema 1.*** *Nomenclaturas de Direcciones*

*Fuente (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)*

*(Ramírez & Cervantes, 2005)*

La tabla 3, indica las direcciones ipv6 de acuerdo a la correspondencia Unicast, Multicast, o Loopback.

***Tabla 3.*** *Modelos de Direccionamiento IPV6*

| Representación Normal | Representación Abreviada | Tipo |
|---|---|---|
| 1080:0:0:0:0:8:800:200C:417A | 1080::8:800:200C:417A | Unicast |
| FF01:0:0:0:0:0:0:101 | FF01::101 | Multicast |
| 0:0:0:0:0:0:0:1 | ::1 | Loopback |
| 0:0:0:0:0:0:0:0 | :: | No Especificada |

*Fuente: (Rivera Aragón & Zuluaga Soto, 2008)*

### 2.3. MOVILIDAD

La gestión de movilidad se divide en dos partes, la gestión de la localización y la gestión del handoff que se describen a continuación:

- ✓ **La gestión de localización:** Realiza el mantenimiento de un registro con respecto a los cambios de la posición del nodo móvil (MN) y también se encarga de la localización de un nodo móvil inactivo cuando un nodo externo desea establecer comunicación. (Mangues Bafalluy, Cabellos Aparicio, & Serral Gracia)
- ✓ **La gestión del Handoff:** El objetivo principal es poder mantener las conexiones del nodo móvil activas, aunque éste cambie de manera frecuente el punto de acceso a la red. El proceso de trasferencia de un servicio de una estación a otra se le denomina como *Handoff*. (Mangues Bafalluy, Cabellos Aparicio, & Serral Gracia)

La gestión de movilidad analiza dos perspectivas en cuanto al estatus de una red, el primero corresponde a la micromovilidad cuya funcionalidad está basada de acuerdo a los movimientos producidos dentro de un dominio administrativo que está confinado dentro una zona geográfica determinada, y por otro lado se efectúa el estudio de macromovilidad, en donde se analiza la forma de gestionar los movimientos en extensas y vastas áreas, que usualmente son capaces de contener redes distintas y pertenecer a dominios distintos. (Mangues Bafalluy, Cabellos Aparicio, & Serral Gracia)

### 2.3.1. TERMINOLOGÍA DE LOS PROTOCOLOS DE MOVILIDAD MIPV6-HMIPV6

La tabla 4, explica la terminología empleada en el proceso de simulación de HMIPV6.

***Tabla 4.*** *Terminología de los Protocolos de Movilidad IPV6*

| ELEMENTO | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| Router | Nodo capaz de poder enviar paquetes con dirección IP, los paquetes no necesariamente están direccionados a sí mismo. |
| Mobile Node (MN) | Nodo capaz de cambiar su punto de conexión de un enlace a otro, conservando la comunicación haciendo uso de la dirección local. |
| Interface | Corresponde a una conexión establecida entre un nodo móvil hacia un enlace. |
| Home Address (HAA) | Dirección asignada a un nodo móvil, usada de manera permanente, por lo que esta dirección se encuentra dentro del enlace local del nodo móvil. |
| Correspondente Node (CN) | Nodo que se comunica con el nodo móvil, puede ser de tipo móvil o estacionario. |
| Home Agente (HA) | Es el router que está en el enlace local del nodo móvil, en donde tiene registrada su actual dirección de Care-of address. |
| Care of Address (CoA) | Es una dirección asociada con el nodo móvil mientras visita un enlace foráneo. |
| Mobility Anchor Point (MAP) | Gestiona la movilidad del nodo móvil dentro de un dominio. |
| Access Router (AR) | Este router es predeterminado del nodo móvil, y agrega el tráfico de salida de los nodos móviles. |
| Regional Care of Address (RCoA) | Es una dirección obtenida por el nodo móvil para visitar una red, es auto configurado por el nodo móvil cuando es recibida en el MAP. |
| On-Link Care of Address (LCoA) | Corresponde a la dirección de un enlace de un nodo móvil al igual que el CoA, corresponde a una referencia en cuanto a las direcciones que se obtienen del nodo móvil. |
| Local Binding Update (LBU) | El nodo móvil envía una actualización del enlace local al MAP con el objetivo de poder establecer una vinculación entre RCoA y LCoA. |

*Fuente: (Soliman, Castelluccia, El Malki, & Bellier, 2005)*

### 2.3.2. GENERALIDADES DE LA MACROMOVILIDAD – MIPV6

La IETF (Internet Engineering Task Force) implementó un nuevo modelo de movilidad que soluciona varios problemas como por ejemplo la recepción de mensajes multimedia, distribución de noticias, integración de comunicación vocal, y que gracias a IPV6 se ha podido efectuar y utilizar el modelo de conectividad. (Mangues Bafalluy, Cabellos Aparicio, & Serral Gracia)

MIPV6 es el protocolo de solución ante los problemas de macromovilidad los cuales están descritos dentro de la RFC 3775 es capaz de permitir a sus usuarios una conexión permanente a Internet, aun cuando el dispositivo abandona su red local, pero es necesario especificar que cuenta con limitaciones a los territorios más pequeños ligados a la micromovilidad. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

#### 2.3.2.1. VENTAJAS DE MIPV6

Mobile IPV6 no pretende resolver todos los problemas con relación al uso de ordenadores móviles o redes inalámbricas. Las principales ventajas que presta este protocolo son:

- ✓ Manejo de los enlaces con conectividad unidireccional o parcial.
- ✓ Control de acceso a un nodo móvil que visite el enlace determinado.
- ✓ Formas locales o jerárquicas en cuanto a la gestión de movilidad.
- ✓ Enrutadores móviles.
- ✓ Descubrimiento de servicios.
- ✓ Permite distinguir los paquetes perdidos a causa de errores en una red de congestión. (Carvajal Escobar, Santos Jaimes, & Rico Bautista, Diciembre, 2013)

#### 2.3.2.2. OPERACIÓN DE MIPV6

En la figura 6, se muestra un escenario que consta con tres enlaces y tres nodos, en donde sobre el enlace A reside un router que ofrece el servicio de agente local (HA), a su vez éste corresponde al enlace local del nodo móvil (MN). El nodo móvil ha realizado un movimiento desde el enlace A hasta el enlace B, adicionalmente existe un nodo correspondiente (CN) sobre el enlace C, este nodo puede ser de tipo móvil o estacionario,

entonces la operación de este protocolo se basa en que el nodo móvil obtiene su dirección de móvil en la red que ha visitado siendo el enlace B, por lo que, el nodo móvil (MN) registra la dirección en el agente local (HA).

Finalmente, el nodo correspondiente (CN) envía los paquetes hacia el agente local (HA) y este se encarga de tunelizarlos hacia el nodo móvil (MN), que a su vez asocia una dirección de nodo móvil (MN) con una dirección del agente local (HA) donde se registra la dirección con el propósito de optimizar la ruta. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

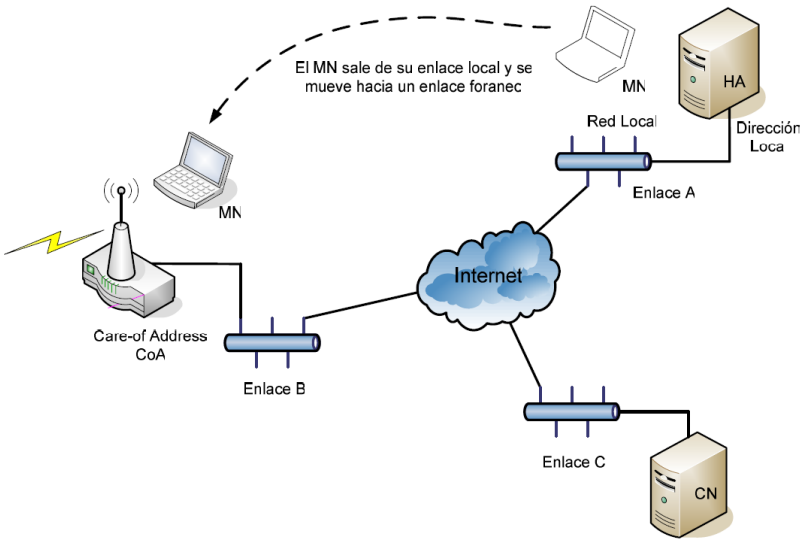



***Figura 6.*** *Operación del Protocolo MIPV6*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

### 2.3.3. GENERALIDADES DE LA MICROMOVLIDAD-HMIPV6

Hierarchical Mobile IPV6, está diseñado como una extensión del protocolo MIPV6, con el objetivo de poder mejorar la gestión de la movilidad local mediante la simplificación en la cantidad de señalización establecida entre el nodo móvil (MN), el nodo correspondiente (CN) y el agente local (HA), esto se puede lograr añadiendo un nuevo nodo denominado como Mobility Anchor Point (MAP), cuya función es el gestionar la movilidad del nodo móvil (MN) dentro de su dominio logrando un mejor desempeño en cuanto a la velocidad de handover. Al igual que el protocolo MIPV6 permite la capacidad de poder brindar movilidad dentro o entre diversas redes de acceso y reduciendo así de

manera significativa la latencia del handover en los casos de micromovilidad. La funcionalidad del MAP es equitativamente igual a la del agente local (HA), donde todo nodo móvil que ingresa al dominio recibe anuncios del router, los cuales engloban información sobre uno o más MAPS locales. Por lo tanto, el MAP será capaz de poder recibir los paquetes dirigidos al nodo móvil (MN), los encapsulará y los enviará a la dirección actual del nodo móvil (MN), si el nodo móvil cambió de dirección el MAP se encargará de registrar la nueva información y hará transparente la movilidad entre el nodo Móvil (MN) y el Nodo Correspondiente (CN). (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

#### 2.3.3.1. OPERACIÓN DE HMIPV6

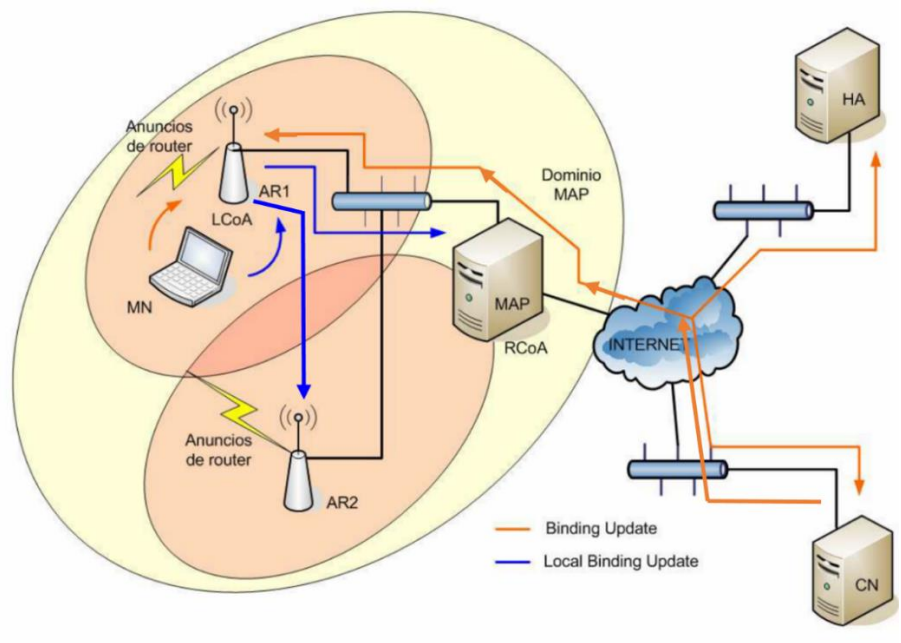



***Figura 7.*** *Operación del Protocolo HMIPV6*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

La operación de HMIPV6 se describe en términos generales en base a la figura 7. El nodo móvil (MN) identifica la dirección global del MAP cada vez que el dominio se traslada a una red visitada, con la única finalidad de poder informar al nodo móvil (MN) de la presencia del MAP. La dirección del MAP es almacenada en el router de acceso (AR) que a su vez se comunica si existiese otro router, con la finalidad de que el nodo móvil (MN) envíe un requerimiento a otro nodo y se establezca la oportunidad de que la

información de la dirección de nodo móvil (MN) se quede únicamente en el MAP sin la necesidad de poder reenviar la información hasta el nodo Correspondiente (CN) porque si este fuera el caso se debe realizar obligatoriamente la comunicación con el agente local (HA) para que guarde la información de la dirección actual, esto conlleva a un incremento en la latencia. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

#### 2.3.3.2. TIPOS DE MENSAJES EN HMIPV6

En el proceso de movilidad el intercambio de información es un requerimiento de gran importancia, porque todos los nuevos mensajes son considerados como una opción de destino del protocolo de internet IPV6. Todas las opciones que se presentan en los protocolos de movilidad propone la capacidad de conllevar información adicional que se necesite aprobar debido a que el nodo de destino maneja todos los presentes cambios y debe realizarse una continua actualización. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008) En el esquema 2, se puede verificar las cuatro opciones del destino las que son definidas por los protocolos de movilidad, utilizados tanto para la macromovilidad como la micromovilidad:

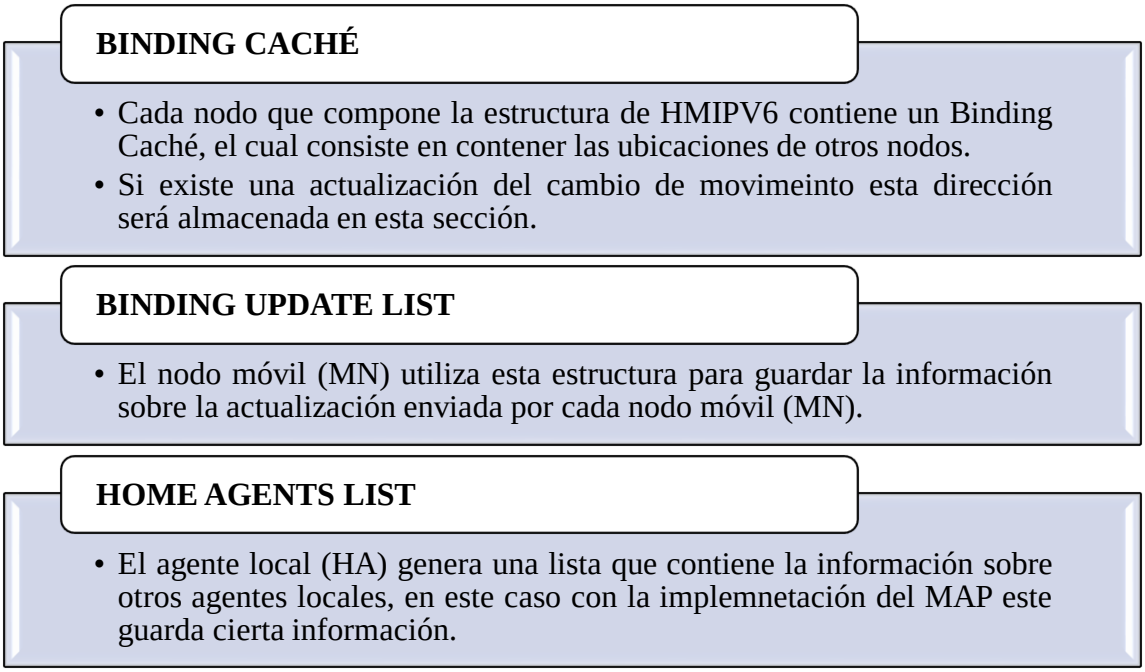
| | |
|---|---|
| **BINDING UPDATE (BU)** | • Opción utilizada por el nodo móvil (MN), para informar al agente local (HA) o al nodo correspondiente de la actualización de la información de una nueva dirección IP. |
| **BINDING ACKNOWLEDGEMENT (BAck)** | • Es una opción utilizada para poder confirmar la recepción de un Binding Update (BU), en el caso que el reconocimiento fue solicitado. |
| **BINDING REQUEST (BR)** | • Esta opción se emplea por cualquier nodo para solitar al nodo móvil (MN) el envío de un Binding Update (BU) con la actual dirección foránea. |
| **HOME ADDRESS (HAA)** | • Implementada para que el paquete que se haya enviado por el nodo móvil informe al receptor sobre la dirección del nodo móvil (MN). |

***Esquema 2.*** *Opciones de Mensajes en Movilidad IPV6*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

### 2.3.3.3. ESTRUCTURAMIENTO DE DATOS DE HMIPV6

Las especificaciones de las estructuras de los datos se enfocan al igual que el protocolo MIPV6 en el esquema 3, se podrá notar las principales funcionalidades de cada estructuramiento.




***Esquema 3.*** *Estructuramiento de Datos*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

### 2.3.3.4. OPERACIÓN DEL NODO MÓVIL (MN)

La movilidad del nodo móvil (MN) dentro de un dominio del MAP requiere que se configure la dirección de las redes foráneas, para esta investigación se manejó direcciones IPV6 las cuales estarán establecidas de acuerdo a cada interfaz determinada entre los nodos. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

El nodo móvil (MN) necesita descubrir el emisor original de un paquete recibido, con la finalidad de optimizar la ruta requerida, debido a que el MAP no es capaz de modificar el contenido del paquete porque toda esta información es manejada por el nodo móvil (MN). (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

La figura 8, indica la operación del nodo móvil (MN) dentro del protocolo HMIPV6.

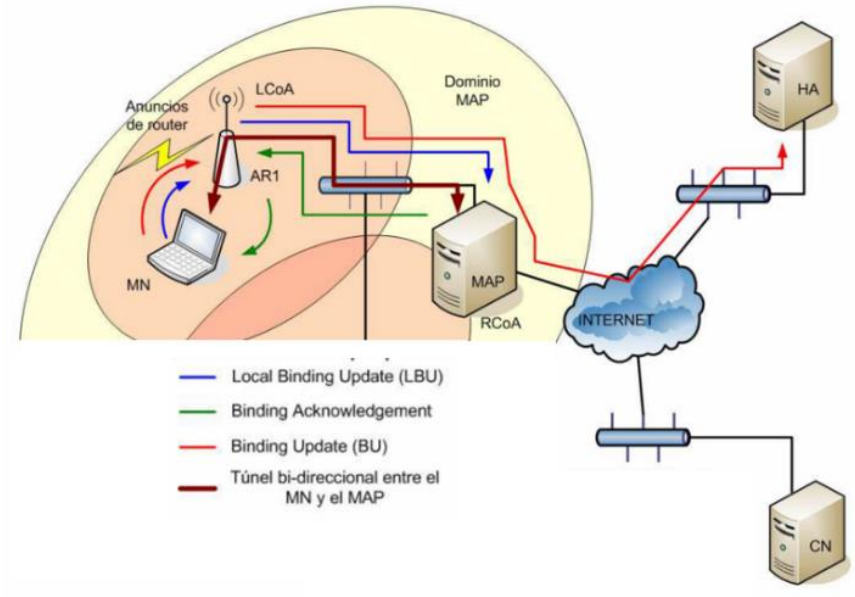



***Figura 8.*** *Operación del Nodo Móvil (MN)*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

- ✓ El nodo móvil envía una actualización del enlace local (LBU) al MAP con la finalidad de poder registrar y configurar las direcciones RCoA y LCoA.
- ✓ El MAP envía un binding acknowledgement (BAck) al router de acceso (AR), para poder determinar si la actualización fue correcta.
- ✓ Con estos pasos se estableció un túnel bidireccional entre el router de acceso (AR) y el MAP.
- ✓ Si existe otro router de acceso (AR) se pretende realizar la comunicación entre los dos con el propósito de que se puedan comunicar entre sí y se maneje la información de acuerdo al requerimiento, entonces se actualiza la posición del nodo móvil (MN). (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

### 2.3.3.5. OPERACIÓN DEL NODO CORRESPONDIENTE (CN)

El nodo móvil (MN) puede comunicarse con el nodo correspondiente (CN) mediante el agente del agente local (HA) estableciendo una ruta optimizada, siempre se verifica que la información inicial esté comprobada y analizada entre los nodos que corresponden al agente local (HA) y al nodo correspondiente (CN), con la única finalidad de que si se

genera un Binding Request (BR) por parte de la nube de internet, los datos que han sido guardados entre estos nodos respondan al llamado de acuerdo a las necesidades que envíe el MAP para poder actualizar el Binding Caché es decir la lista de las nuevas ubicaciones solicitadas por parte del nodo móvil (MN). (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

#### 2.3.3.6. OPERACIÓN DEL MAP

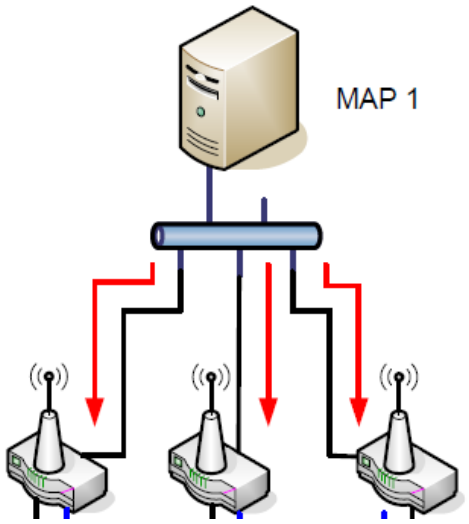



***Figura 9.*** *Operación del MAP*

*Fuente: (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)*

El MAP tiene la funcionalidad similar a la de un agente local (HA), intercepta todos los paquetes que han sido direccionados desde la nube de internet, porque entre el nodo correspondiente (CN) y el agente local (HA) se ha verificado las listas con las direcciones de los diversos nodos que componen la red HMIPV6, entonces una vez que ha sido consolidada la información de los nodos, el MAP permite la posibilidad de aceptar los paquetes debido a que los routers de acceso (AR) envían un binding Request con la información de más routers de acceso si es que existen, tal como se observa en la figura 9, con la finalidad de que puedan llegar los paquetes que han sido tunelizados hasta los nodos móviles (MN), reduciendo la latencia entre el agente local (HA) y el nodo móvil (MN). (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

### 2.3.3.7. OPERACIÓN DEL ROUTER DE ACCESO (AR)

Los routers de acceso (AR) pueden ser configurados dinámicamente con la información respecto a las opciones del MAP, tomando en cuenta que el MAP siempre debe estar configurado de acuerdo a la información que perciba desde el nodo correspondiente (CN) y el agente local (HA). Entonces los routers de acceso (AR) deben ser configurados para que establezcan conexión entro ellos, guardando de esta manera las nuevas direcciones que se han registrado. (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez, 2008)

## 2.4. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

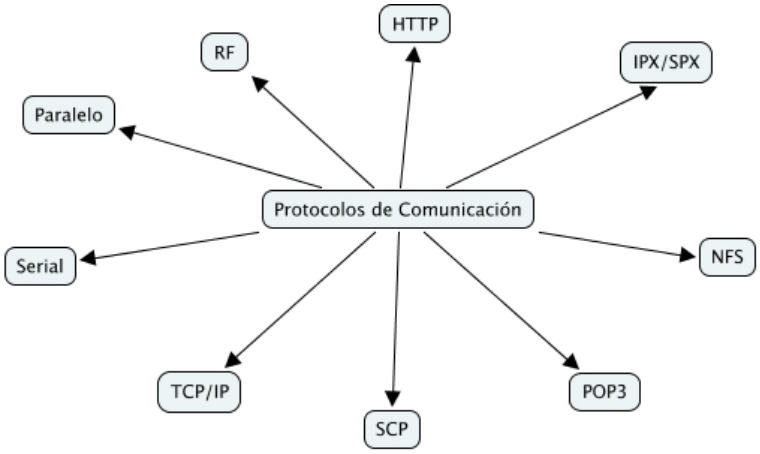



***Figura 10.*** *Protocolos de Comunicación*

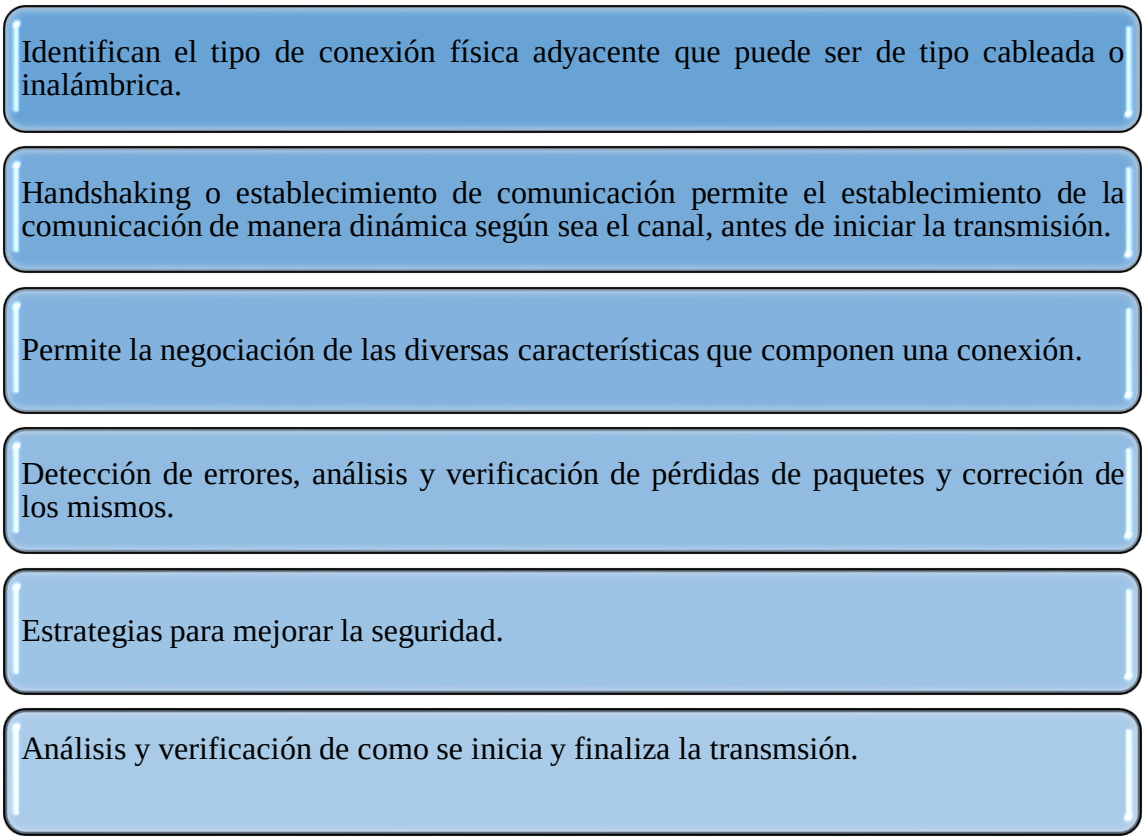
*Fuente: (Caymans, 2018)*

El propósito general en la comunicación de datos es resolver problemas vinculados a la transferencia de información desde un emisor a un receptor sin presentar pérdidas, utilizando herramientas capaces de codificar la información para realizar la transmisión. En el proceso de comunicación el protocolo es un componente principal porque corresponde a una serie de reglas que permite el intercambio ordenado y secuencial de datos en una red, sin importar cualquier variación en una magnitud física. Con la implementación de protocolos de comunicación se puede determinar la sintaxis, la semántica y la sincronización de las comunicaciones, al igual que la aplicación de

métodos para detección y corrección de errores, en la figura 10, se enlista algunos de los protocolos más significativos en un proceso de comunicación. (Caymans, 2018)

### 2.4.1. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación varían de acuerdo al propósito y en la capa que se implementen, en el esquema 4 se van a detallar propiedades globales.




***Esquema 4.*** *Características de los Protocolos de Comunicación*

*Fuente: (Caymans, 2018)*

### 2.4.2. GENERALIDADES DEL MODELO OSI

En los años 80 la Organización Internacional para la Normalización (ISO) desarrolló un modelo conceptual denominado como Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos, actualmente conocido como modelo OSI. (Tomasi)

El modelo OSI está integrado por siete capas, desarrolladas para facilitar las comunicaciones del equipo que procesa los datos y a su vez separa la responsabilidad que cada capa cumple en el proceso de transmisión. El objetivo principal de esta jerarquía es el establecimiento de la comunicación con computadoras que pertenezcan a diversos niveles, porque cada capa es independiente una de otra, la desventaja principal del modelo OSI es con respecto a su arquitectura ya que la información de los encabezados corresponde a información que debe pasar entre capa y capa. (Tomasi)

### 2.4.3. CAPAS DEL MODELO OSI

La tabla 5, especifica las 7 capas del modelo OSI y la funcionalidad de cada capa que compone esta jerarquía.

***Tabla 5.*** *Descripción de Funcionalidad de las Capas del Modelo OSI*

| Capas del Modelo OSI | Descripción |
|---|---|
| Capa 1 ***Física*** | Define las especificaciones físicas como eléctricas de los dispositivos. |
| Capa 2 ***Enlace de Datos*** | Facilita el direccionamiento físico y procedimientos de acceso al medio. |
| Capa 3 ***Red*** | Responsable del proceso de direccionamiento lógico y el dominio del enrutador. |
| Capa 4 **Transporte** | Proporciona el transporte de manera confiable y realiza el control del flujo en la red. |
| Capa 5 ***Sesión*** | Administra, establece y finaliza con las conexiones establecidas entre las aplicaciones locales y remotas. |
| Capa 6 ***Presentación*** | Capacidad de transformación para cambiar el formato de los datos y proporcionar una interfaz estándar para su viabilidad en la capa de aplicación |
| Capa 7 ***Aplicación*** | Encargado de prestar los servicios de red para las aplicaciones |

*Fuente: (Aeross, 2013)*

### 2.4.4. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN EL MODELO OSI

La tabla 6, contiene algunos de los protocolos de comunicación más importantes, de acuerdo a la capa en que trabajan.

***Tabla 6.*** *Protocolos de Comunicación dentro del Modelo OSI*

| MODELO OSI | PROTOCOLOS | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| Capa 1 ***Física*** | ✓ Cable Coaxial<br>✓ Fibra óptica<br>✓ Microondas<br>✓ RS-232 RS-485 | Corresponden a medios de transmisión con el objetivo de crear señales ópticas, eléctricas o de microondas que representen a los bits, para poder surgir a la próxima capa. |
| Capa 2 ***Enlace de Datos*** | ✓ ARP<br>✓ Ethernet<br>✓ Fast Ethernet<br>✓ FDDI<br>✓ ATM<br>✓ CSMA | **ARP:** Permite la asignación de las direcciones dinámicas entre una dirección IP y una dirección de hardware (Walton, CCNA Desde Cero, 2017).<br>**ETHERNET:** Especifica la estandarización para conectar y señalar los estándares de la capa de acceso hacia la red.<br>**CSMA:** Protocolo de control de acceso al medio cuya funcionalidad es verificar la ausencia de tráfico antes de realizar la transmisión en un medio compartido como por ejemplo un canal electrónico o el espectro electromagnético |
| Capa 3 ***Red*** | ✓ IPV4<br>✓ IPV6<br>✓ ICMPV4<br>✓ ICMPV6 | **ICMP:** Proporciona los comentarios de un host de destino a un host de origen con respecto a la detección de errores en la entrega del paquete (Walton, CCNA Desde Cero, 2017), además en la v6 se encarga de realizar diagnóstico a nivel de la red.<br>**IP:** Su funcionalidad está basada en el uso bidireccional entre el emisor y el receptor para transmitir datos mediante el protocolo no orientado a conexión que es utilizado para transferir paquetes a través de las redes física entrelazadas con anterioridad. |
| Capa 4 **Transporte** | ✓ TCP<br>✓ UDP | **TCP:** Establece las conexiones para enviar un flujo de datos, garantizando la entrega de los datos al destino sin errores y en el mismo orden que fueron transmitidos<br>**UDP:** Permite enviar datagramas a través de la red sin la necesidad que se haya establecido una conexión previa, porque el datagrama ya contiene la información suficiente de direccionamiento en su cabecera. |
| Capa 5 ***Sesión*** | ✓ NETBIOS<br>✓ RPC | **NETBIOS:** Encargado del establecimiento de la sesión además de mantener la conexión, es necesario puntualizar que este protocolo debe transportarse entre las máquinas mediante otros protocolos. |

| | | |
|---|---|---|
| Capa 6 ***Presentación*** | ✓ ASN.1 | **ASN.1:** Representa los datos independientemente del host que se esté utilizando y sus formas de representación interna. |
| Capa 7 ***Aplicación*** | **Sistema de nombres**<br><br>✓ DNS<br><br>**Configuración de host**<br><br>✓ DHCP<br>✓ BOOTP<br><br>**Correo Electrónico**<br><br>✓ SMTP<br>✓ POP<br>✓ IMAP<br><br>**Transferencia de archivos**<br><br>✓ FTP<br>✓ TFTP<br><br>**WEB**<br>✓ HTTP | <br><br>**DNS:** Capacidad de traducción en los nombres de los dominios como por ejemplo unach.edu.ec a direcciones IP.<br><br><br><br>**DHCP:** Asignación de las direcciones IP de forma dinámica a un host, las asigna de acuerdo al no ser utilizadas por otros.<br>**BOOTP:** Admite la habilitación de una estación de trabajo para poder descubrir su propia dirección IP.<br><br><br>**SMTP:** Habilita la opción de que los clientes puedan enviar un correo electrónico a un servidor de correo.<br>**POP:** Brinda la oportunidad de que los clientes puedan recuperar un correo electrónico de un servidor de correo.<br>**IMAP:** Capacidad para acceder a correos electrónicos que han sido almacenados en un servidor de correo.<br><br>**FTP:** Establece las condiciones para permitir a un usuario en un host acceder y transferir los archivos a otro host de una red.<br>**TFTP:** Protocolo utilizado para entregar archivos sin acuse de recibo, necesita de menos sobrecarga que FTP.<br><br><br>**HTTP:** Instaura reglas para el intercambio de textos, sonidos, imágenes y videos en la World Wide Web (www). |

*Fuente: (Caymans, 2018) (Walton, CCNA Desde Cero, 2017) (Aeross, 2013)*

## 2.5. NETWORK SIMULATOR

***Figura 11.*** *Logotipo de NETWORK SIMULATOR*

*Fuente: https://www.nsnam.org/*

NS-3 es un simulador de redes opensource estructurado en base a eventos discretos, se utiliza fundamental para ambientes educativos y de investigación, fue creado en la Universidad de Barkeley para modelar redes de tipo IP, en la figura 11, se identifica el logotipo del software. En la simulación se aprecia el estructuramiento o topología de la red implementada y se mide el tráfico de los paquetes que poseen, en donde el objetivo es crear un diagnóstico que muestre el comportamiento de una red con diversas características. (Herrera , 2004)

Brinda la posibilidad de simular protocolos TCP, UDP, Routing, Wireless, está desarrollado en lenguaje C++, además es un software libre que utiliza interfaces extras para poder visualizar las simulaciones, la versión actual de Network Simulator es la versión 3 diseñada para poder cubrir con las necesidades esto implica desde la configuración inicial hasta la recolección de información. (Herrera , 2004)

### 2.5.1. COMPARACIÓN ENTRE LAS VERSIONES NS2 – NS3

La tabla 7, establece las diferencias que presenta Network Simulator en sus dos versiones.

***Tabla 7.*** *NS2 vs NS3*

| NS2 | NS3 |
|---|---|
| Utilizado para simulaciones de red cableadas e inalámbrica | Usado para simulaciones de redes de Internet. |

| | |
|---|---|
| Presenta una amplitud en cuanto a ejemplos de estructuras y topologías de red. | No es compatible con versiones de NS2, está construido desde cero para poder reemplazar la versión 2 |
| La depuración es compleja. | Estructurado en lenguaje C++, puede hacer provecho de programación en Python opcionalmente como interfaz visual. |
| Están estructurados en OTcl y se puede visualizar mediante Network Animator. | Soluciona problemas de protocolos de movilidad. |
| | Contiene un modo de emulación con lo que se puede integrar con redes reales. |
| | Empleado en tecnología emergentes, es un simulador rápido |

*Fuente: (Dhananjay , 2014)*

### 2.5.2. CARACTERÍSTICAS DE NS-3

Las características de NS-3 buscan mejorar las inconsistencias de NS-2, debido a que es un modelo inspirado en la versión anterior pero programado y diseñado desde cero, a continuación, se detalla algunas de las características de esta versión:

- ✓ NS3 necesita depurar un solo lenguaje de programación.
- ✓ Crear un gran avance en cuanto a la cercanía de los modelos y topologías con el mundo real, porque tiene menos abstracción.
- ✓ Maneja direcciones IP reales.
- ✓ Múltiples interfaces por cada nodo que se haya implementado en la topología.
- ✓ Los paquetes contienen el tráfico real de la red.
- ✓ Escalable a nivel de escenarios.
- ✓ Capaz de mezclar emulación con experimentación. (Dhananjay , 2014)

### 2.5.3. FUNCIONALIDADES DE NS3

- ✓ Diseñar, crear y/o modificar nuevos protocolos.
- ✓ Mediciones de Throughtput/Goodput, estado de filas, tamaños de paquetes, información de enlaces y nodos.

- ✓ Caracterización de tráfico
- ✓ Visualización y despliegue de información de las simulaciones edición portable dentro del visualizador.
- ✓ Emplea NetAnim para verificar las animaciones de la topología implementada, a su vez utiliza Tracemetrics, para manejo de información de la topología. (Dhananjay , 2014)

# CAPÍTULO III

## 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Este tipo de investigación permite un primer acercamiento al problema que se va a estudiar, su objetivo es encontrar la información adecuada relacionada con el fenómeno del cual no se tiene ningún conocimiento y así poder realizar una investigación de carácter amplio y completo, el beneficio de esta investigación es la extracción de datos y términos con lo que se va a poder generar las preguntas necesarias que permita al investigador encontrar solución de problemas que no fueron tomados en cuenta en trabajos pasados. Los resultados de una investigación exploratoria son considerados como el primer paso inevitable de una investigación para poder fomentar nuevas teorías ante nuevos estudios. (Cazau, 2006)

#### 3.1.2. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación Experimental recopila un conjunto de actividades sistemáticas y técnicas para poder conseguir datos estrictamente necesarios del tema en discusión y plantear las posibles soluciones. Este tipo de investigación se enfoca en la manipulación de variables experimentales no comprobadas, en donde el investigador hace el uso deliberado de la variable y puede observar los fenómenos concurrentes después del experimento. El objetivo de esta exploración depende de las decisiones que maneje el investigador con respecto a las variables establecidas. (Cazau, 2006)

### 3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.2.1. MÉTODO DESCRIPTIVO

Este método científico tiene el objetivo de evaluar características de una situación en particular, para poder obtener datos precisos que puedan aplicarse con la finalidad de aportar significativamente a la investigación.

- ✓ Análisis del diseño de la topología de red del protocolo Hierarchical Mobile IPV6 (HMIPV6).
- ✓ Análisis del funcionamiento de los nodos que componen la topología del protocolo Hierarchical Mobile IPV6 (HMIPV6) con la finalidad de poder reducir la cantidad de paquetes perdidos y minimizar la redundancia de paquetes en la red.

### 3.2.2. MÉTODO INVESTIGATIVO EXPERIMENTAL

- ✓ Realizar la simulación del protocolo Hierarchical Mobile IPV6, implementando el nodo denominado como MAP (Punto de Anclaje Móvil).
- ✓ Efectuar las pruebas de la simulación en el software NS-3, verificar cantidad de paquetes perdidos, tamaño de cada paquete, Throughtput/Goodput, tiempo de ejecución de la simulación, información de direcciones IPV6 en cada nodo.

## 3.3. TÉCNICAS

### 3.3.1. OBSERVACIÓN

En esta investigación resulta vital la utilización de la técnica de observación que consiste en la fijación sistemática ante cualquier evento que se haya producido con respecto a las temáticas que involucran los parámetros de análisis dentro del estudio a realizar. En la presente investigación se considerarán los parámetros: tamaño de cada paquete enviado y recibido, Throughtput/Goodput, tiempo de ejecución de la simulación, información de direcciones IPV6 en cada nodo, pérdida y redundancia de paquetes.

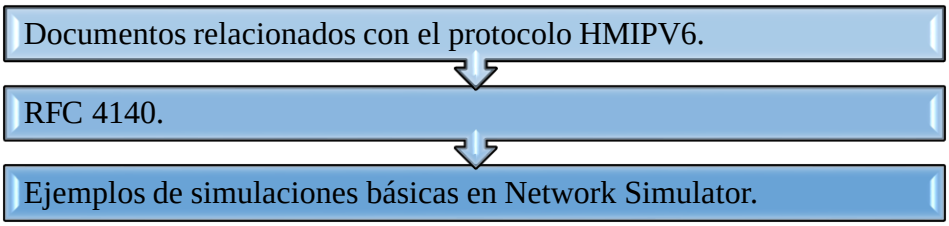
### 3.3.2. FUENTES DE RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

El presente documento consta de información confiable, con respecto a temas relacionados con el protocolo a simular, además de documentación del simulador NS-3, toda esta búsqueda se ha realizado en libros, artículos y propiamente en las especificaciones de la IETF (Internet Engineering Task Force). Igualmente se examinó simulaciones relacionadas con el protocolo jerárquico y resultado de esta investigación se obtiene el documento realizado por (Colmenares Delgado & Rodríguez Rodríguez,

2008) sustentando un principio y enfoque general del trabajo a realizar. Todas las investigaciones referentes a la temática van a ser citadas en el documento dependiendo del caso en que se haga utilidad de la información.

### 3.4. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

En el presente documento se utilizan los instrumentos de investigación para recolectar información y de esta mánera solucionar la problemática planteada con anterioridad. Los recursos empleados se detallan en el esquema 5:




***Esquema 5.*** *Instrumentos de Investigación*

*Fuente: Autora*

### 3.5. PROCEDIMIENTOS

El diseño de la simulación que se plantea en la investigación está conformado por un total de nueves nodos, con una velocidad en cada enlace de 50Mbps con un tiempo de transferencia en cada interface de 5ms, para cumplir con estos requerimientos se efectuarán los pasos especificados en la tabla 8:

***Tabla 8.*** *Procedimientos Realizados para la Obtención de la Simulación del Protocolo HMIPV6*

| | |
|---|---|
| **1.** | Recolección de Información del protocolo HMIPV6, y su correspondiente RFC 4140. |
| **2.** | Información del Simulador NS-3, proceso de instalación y ejemplos básicos para comprender el funcionamiento del software. |
| **3.** | Instalación de NS-3 en la distribución de Linux Ubuntu, la misma que está instalada sobre el virtualizador VirtualBox. |
| **4.** | Instalación de NetAnim para visualización NetAnim y Tracemetrics para obtención de información en cada nodo que conforma la topología. |

| | |
|---|---|
| **5.** | Desarrollo de un ejemplo que corresponde a una topología de red conformado por dos nodos y una conexión punto a punto, con la finalidad de poder entender el comportamiento del simulador. |
| **6.** | Implementación de la topología del protocolo con cinco nodos inicialmente, para verificar la funcionalidad y los requerimientos de acuerdo a la RFC 4140. |
| **7.** | A la anterior topología ya diseñada se agregó 4 nodos más obteniéndose un total de nueve nodos, en esta etapa ya se agregó el direccionamiento IPV6 a cada enlace dependiendo al nodo que corresponde, además se agregó la caracterización con respecto a la velocidad de datos y el tiempo de transmisión de los mismos. Para finalización se añadió las librerías para visualizar en NetAnim y obtener información de la topología con Tracemetrics. |
| **8.** | Análisis del funcionamiento de la topología de HMIPV6, verificación del desempeño de la red, total de paquetes recibidos, perdidos y si existen el caso de paquetes en redundancia, en la etapa de visualización confirmar el traspaso de cada paquete de un nodo hacia a otro validando su posicionamiento de acuerdo al estructuramiento del protocolo HMIPV6. |

*Fuente: Autora*

## 3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

### 3.6.1. ESPECIFICACIÓN DE SOFTWARE

El software empleado en el desarrollo del proyecto de titulación se lo detalla en la tabla 9, incluyendo algunas dependencias con las que se van a trabajar.

***Tabla 9.*** *Especificaciones de Software*

| Indicadores | Software | Versión |
|---|---|---|
| Sistema Operativo | Ubuntu | 16.04 LTS |
| Simulador de Redes | NS-3 | 3.29 |
| Herramienta de Visualización | NetAnim | 3.108 |
| Herramienta de Análisis | Tracemetrics | 1.4.0 |
| **Dependencias para NS-3** | | |
| Python | Requerimiento Mínimo para trabar con C++ en NS-3 | |
| QT4-devel | Habilitación del visualizador NetAnim. | |

*Fuente: Autora*

### 3.6.2. ESPECIFICACIONES DE HARDWARE

En la tabla 10, se especifica todas las características del hardware sobre el que se va a trabajar para la obtención de la simulación del HMIPV6.

***Tabla 10.*** *Especificaciones de Software*

| Indicador | Hardware |
|---|---|
| Memoria Ram / Disco Duro | 16 Gb / 1Tb |
| Procesador | I7-6700HQ 2.60GHz |

*Fuente: Autora*

### 3.6.3. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN NETANIM

NetAnim es una herramienta de animación de red sin conexión que se incluye dentro del paquete de instalación de NS-3, el objetivo de este visualizador es animar la simulación de red NS-3 utilizando un archivo de rastreo XML, este procedimiento se verifica en las figuras 12, 13 14.

- ✓ **cd ns-allinone-3.29 /**
- ✓ **ls**
- ✓ **cd netanim-3.108**


***Figura 12.*** *Ingreso a la Carpeta Contenedora de NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

- ✓ **sudo apt install qt4-default qt4-qmake**
- ✓ **qmake NetAnim.pro**


***Figura 13.*** *Habilitación de Recursos de NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

- ✓ **./NetAnim**

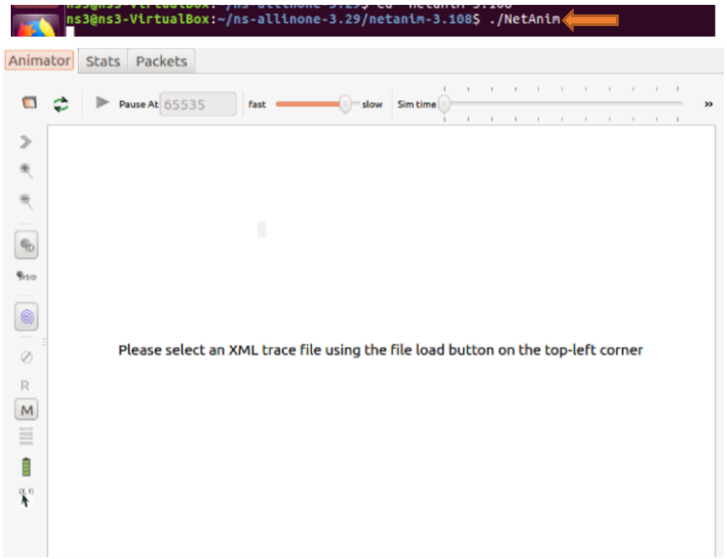



***Figura 14.*** *Entorno NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta NetAnim*

### 3.6.4. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS TRACEMETRICS

Tracemetrics es un analizador de archivos de rastreo para NS-3, que corresponde a un software de código abierto desarrollado en java, con el objetivo de realizar un análisis práctico y rápido del archivo de rastreo producido por las simulaciones de NS-3, calculando métricas útiles para la investigación y la medición del rendimiento.

A continuación, en las figuras desde la 15 a la 19, se despliega la serie de opciones a realizar para conseguir la manipulación de la herramienta Tracemetrics.

- ✓ **cd ns-allinone-3.29 /**
- ✓ **sudo apt install default-jdk**

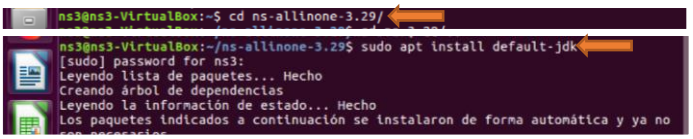



***Figura 15.*** *Habilitación de Complementos de Java*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

✓ Descargar Tracemetrics, posteriormente moverla a la carpeta personal y descomprimirla allí.

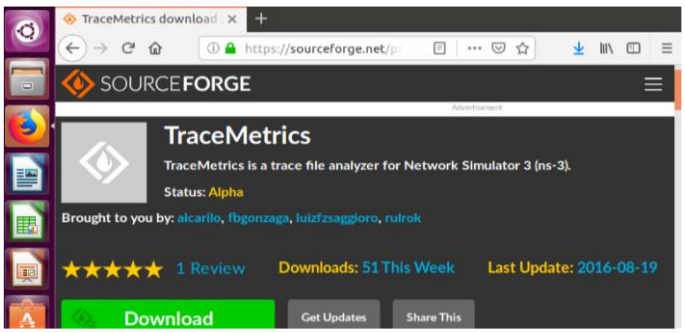



***Figura 16.*** *Página de Descarga de Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

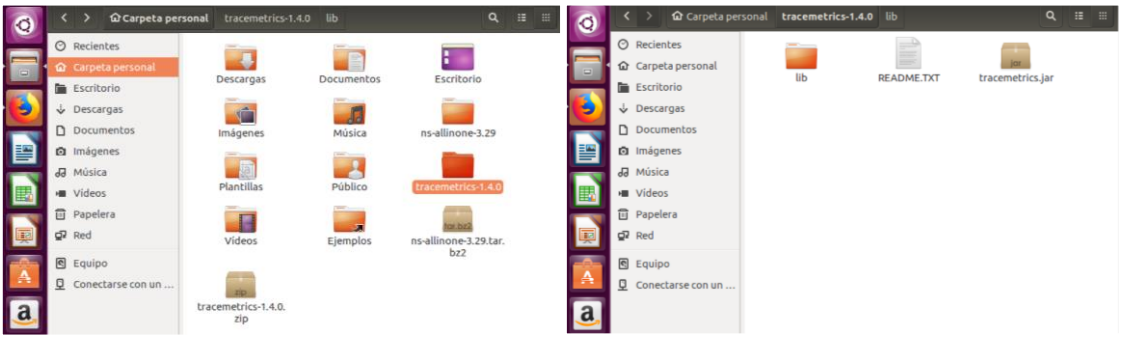



***Figura 17.*** *Archivos de la Carpeta Descomprimida de Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

✓ Finalmente ubicarse en la carpeta personal, regresando un nivel, para efectuar la instalación.

✓ **cd ..**

✓ **ls**

✓ **cd tracemetrics-1.4.0**

✓ **java –jar tracemetrics.jar**

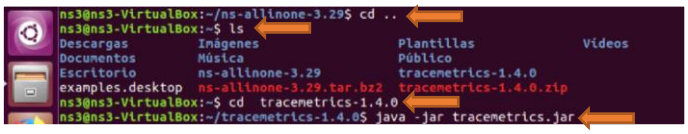



***Figura 18.*** *Instalación de Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

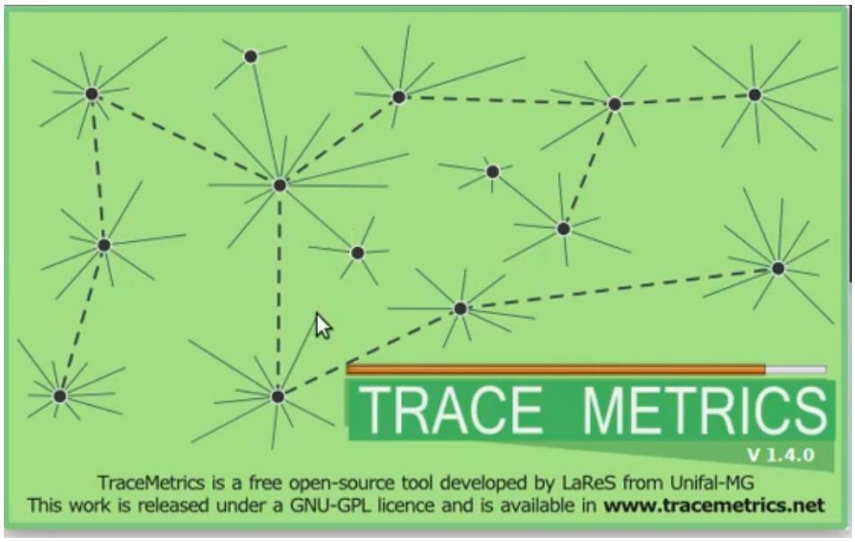



***Figura 19.*** *Entorno Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

### 3.6.5. MANIPULACIÓN DE ARCHIVOS EN NS-3

Para poder desarrollar ejemplos dentro de NS3, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

**a)** Si se desea empezar un proyecto en NS-3, es recomendable examinar la carpeta de ejemplos por defecto que trae el software.

**b)** El primer paso es ingresar a la carpeta contenedora de NS-3, como se observa en la figura 20.


***Figura 20.*** *Carpeta Contenedora de NS3*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

**c)** En la figura 21, se muestra la carpeta de ejemplos de NS-3 que despliega una lista de opciones que se seleccionarán de acuerdo a las necesidades a programar.

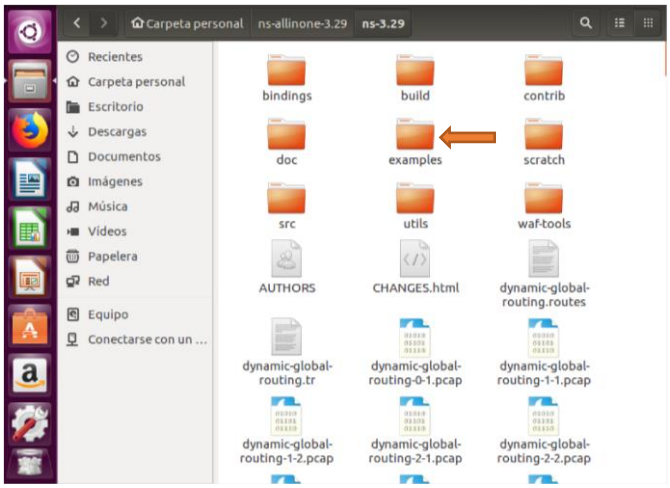



***Figura 21.*** *Carpeta de Ejemplos Desarrollados en NS-3*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

**d)** Para la realización de un ejemplo en NS-3 se accederá a la carpeta tutorial, así como se muestra en la figura 22, porque en esta locación se encuentra una serie de archivos básicos para reconocimiento de NS-3.

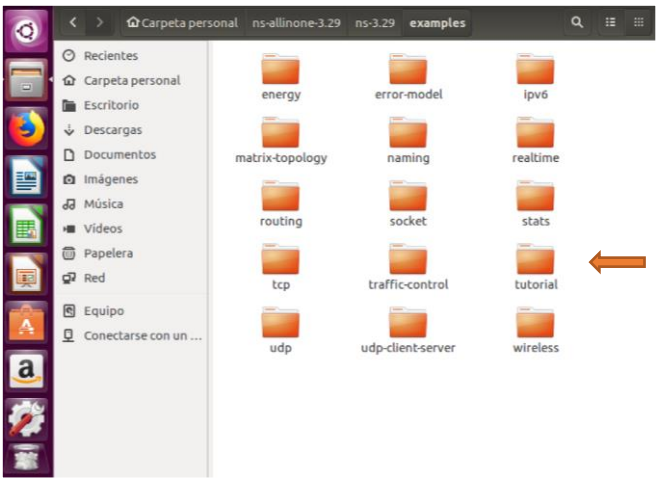



***Figura 22.*** *Carpeta Tutorial con Ejemplos Básicos en NS-3*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

***Nota:*** *"Siempre los archivos que se empleen en un proceso de programación en NS-3 deben ser copiados a la carpeta Scratch."*

**e)** El documento seleccionado sobre el que se va a programar, será copiado a la carpeta Scratch, como se observa en la figura 23.

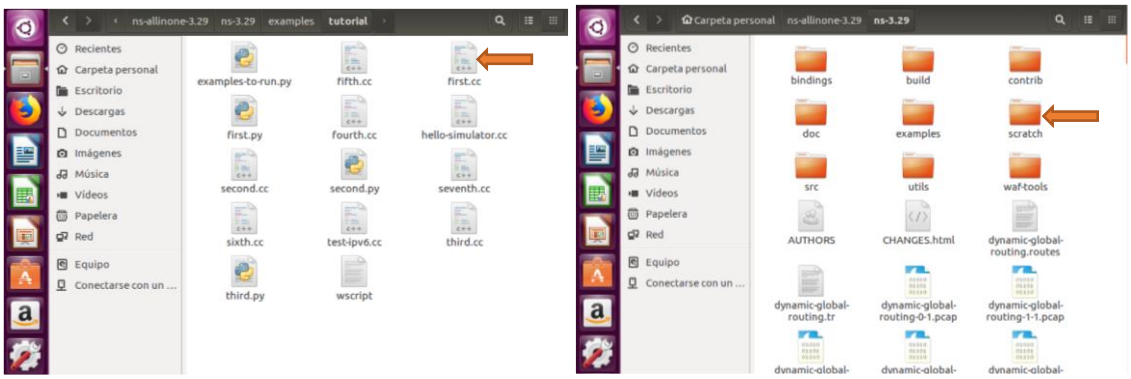



***Figura 23.*** *Carpeta Scratch, Destino de los Archivos a Ejecutarse*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

### 3.6.6. COMANDOS UTILIZADOS PARA LA EDICIÓN, COMPILACIÓN Y VISUALIZACIÓN EN NS-3

La tabla 11, contiene los comandos empleados para desarrollar la ejecución de una simulación en NS-3.

***Tabla 11.*** *Comando Empleados en NS-3*

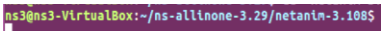
| UBICACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| `ns3@ns3-VirtualBox:~/ns-allinone-3.29/ns-3.29` | **Edición**<br><br>Permite abrir el archivo.cc para editarlo, de acuerdo a la figura 24, aunque también es posible solo abriéndolo de manera tradicional con un doble clic sobre el archivo sobre el cual se va a trabajar, recordando siempre que los archivos deben estar en la carpeta scratch.<br><br>✓ **gedit scratch/first.cc** |
| `ns3@ns3-VirtualBox:~/ns-allinone-3.29/ns-3.29$ gedit scratch/first.cc`<br>***Figura 24.*** *Comando de Edición de un Archivo*<br>*Fuente: Autora* | |
| `ns3@ns3-VirtualBox:~/ns-allinone-3.29/ns-3.29` | **Compilación**<br><br>La figura 25, corresponde al comando empleado para la compilación de un archivo después de haber realizado alguna adición o modificación, este |

comando corresponde al ejecutar de otro cualquier software.

- ✓ **./waf - - run scratch/first**


***Figura 25.*** *Comando de Ejecución de un Archivo*

*Fuente: Autora*




**Visualización**

Para poder visualizar una red en NS-3, se necesita ingresar en la carpeta contenedora de NetAnim, una vez dentro de esta carpeta se podrá abrir el programa con el comando mostrado en la figura 26:

- ✓ ./NetAnim

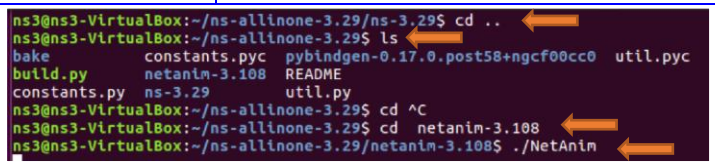
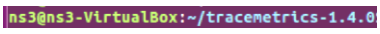



***Figura 26.*** *Comando para Activación del Visualizador NetAnim*

*Fuente: Autora*




**Análisis**

Al manipular la herramienta Tracemetrics, se lo hace de manera independiente ingresando a la carpeta contenedora que se encuentra en la carpeta personal, una vez en la ubicación requerida el comando utilizado se muestra en la figura 27:

- ✓ java –jar Tracemetrics.jar

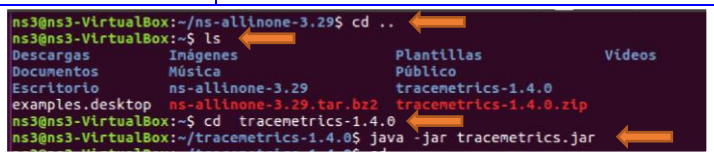



***Figura 27.*** *Comando para Activación del Analizador Tracemetrics*

*Fuente: Autora*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

### 3.6.7. DESCRIPCIÓN DE LAS FUNCIONES IMPLEMENTADAS EN LA RED PUNTO A PUNTO

A continuación, se realiza la descripción de las librerías empleadas en el ejemplo de la red punto a punto.

- ✓ **#Include**

Corresponden a un conjunto de librerías que contienen la declaración de las clases que componen los diversos módulos del simulador.

- ✓ **using namespace ns3**

Determinado como un espacio de nombres en donde se encuentran todas las declaraciones relacionadas con NS-3

- ✓ **NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("FirstScriptExample")**

Es una herramienta que define un nuevo componente "log", en NS-3 existen 7 niveles distintos de mensajes tipo "log", cada uno detalla de manera más completa lo que se va a mostrar en la simulación, estos 7 niveles de mensajes son:

NS LOG ERROR: Mensajes de error.

NS LOG WARN: Mensajes de precaución.

NS LOG DEBUG: Mensajes de depuración ad-hoc.

NS LOG INFO: Mensajes informativos acerca de un programa en progreso (Palacios Morocho, 2017).

NS LOG FUNCTION: Mensajes que describen cada función llamada.

NS LOG LOGIC: Mensajes que describen el flujo lógico dentro de una función.

NS LOG ALL: Mensaje de información de toda función callada (Palacios Morocho, 2017).

- ✓ **LogComponentEnable ("UdpEchoClientApplication", LOG_LEVEL_INFO)**
  **LogComponentEnable ("UdpEchoServerApplication", LOG_LEVEL_INFO)**

Se encarga de los mensajes de nivel LOG LEVEL INFO, que incumbe a los componentes de UDP cliente-servidor (Palacios Morocho, 2017).

- ✓ **NodeContainer nodes**

Declara al nuevo contenedor de nodos, donde su funcionalidad corresponde a la de un vector que es capaz de enlazar punteros a objetos de la clase nodo.

- ✓ **nodes.Create (2)**

Función determinada a crear nodos dentro del contenedor de nodos.

- ✓ **PointToPointHelper pointToPoint**

Declara un Nuevo objeto denominado como **"**HELPER**"** que crea las redes punto a punto, brindando la posibilidad de facilitar la utilización de tareas, protocolos (Palacios Morocho, 2017).

- ✓ **pointToPoint.SetDeviceAttribute ("DataRate", StringValue ("5Mbps"))**
  **pointToPoint.SetChannelAttribute ("Delay", StringValue ("2ms"))**

Establece los atributos de los dispositivos y el del canal, para este ejemplo la tasa de transmisión es de 5Mbps, con el retardo de propagación en el canal de 2ms (Palacios Morocho, 2017).

- ✓ **NetDeviceContainer devices**

Determina la creación del contenedor de dispositivos de red.

- ✓ **devices = pointToPoint.Install (nodes)**

Install crea un dispositivo de red punto a punto, en donde se asigna una dirección MAC asociándolo a un nodo.

- ✓ **InternetStackHelper stack**

Función empleada para agregar conjunto de protocolos de internet como IP, UDP, TCP, ICMP.

- ✓ **stack.Install (nodes)**

Agrega un conjunto de protocolos a cada nodo.

- ✓ **Ipv4AddressHelper address**
  **address.SetBase ("192.168.1.0", "255.255.255.0")**

Función encargada de generar direcciones IP, posteriormente validar dichas direcciones con una máscara de red.

- ✓ **Ipv4InterfaceContainer interfaces = address.Assign (devices)**

Permite la asignación de direcciones IP de manera secuencial a cada interface de cada nodo agregado.

- ✓ **UdpEchoServerHelper echoServer (3689)**

Indica al servidor que debe escuchar las solicitudes a través del Puerto 3689.

- ✓ **ApplicationContainer serverApps = echoServer.Install (nodes.Get (1))**

Crea un contendor de aplicaciones y un servidor UDP.

- ✓ **serverApps.Start (Seconds (1.0))**
- ✓ **serverApps.Stop (Seconds (10.0))**

La aplicación servidora se iniciará después de haber trascurrido un segundo del inicio de la simulación, y finalizará a los diez segundos de la simulación inicializada.

- ✓ **UdpEchoClientHelper echoClient (interfaces.GetAddress (1), 3689)**

Sirve para establecer la conexión del cliente con el servidor utilizando una dirección de destino, con el puerto de la segunda interfaz definida.

- ✓ **echoClient.SetAttribute ("MaxPackets", UintegerValue (1))**
  **echoClient.SetAttribute ("Interval", TimeValue (Seconds (1.0)))**
  **echoClient.SetAttribute ("PacketSize", UintegerValue (1024))**

Considerar los atributos del cliente, en este ejemplo se analiza de la siguiente manera: se enviará un paquete al servidor, y debe esperar un segundo antes de enviar la solicitud, con una cantidad de datos de 1024 para transmitir (Palacios Morocho, 2017).

- ✓ **ApplicationContainer clientApps = echoClient.Install (nodes.Get (0))**

Crea una clase de cliente UDP y agrega al nodo de posición 0 el contendor de nodos.

- ✓ **clientApps.Start (Seconds (2.0))**
  **clientApps.Stop (Seconds (10.0))**

El cliente se iniciará después de haber trascurrido dos segundos del inicio de la simulación, y finalizará a los diez segundos de la simulación inicializada.

- ✓ **Simulator::Run (); Simulator::Destroy (); return 0**

Ejecuta la lista de eventos programados, libera la memoria que ha sido asignada por el simulador, finalmente indica el fin de la simulación.

### 3.6.7.1. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED PUNTO A PUNTO

En la tabla 12, se describe una red básica punto a punto, con el propósito de familiarizarse con el entorno de trabajo, utilizando librerías para conectar dos nodos, las cuales fueron descritas en la sección anterior.

***Tabla 12.*** *Programación de una Red Punto a Punto*

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/applications-module.h"
#include  “ns3/netanim-module.h”

using namespace ns3;

NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("FirstScriptExample");

int
main (int argc, char *argv[])
{
  CommandLine cmd;
  cmd.Parse (argc, argv);

  Time::SetResolution (Time::NS);
  LogComponentEnable ("UdpEchoClientApplication", LOG_LEVEL_INFO);
  LogComponentEnable ("UdpEchoServerApplication", LOG_LEVEL_INFO);
```

```
NodeContainer nodes;
nodes.Create (2);
PointToPointHelper pointToPoint;
pointToPoint.SetDeviceAttribute ("DataRate", StringValue ("5Mbps"));
pointToPoint.SetChannelAttribute ("Delay", StringValue ("2ms"));

NetDeviceContainer devices;
devices = pointToPoint.Install (nodes);
InternetStackHelper stack;
stack.Install (nodes);

Ipv4AddressHelper address;
address.SetBase ("192.168.1.0", "255.255.255.0");

Ipv4InterfaceContainer interfaces = address.Assign (devices);
UdpEchoServerHelper echoServer (3689);
ApplicationContainer serverApps = echoServer.Install (nodes.Get (1));
serverApps.Start (Seconds (1.0));
serverApps.Stop (Seconds (10.0));
UdpEchoClientHelper echoClient (interfaces.GetAddress (1), 3689);
echoClient.SetAttribute ("MaxPackets", UintegerValue (1));
echoClient.SetAttribute ("Interval", TimeValue (Seconds (1.0)));
echoClient.SetAttribute ("PacketSize", UintegerValue (1024));

ApplicationContainer clientApps = echoClient.Install (nodes.Get (0));
clientApps.Start (Seconds (2.0));
clientApps.Stop (Seconds (10.0));

AnimationInterface anim ("first.xml");
anim.SetConstantPosition(nodes.Get(0),20.0,20.0);
anim.SetConstantPosition(nodes.Get(1),10.0,10.0);
AsciiTraceHelper ascii;
pointToPoint.EnableAsciiAll(ascii.CreateFileStream("first.tr"));

Simulator::Run ();
Simulator::Destroy ();
return 0;
}
```

*Fuente: (NSNAM, 2011), (Palacios Morocho, 2017)*

### 3.6.7.2. VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED PUNTO A PUNTO EN EL TERMINAL DE UBUNTU

Con la figura 28, es posible verificar el resultado de funcionamiento en el terminal de Ubuntu, describiendo que: a los dos segundos de transcurrida la simulación el cliente envía un paquete que pesa 1024 bytes a la dirección 192.18.1.2 por el puerto 3689, la segunda línea expresa que a los dos segundos el servidor recibe un paquete que pesa 1024 bytes desde la dirección 192.168.1.1 por el puerto 49153, en la tercera línea de ejecución a los dos segundos el servidor envía un paquete que pesa 1024 bytes a la dirección 192.168.1.1 por el puerto 49153, entonces en la cuarta línea de ejecución el cliente recibe un paquete que pesa 1024 bytes desde 192.168.1.2 por el puerto 3689.

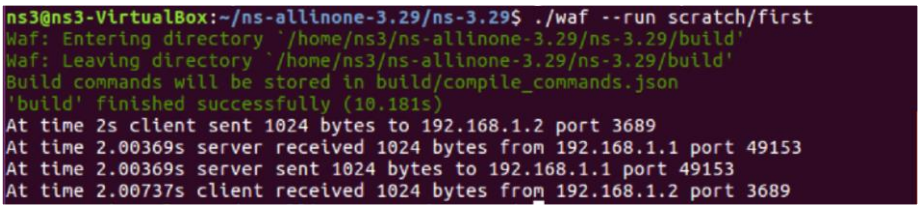



***Figura 28.*** *Ejecución de la Red Punto a Punto en el Terminal de Ubuntu*

*Fuente: Autora utilizando el software NS-3*

### 3.6.7.3. VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED PUNTO A PUNTO CON EL VISUALIZADOR NETANIM

**a)** En la figura 29, se identifica la pestaña Animator compuesta por los dos nodos que componen este ejemplo, verificando el traspaso del paquete de un nodo a otro.

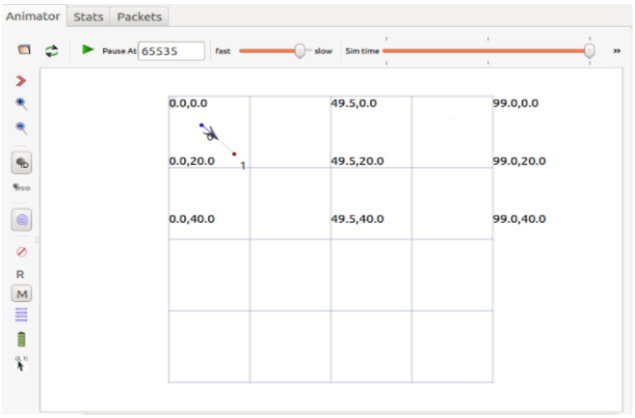



***Figura 29.*** *Pestaña Animator del Visualizador NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta NetAnim*

**b)** La figura 30, corresponde a la pestaña Stats, que puede identificar las direcciones asignadas a cada interfaz del nodo, indicando a su vez la dirección a la cual se va a enlazar.

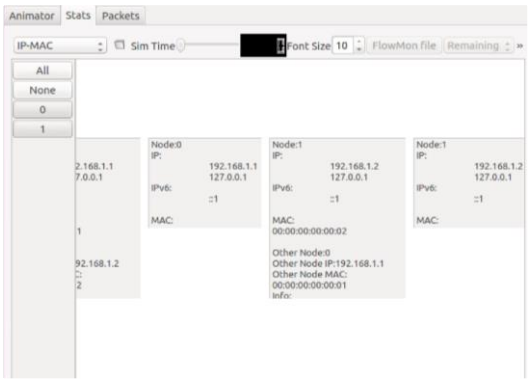



***Figura 30.*** *Pestaña Stats del Visualizador NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta NetAnim*

**c)** La figura 31, pertenece a la pestaña Packets, en donde se puede observar el camino que ha efectuado el paquete entre el nodo 0 y el nodo 1, indicando también el tiempo que se demoró en trasmitirlo de un punto a otro.

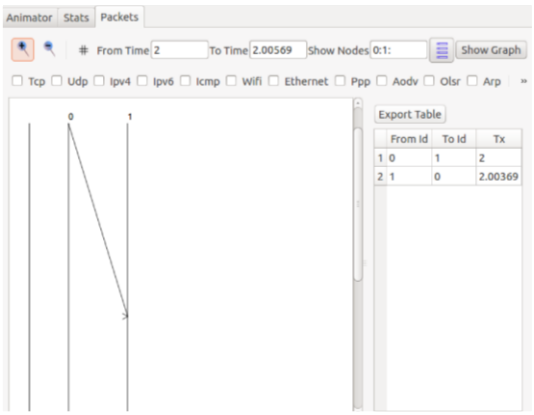



***Figura 31.*** *Pestaña Packets del Visualizador NetAnim*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta NetAnim*

### 3.6.7.4. VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED PUNTO A PUNTO CON EL ANALIZADOR TRACEMETRICS

El analizador Tracemetrics se despliega a través del comando **java –jar Tracemetrics.jar** y se verifican los siguientes parámetros:

**a)** Los Resultados De La Simulación: La figura 32, muestra algunos de los parámetros generales como son: total de paquetes enviados 2, total de paquetes recibidos 2 y velocidad de entrega de 2.00737s.

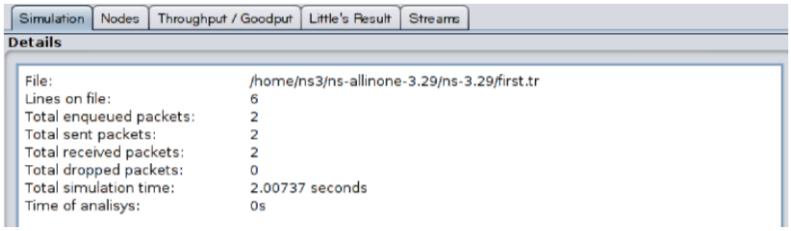



***Figura 32.*** *Pestaña Simulation del Analizador Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

**b)** La figura 33, indica los datos de cada nodo que compone la red, en este caso no hay diferencia debido a que la comunicación establecida corresponde a una conexión limitada a dos extremos o nodos.

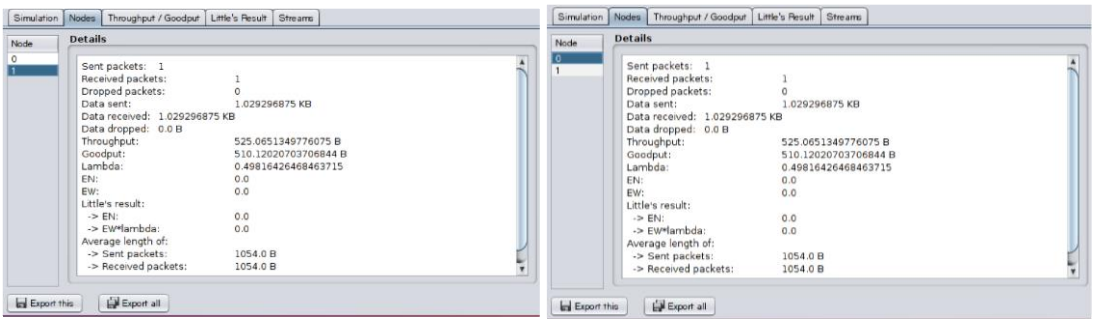



***Figura 33.*** *Pestaña Nodes del Analizador Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

**c)** Throughput/Goodput: La figura 34, tiene el propósito de comparar el rendimiento de los nodos que componen la topología, se obtienen los mismos valores porque en una red punto a punto, los nodos actúan como socios iguales, o pares entre sí.

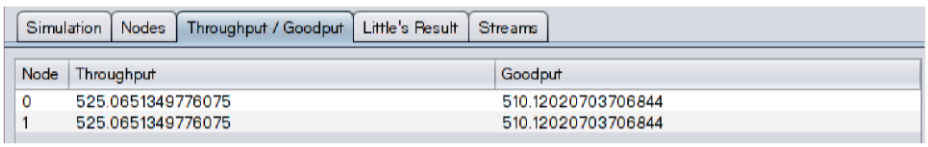



***Figura 34.*** *Pestaña Throughput, Goodput del Analizador Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

**d)** La figura 35, muestra el análisis de tres parámetros principales: la validación de Little, el tamaño promedio de la cola (E [N]) y el tiempo promedio empleado por cada paquete en el nodo (E [W]). Esta información puede ser muy útil para detectar puntos de sobrecarga en la red. La columna Lambda muestra el número promedio de paquetes enviados por el nodo cada segundo.

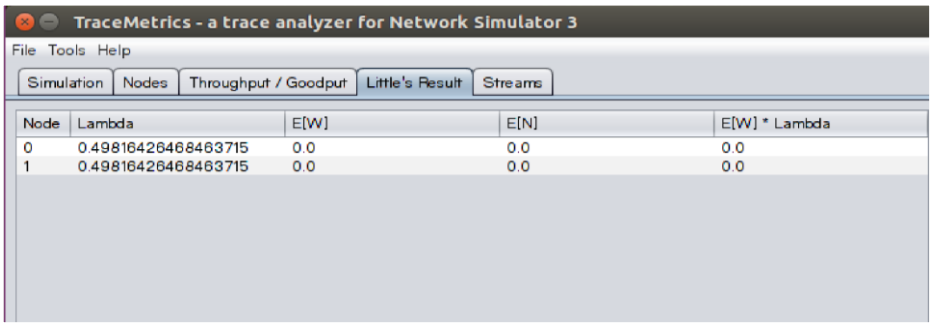



***Figura 35.*** *Pestaña Little's Result del Analizador Tracemetrics*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

**e)** En la figura 36, es fácil notar que la información presentada para los flujos TCP es diferente de la información para el flujo UDP. Los flujos TCP tienen información principalmente sobre el retraso y los flujos UDP tienen principalmente información sobre paquetes descartados.

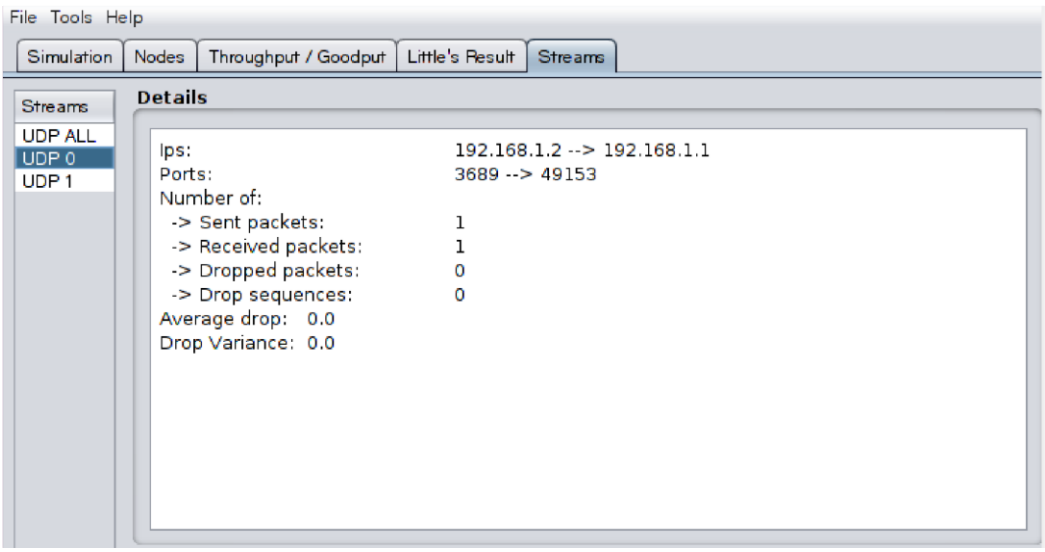



***Figura 36.*** *Pestaña Streams del Analizador Tracemetrics, Nodo 0*

*Fuente: Autora utilizando la herramienta Tracemetrics*

### 3.6.8. ALGORITMO PARA EL DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN DEL PROTOCOLO HMIPV6 EN NS-3

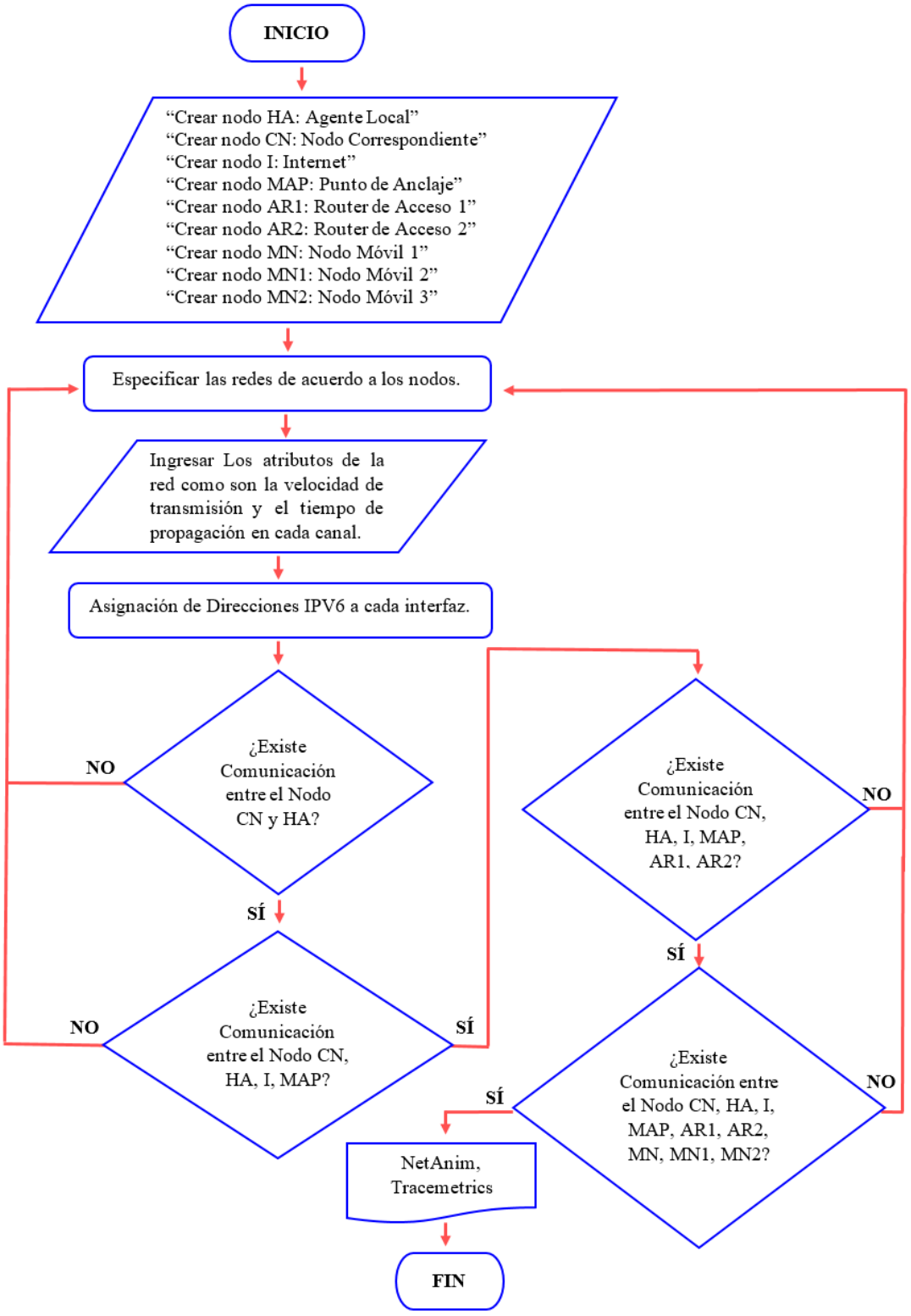



***Figura 37.*** *Algoritmo de la Simulación del Protocolo HMIPV6*

*Fuente: Autora*

La figura 37, muestra el algoritmo desarrollado para la obtención de la simulación del protocolo HMIPV6, a continuación, se explica el pseudocódigo empleado para este diagrama:

**a)** Inicio

**b)** Ingreso de parámetros para la creación de los nodos que componen la topología del protocolo de micromovilidad.

**c)** Especificación de las redes creadas en base a los nodos ya estructurados.

**d)** Ingresar atributos de la red, velocidad de transmisión, y el tiempo de propagación en el canal.

**e)** Asignación de direccionamiento IPV6 a las interfaces.

**f)** Verificación de conectividad entre nodo de la red.

**g)** Si la comunicación entre todos los nodos es correcta, se visualizará el comportamiento de la red con NetAnim, y los datos serán analizados con Tracemetrics, en caso contrario se volverá a especificar el posicionamiento de cada nodo en la red.

**h)** Fin

### 3.6.9. CODIFICACIÓN EN NS-3 DEL PROTOCOLO HMIPV6

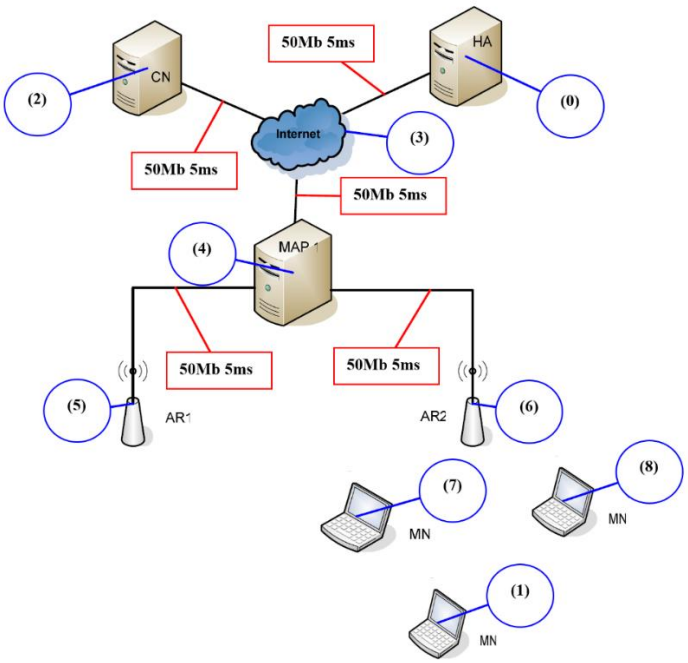



***Figura 38.*** *Topología del Protocolo HMIPV6 Implementada*

*Fuente: Autora*

La figura 38, corresponde a la topología que se pretende conseguir como resultado, contiene todas las características que son empleadas en el proceso de programación en NS-3 con respecto a la velocidad de transmisión de 50 Mbps, y el retardo de 5ms.

#### 3.6.9.1. IMPLEMENTACIÓN DE LIBRERÍAS

La tabla 13, contiene un conjunto de librerías que determinan la declaración de las clases que componen los diversos módulos del simulador. (Aguilera, Duran, & Etter, 2016)

***Tabla 13.*** *Implementación de Librerías*

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/csma-module.h"
#include "ns3/internet-apps-module.h"
#include "ns3/ipv6-header.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/applications-module.h"
#include "ns3/ipv6-static-routing-helper.h"
#include "ns3/ipv6-routing-table-entry.h"
#include "ns3/netanim-module.h"
```

*Fuente: Autora, (Palacios Morocho, 2017)*

#### 3.6.9.2. DECLARACIÓN, REGISTRO Y DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN PRINCIPAL

- ✓ **Using namespace ns3:** Agrupa todas las declaraciones vinculadas en un ámbito que este fuera del espacio de nombres globales, con el objetivo de integrarlo con otro código existente.
- ✓ **NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("LooseRoutingIpv6Example"):** Declara el componente que permite habilitar y deshabilitar el registro de mensajes de la consola de acuerdo a la referencia al nombre.
- ✓ **int main (int argc, char **argv):** Corresponde a la función principal del programa, será la primera función en ejecución. (NSNAM, 2011)

En la tabla 14, se indica la declaración y habilitación de la función principal.

***Tabla 14.*** *Declaración, Registro y Definición de la Función Principal*

```
using namespace ns3;
NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("LooseRoutingIpv6Example");
int main (int argc, char **argv)
{
 bool verbose = false;
 CommandLine cmd;
 cmd.AddValue ("verbose", "turn on log components", verbose);
 cmd.Parse (argc, argv);
```

*Fuente: Autora, (Palacios Morocho, 2017)*

#### 3.6.9.3. COMPONENTES DE REGISTRO

Estas funciones son utilizadas para habilitar los componentes de registro que están integrados en el programa, en esta investigación se aplica los registros del Protocolo IPv6 (Aguilera, Duran, & Etter, 2016), como se describe en la tabla 15.

***Tabla 15.*** *Componentes de Registro*

```
if (verbose)
   {
    LogComponentEnable ("Ipv6ExtensionLooseRouting", LOG_LEVEL_ALL);
    LogComponentEnable ("Ipv6Extension", LOG_LEVEL_ALL);
    LogComponentEnable ("Ipv6L3Protocol", LOG_LEVEL_ALL);
    LogComponentEnable ("Ipv6StaticRouting", LOG_LEVEL_ALL);
    LogComponentEnable ("Ipv6Interface", LOG_LEVEL_ALL);
    LogComponentEnable ("NdiscCache", LOG_LEVEL_ALL);
   }
```

*Fuente: Autora*

#### 3.6.9.4. DECLARACIÓN DE LOS NODOS DE LA RED

Con la tabla 16, se hace referencia a la creación de los objetos en NS-3, en este caso se ha implementado 9 nodos: Agente Local (HA), Nodo Correspondiente (CN), Servidor de Internet (I), MAP, Routers de Acceso (AR1) (AR2), Nodos Móviles (MN) (MN1) (MN2).

***Tabla 16.*** *Declaración de los Nodos de la Red*

```
NS_LOG_INFO ("Create nodes.");
  Ptr<Node> HA = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> CN = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node>  I = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> MAP= CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> AR1= CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> AR2= CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> MN = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> MN1= CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> MN2= CreateObject<Node> ();
```

*Fuente: Autora*

#### 3.6.9.5. ESTABLECIMIENTO DE REDES Y NODOS CONTENEDORES

En la tabla 17, se construye una topología para conectar los nodos declarados, el NodeContainer es un asistente de topología que proporciona una manera fácil para crear, administrar, y acceder a cualquier nodo que se crea para ejecutar la simulación. (Aguilera, Duran, & Etter, 2016)

***Tabla 17.*** *Establecimiento de Redes y Nodos Contenedores*

```
  NodeContainer net1 (HA, I);
  NodeContainer net2 (CN, I);
  NodeContainer net3 (I,MAP);
  NodeContainer net4 (MAP,AR1);
  NodeContainer net5 (AR1, AR2);
  NodeContainer net6 (AR2, MN);
  NodeContainer net7 (MN,MN1);
  NodeContainer net8 (MN1,MN2);
  NodeContainer net9 (MN2,MN1);
  NodeContainer net10 (MN1,MN);
  NodeContainer net11 (MN,AR2);
  NodeContainer net12 (AR2,AR1);
  NodeContainer net13 (AR1,CN);
  NodeContainer all;  all.Add (HA);  all.Add (CN); all.Add (I); all.Add (MAP);
all.Add (AR1); all.Add (AR2);all.Add (MN); all.Add (MN1); all.Add (MN2);
```

*Fuente: Autora*

### 3.6.9.6. PILA DE INTERNET IPV6

En la primera línea de comandos se crea la pila de internet IPV6, posteriormente se declara el objeto Helper para la utilización del stack de internet versión 6 que se van a emplear, finalmente con la opción Install se ejecuta e instala los protocolos de la pila de internet en cada nodo del contenedor. (NSNAM, 2011)

La tabla 18, contiene las funciones de activación de la pila de Internet para IPV6.

***Tabla 18.*** *Pila de Internet IPV6*

```
NS_LOG_INFO ("Create IPv6 Internet Stack");
  InternetStackHelper internetv6;
  internetv6.Install (all);
```

*Fuente: Autora*

### 3.6.9.7. INSERCIÓN DE CANALES

Crea una instancia de CsmaHelper para constituir las características con las que van a trabajar los canales que componen la red, para este proyecto se considera el MTU (Unidad Máxima de Transferencia) de 1500 Bytes, el Data Rate (Velocidad de Transmisión de Datos) de 50Mbps, con un retardo de transmisión de 5ms (Aguilera, Duran, & Etter, 2016). A continuación, en la tabla 19, se creará los objetos sobre los que se van a evaluar las distintas redes, e instalar el protocolo de internet a cada red de acuerdo a la distancia.

***Tabla 19.*** *Inserción de Canales*

```
NS_LOG_INFO ("Create channels.");
  CsmaHelper csma;
  csma.SetDeviceAttribute ("Mtu", UintegerValue (1500));
  csma.SetChannelAttribute ("DataRate", DataRateValue (50000000));
  csma.SetChannelAttribute ("Delay", TimeValue (MilliSeconds (5)));
  NetDeviceContainer d1 = csma.Install (net1);
  NetDeviceContainer d2 = csma.Install (net2);
```

```
NetDeviceContainer d3 = csma.Install (net3);
NetDeviceContainer d4 = csma.Install (net4);
NetDeviceContainer d5 = csma.Install (net5);
NetDeviceContainer d6 = csma.Install (net6);
NetDeviceContainer d7 = csma.Install (net7);
NetDeviceContainer d8 = csma.Install (net8);
NetDeviceContainer d9 = csma.Install (net9);
NetDeviceContainer d10 = csma.Install (net10);
NetDeviceContainer d11 = csma.Install (net11);
NetDeviceContainer d12 = csma.Install (net12);
NetDeviceContainer d13 = csma.Install (net13);
```

*Fuente: Autora, (Palacios Morocho, 2017)*

#### 3.6.9.8. ASIGNACIÓN DE DIRECCIONES IPV6

Proporciona un asistente de topología para gestionar la asignación de las direcciones IPV6 (Aguilera, Duran, & Etter, 2016), entonces en la tabla 20, se configura la dirección IPV6 base y la máscara de red con el propósito de ponerle una etiqueta a las interfaces de los dispositivos que intervienen en la red.

- ✓ **Dirección Global "2001:1::":** Interfaces que componen los nodos de la red de Internet.
- ✓ **Dirección Link Local "FE80:1:":** Permite identificar las interfaces de un mismo segmento de red.

***Tabla 20.*** *Asignación de Direcciones IPV6*

```
NS_LOG_INFO ("Create networks and assign IPv6 Addresses.");
  Ipv6AddressHelper ipv6;

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:1::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i1 = ipv6.Assign (d1);

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:2::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i2 = ipv6.Assign (d2);
```

```
ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:3::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i3 = ipv6.Assign (d3);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:4::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i4 = ipv6.Assign (d4);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:5::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i5 = ipv6.Assign (d5);
  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:1::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i6 = ipv6.Assign (d6);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:2::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i7 = ipv6.Assign (d7);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:3::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i8 = ipv6.Assign (d8);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:4::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i9 = ipv6.Assign (d9);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:5::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i10 = ipv6.Assign (d10);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("FE80:6::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i11 = ipv6.Assign (d11);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:6::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i12 = ipv6.Assign (d12);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:7::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i13 = ipv6.Assign (d13);
```

*Fuente: Autora*

#### 3.6.9.9.CONCATENACIÓN DE DIRECCIONAMIENTO IPV6 A LAS INTERFACES QUE COMPONEN LA RED

- ✓ **uint32_t packetSize:** Cantidad máxima de datos a transmitir en un paquete.
- ✓ **uint32_t maxPacketCount:** Número de paquetes a transmitir por la aplicación.

En la tabla 21, la dirección IPV6 de cada Router es asociada a la distancia establecida a cada interfaz.

***Tabla 21.*** *Concatenación de Direcciones IPV6 a Cada Interfaz*

```
NS_LOG_INFO ("Create Applications.");
uint32_t packetSize = 1024;
uint32_t maxPacketCount = 1;
Time interPacketInterval = Seconds (5.0);
std::vector<Ipv6Address> routersAddress;
routersAddress.push_back (i3.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i4.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i5.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i6.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i7.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i8.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i9.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i10.GetAddress(1, 1));
routersAddress.push_back (i11.GetAddress(1, 1));
routersAddress.push_back (i12.GetAddress(1, 1));
routersAddress.push_back (i13.GetAddress(1, 1));
routersAddress.push_back (i2.GetAddress (0, 1));
```

*Fuente: Autora, (Palacios Morocho, 2017)*

#### 3.6.9.10. HABILITACIÓN DE HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN NETANIM, Y LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS TRACEMETRICS

Para crear las extensiones de visualización con NetAnim, se ingresa el nombre con la extensión xml, mientras que para habilitar la herramienta de análisis Tracemetrics la extensión es tr., como se muestra en la tabla 22.

***Tabla 22.*** *Habilitación de NetAnim y Tracemetrics*

```
AnimationInterface anim("HMIPV6FINAL.xml");
AsciiTraceHelper ascii;
csma.EnableAsciiAll (ascii.CreateFileStream ("HMIPV6FINAL.tr"));
csma.EnablePcapAll ("HMIPV6FINAL", true);
NS_LOG_INFO ("Run Simulation.");
Simulator::Run ();
Simulator::Destroy ();
NS_LOG_INFO ("Done."); }
```

*Fuente: Autora*

### 3.6.10. CODIFICACIÓN EN NS-3 DE HMIPV6 EXCLUYENDO EL NODO DE ANCLAJE MÓVIL (MAP)

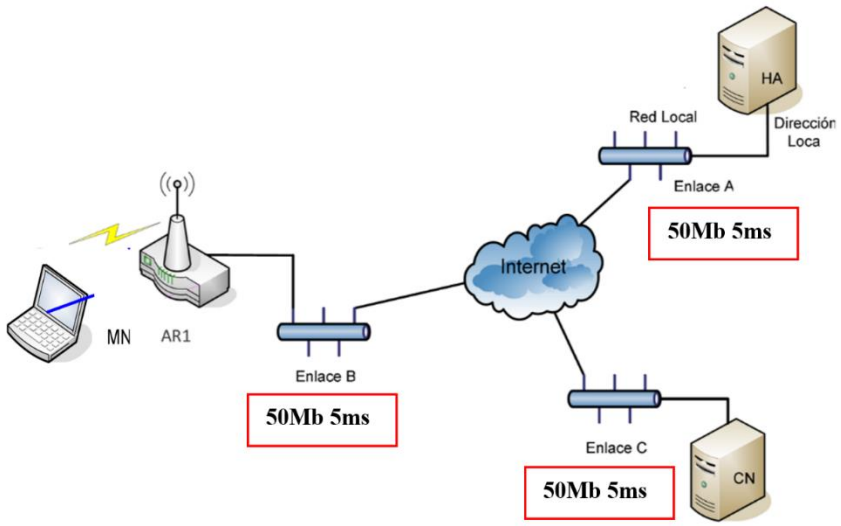



***Figura 39.*** *Topología sin el Nodo de Anclaje Móvil (MAP)*

*Fuente: Autora*

La tabla 23, contiene la programación que corresponde a la topología que se observa en la figura 39. Esta red está conformada por 6 nodos, carente de la presencia del MAP, configurada con el Data Rate (Velocidad de Transmisión de Datos) de 50Mbps, un retardo de transmisión de 5 ms. La implementación de esta topología se la realiza debido a que se efectúa la comparación de efectividad con respecto a la topología descrita en HMIPV6.

***Tabla 23.*** *Codificación de una Topología Sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP)*

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/csma-module.h"
#include "ns3/internet-apps-module.h"
#include "ns3/ipv6-header.h"
#include "ns3/netanim-module.h"

using namespace ns3;

NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("LooseRoutingIpv6Example");
it main (int argc, char **argv)
{
```

```
  bool verbose = false;

  CommandLine cmd;
  cmd.AddValue ("verbose", "turn on log components", verbose);
  cmd.Parse (argc, argv);

  if (verbose)
    {
      LogComponentEnable ("Ipv6ExtensionLooseRouting", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("Ipv6Extension", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("Ipv6L3Protocol", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("Ipv6StaticRouting", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("Ipv6Interface", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("Ipv6Interface", LOG_LEVEL_ALL);
      LogComponentEnable ("NdiscCache", LOG_LEVEL_ALL);
    }

  NS_LOG_INFO ("Create nodes.");
  Ptr<Node> HA = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> CN = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> I = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> AR1 = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> AR2 = CreateObject<Node> ();
  Ptr<Node> MN = CreateObject<Node> ();

  NodeContainer net1 (HA, I);
  NodeContainer net2 (I, CN);
  NodeContainer net3 (I, AR1);
  NodeContainer net4 (AR1, AR2);
  NodeContainer net5 (AR2,MN);
  NodeContainer net6 (AR2,AR1,CN);

NodeContainer all;
  all.Add (HA);
  all.Add (CN);
  all.Add (I);
  all.Add (AR1);
  all.Add (AR2);
  all.Add (MN);

  NS_LOG_INFO ("Create IPv6 Internet Stack");
  InternetStackHelper internetv6;
```

```
  internetv6.Install (all);

  NS_LOG_INFO ("Create channels.");
  CsmaHelper csma;
  csma.SetDeviceAttribute ("Mtu", UintegerValue (1500));
  csma.SetChannelAttribute ("DataRate", DataRateValue (50000000));
  csma.SetChannelAttribute ("Delay", TimeValue (MilliSeconds (10)));

NetDeviceContainer d1 = csma.Install (net1);
  NetDeviceContainer d2 = csma.Install (net2);
  NetDeviceContainer d3 = csma.Install (net3);
  NetDeviceContainer d4 = csma.Install (net4);
  NetDeviceContainer d5 = csma.Install (net5);
  NetDeviceContainer d6 = csma.Install (net6);

  NS_LOG_INFO ("Create networks and assign IPv6 Addresses.");
  Ipv6AddressHelper ipv6;

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:1::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i1 = ipv6.Assign (d1);
  i1.SetForwarding (1, true);
  i1.SetDefaultRouteInAllNodes (1);

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:2::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i2 = ipv6.Assign (d2);
  i2.SetForwarding (1, true);
  i2.SetDefaultRouteInAllNodes (1);

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:3::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i3 = ipv6.Assign (d3);
  i3.SetForwarding (0, true);
  i3.SetDefaultRouteInAllNodes (0);
  i3.SetForwarding (1, true);
  i3.SetDefaultRouteInAllNodes (1);

  ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:4::"), Ipv6Prefix (64));
  Ipv6InterfaceContainer i4 = ipv6.Assign (d4);
  i4.SetForwarding (0, true);
  i4.SetDefaultRouteInAllNodes (0);
  i4.SetForwarding (1, true);
  i4.SetDefaultRouteInAllNodes (1);
```

```
ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:5::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i5 = ipv6.Assign (d5);
i5.SetForwarding (0, true);
i5.SetDefaultRouteInAllNodes (0);
i5.SetForwarding (1, true);
i5.SetDefaultRouteInAllNodes (1);

ipv6.SetBase (Ipv6Address ("2001:6::"), Ipv6Prefix (64));
Ipv6InterfaceContainer i6 = ipv6.Assign (d6);
i6.SetForwarding (0, true);
i6.SetDefaultRouteInAllNodes (0);
i6.SetForwarding (1, true);
i6.SetDefaultRouteInAllNodes (1);

NS_LOG_INFO ("Create Applications.");


// ICMPv6 Echo from h0 to h1 port 7

uint32_t packetSize = 1024;
uint32_t maxPacketCount = 1;
Time interPacketInterval = Seconds (10.0);

std::vector<Ipv6Address> routersAddress;
routersAddress.push_back (i3.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i4.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i5.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i6.GetAddress (1, 1));
routersAddress.push_back (i2.GetAddress (0, 1));

Ping6Helper client;
/* remote address is first routers in RH0 => source routing */
client.SetRemote (i1.GetAddress (1, 1));
client.SetAttribute ("MaxPackets", UintegerValue (maxPacketCount));
client.SetAttribute ("Interval", TimeValue (interPacketInterval));
client.SetAttribute ("PacketSize", UintegerValue (packetSize));
client.SetRoutersAddress (routersAddress);
ApplicationContainer apps = client.Install (AR1);
apps.Start (Seconds (20.0));
//apps.Stop (Seconds (10.0));

AsciiTraceHelper ascii;
```

```
 csma.EnableAsciiAll (ascii.CreateFileStream ("hmipv6mal.tr"));
 csma.EnablePcapAll ("hmipv6mal", true);


  AnimationInterface anim("hmipv6mal.xml");


NS_LOG_INFO ("Run Simulation.");


  Simulator::Run ();
  Simulator::Destroy ();
  NS_LOG_INFO ("Done.");
}
```

*Fuente: Autora, (Palacios Morocho, 2017)*

# CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se valida el modelo de simulación del Protocolo HMIPV6 diseñado en NS-3, mediante la realización de diversas pruebas, especialmente se hace una comparativa con respecto a una red que no esté compuesta en su jerarquía con el nodo de Anclaje Móvil (MAP).

### 4.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

La verificación de funcionamiento del protocolo HMIPV6 se lo realiza mediante las herramientas de visualización y análisis que son NetAnim y Tracemetrics. Por lo tanto, las pruebas efectuadas son en base a la cantidad de paquetes recibidos, perdidos, redundancia de paquetes durante la transmisión, Throughput/Goodput, estado de Filas. Todos estos parámetros son evaluados en dos tipos de topologías con semejantes configuraciones, entonces los datos obtenidos de las pruebas realizadas se compararán para verificar la eficiencia de la implementación del protocolo HMIPV6.

### 4.3. COMPORTAMIENTO DE LAS SIMULACIONES

Las simulaciones realizadas en este proyecto de titulación juegan un papel importante, porque es la manera en cómo se va a examinar el comportamiento de las dos topologías implementadas a través de la herramienta de visualización NetAnim.

#### 4.3.1. SIMULACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DEL PROTOCOLO HMIPV6

En la tabla 24, se especifica el procedimiento ordenado y secuencial que efectúa el protocolo HMIPV6 para que los nodos de la red puedan establecer una comunicación estable, y se compruebe la funcionalidad a través de la herramienta NetAnim.

***Tabla 24.*** *Simulación del Protocolo HMIPV6*

La figura 40, concierne al esquema de la topología del protocolo HMIPV6, la misma que está constituida con los 9 nodos previamente caracterizados.

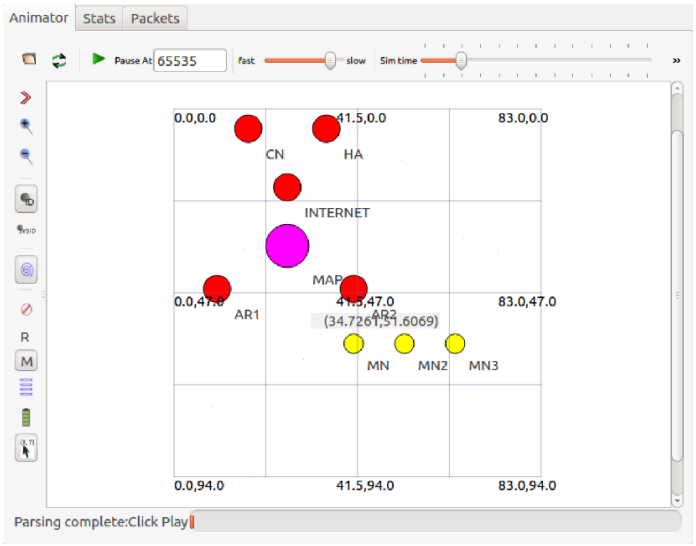



***Figura 40.*** *Dominio de HMIPV6 en NS-3*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La figura 41, indica el establecimiento de la comunicación entre CN y HA, con la finalidad de registrar todas las direcciones IPV6 disponibles en HA.

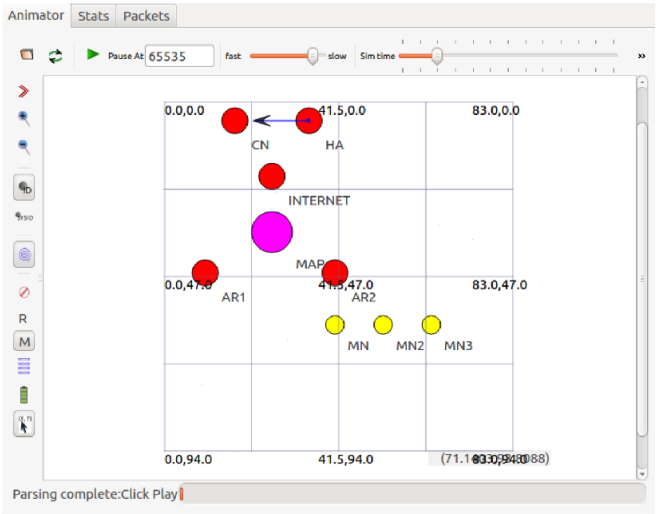



***Figura 41.*** *Comunicación entre CN y HA*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

Una vez que se ha terminado el registro de las direcciones IPv6, este paquete de actualización viaja hacia el Nodo de Internet como indica la figura 42, debido a que este nodo solicita un Binding Caché, de las direcciones anteriormente actualizadas y registradas.


***Figura 42.*** *Comunicación entre CN y el Nodo de Internet*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La figura 43, muestra el paquete saliente del Nodo de Internet hacia al MAP, este paquete se encuentra encapsulado, y una vez que llega al MAP este paquete es desencapsulado.

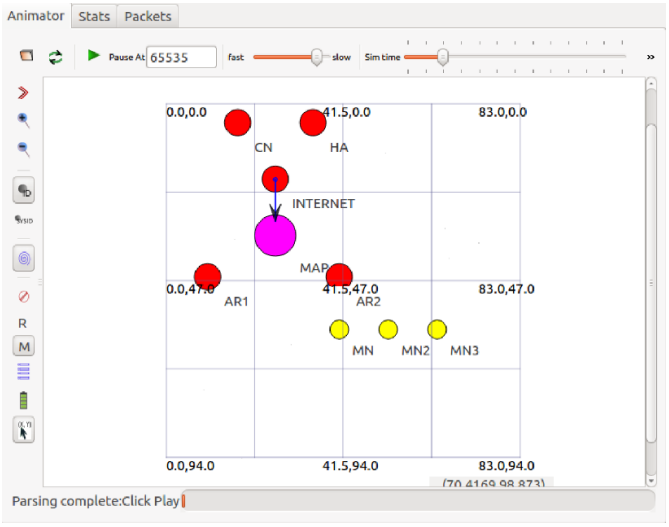



***Figura 43.*** *Comunicación entre el Nodo de Internet y el MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La figura 44, corresponde al proceso en donde el MAP envía un Binding Acknowledgement al AR1, con la finalidad de determinar si el binding fue exitoso, es decir si pudo reconocer las actuales Care-of-Address (CoA).


***Figura 44.*** *Comunicación entre el MAP y AR1*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

En la figura 45, el AR1 envía un LBU (Local Binding Update) al MAP con el objetivo de registrar y configurar las nuevas direcciones LCoA, RCoA.


***Figura 45.*** *Comunicación entre el AR1 y el MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

Es importante que todos lo routers de acceso AR1 y AR2 que componen la red estén en comunicación, así como se observa en la figura 46, debido a que manejan las LBU (Local Binding Update), y con esta información se actualizan las direcciones RCoA y LCoA.

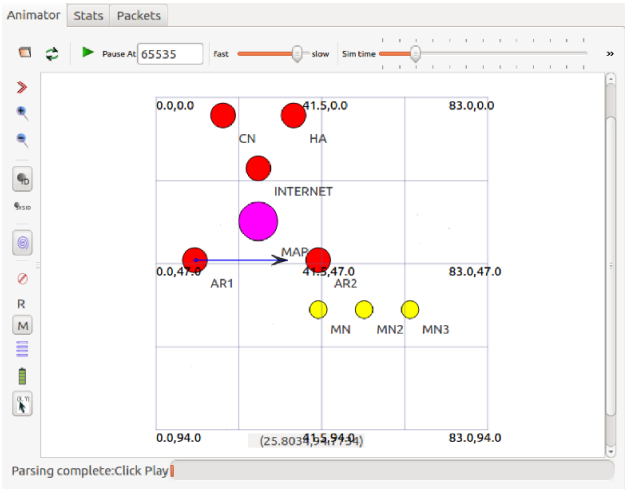



***Figura 46.*** *Comunicación entre AR1 y AR2*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La figura 47, corresponde al establecimiento de la comunicación entre el AR2 y el MN, para solicitar un Binding Request (BR), entonces se enviará un Binding Update con la actual dirección Care-of-Address (CoA) de tipo RCoA y LCoA.


***Figura 47.*** *Comunicación entre MN y AR2*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

En la figura 48, los dos nodos Móviles cercanos establecen comunicación con los diversos Routers de Acceso que componen la red y para ello deben utilizar una dirección LCoA con el propósito de que si existe otro nodo móvil cercano sin una dirección establecida se pueda enviar un Binding Acknowledgement para determinar si se puede efectuar el Binding Update, con la finalidad de configurar y registrar al nuevo Nodo Móvil.


***Figura 48.*** *Comunicación entre MN'S cercanos*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

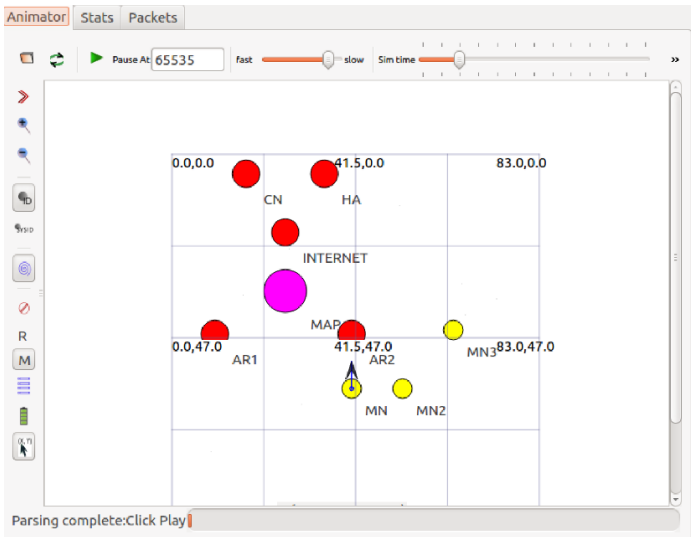



***Figura 49.*** *Comunicación Regresiva entre MN y AR2*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La información adquirida por parte de los nodos móviles MN y MN2 y la ausencia de direccionamiento para el MN3, requiere el envío de un local Binding Update entre el AR2 y el AR1 como se identifica en la figura 50, para que con la información de las direcciones que ya están registradas se analice la posibilidad de verificar una dirección disponible para asignar a MN3.

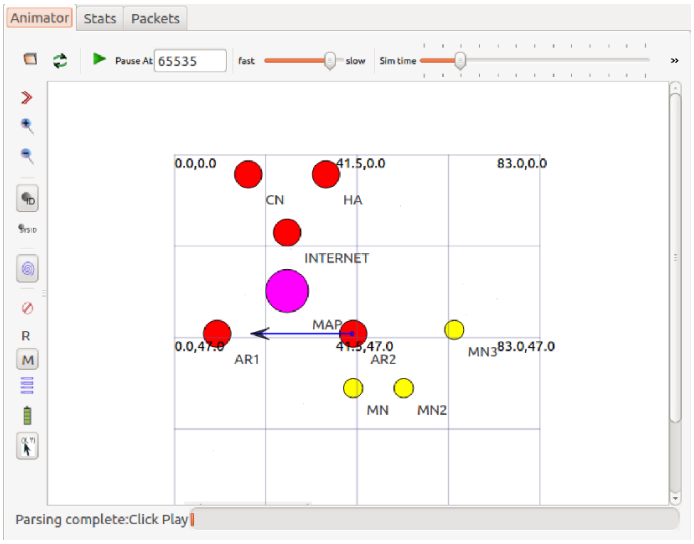



***Figura 50.*** *Comunicación Regresiva entre AR2 y AR1*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

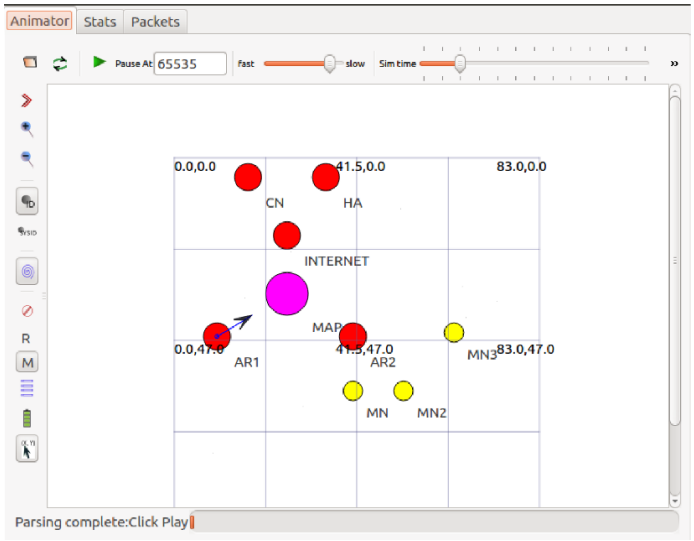



***Figura 51.*** *Comunicación Regresiva entre AR1 y el MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

Finalmente, en la figura 52, se puede verificar que después de actualizar las direcciones de los MN'S, el MAP registra una dirección disponible y la asigna a MN3.

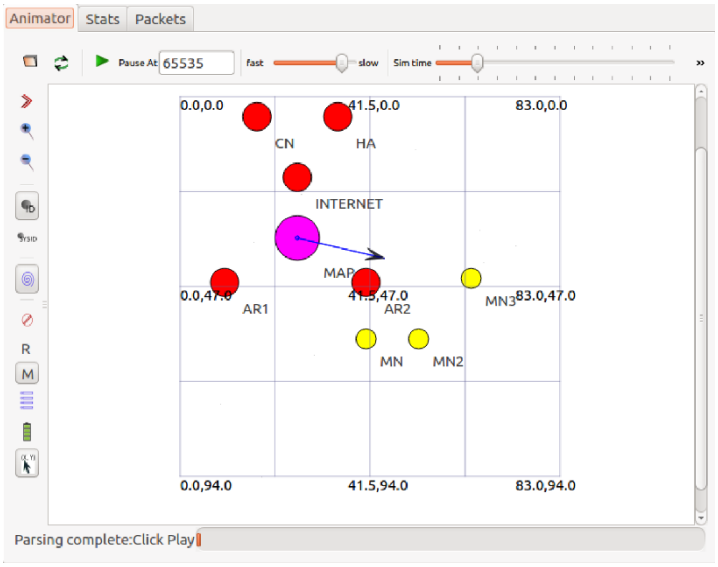



***Figura 52.*** *Asignación de Direccionamiento al MN3*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

*Fuente: Autora*

#### 4.3.1.1. TABLAS DE ENRUTAMIENTO

La tabla 25, contempla toda la información del direccionamiento IPV6 y como se asigna a cada enlace que compone la topología del protocolo HMIPV6.

***Tabla 25.*** *Tabla Estadística de Direccionamiento*

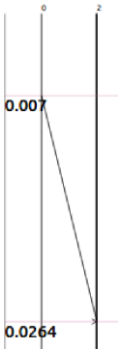
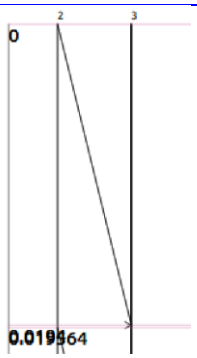
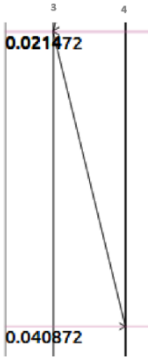
| NODO | DIRECCIÓN | CONEXIÓN |
|---|---|---|
| 0 | 2001:1::200:ff:fe00:1 | Fe80::200:ff:fe00:1 |
| 1 | 2001:2::200:ff:fe00:3 | Fe80::200:ff:fe00:3<br>Fe80::200:ff:fe00:1a<br>2001:7::200:ff:fe00:1a |

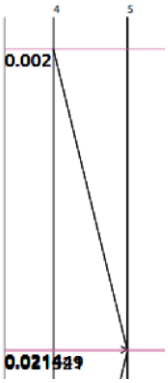
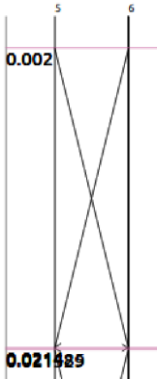
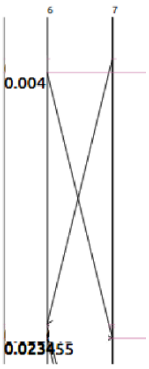
| | | |
|---|---|---|
| 2 | 2001:3::200:ff:fe00:5 | 2001:2::200:ff:fe00:4<br>2001:1::200:ff:fe00:2<br>Fe80::200:ff:fe00:5<br>Fe80::200:ff:fe00:4<br>Fe80::200:ff:fe00:2 |
| 3 | 2001:4::200:ff:fe00:7 | Fe80::200:ff:fe00:7<br>2001:3::200:ff:fe00:6<br>Fe80::200:ff:fe00:6 |
| 4 | 2001:5::200:ff:fe00:9 | 2001:4::200:ff:fe00:8<br>Fe80::200:ff:fe00:9<br>Fe80::200:ff:fe00:8<br>2001:7::200:ff:fe00:19<br>Fe80::200:ff:fe00:18<br>Fe80::200:ff:fe00:19<br>2001:6::200:ff:fe00:18 |
| 5 | 2001:6::200:ff:fe00:17 | Fe80::200:ff:fe00:b<br>2001:5::200:ff:fe00:a<br>Fe80:1::200:ff:fe00:a<br>Fe80::200:ff:fe00:a<br>Fe80::200:ff:fe00:16<br>Fe80:6::200:ff:fe00:16 |
| 6 | Fe80:1::200:ff:fe00:c | Fe80:2::200:ff:fe00:d<br>Fe80:5::200:ff:fe00:14<br>Fe80::200:ff:fe00:d<br>Fe80::200:ff:fe00:14<br>Fe80::200:ff:fe00:15<br>Fe80::200:ff:fe00:c<br>Fe80:6::200:ff:fe00:15 |
| 7 | Fe80:2::200:ff:fe00:e | Fe80:3::200:ff:fe00:f<br>Fe80::200:ff:fe00:12<br>Fe80::200:ff:fe00:13<br>Fe80::200:ff:fe00:f<br>Fe80:4::200:ff:fe00:12<br>Fe80:5::200:ff:fe00:13<br>Fe80::200:ff:fe00:e |
| 8 | Fe80:3::200:ff:fe00:10 | Fe80:4::200:ff:fe00:11<br>Fe80::200:ff:fe00:11<br>Fe80::200:ff:fe00:10 |

*Fuente: Autora*

### 4.3.1.2. TRANSMISIÓN DE PAQUETES NODO A NODO

***Tabla 26.*** *Transmisión de Paquetes*

| Demostración de Comportamiento de los Paquetes | Información de los Nodos |
|---|---|
|  ***Figura 53.*** *Envío de Paquetes del Nodo HA al CN* *Fuente: Autora* | Nodos: 0→2<br>T.Inicialización→ 0.007ms<br>Tx→ 0.0264ms |
|  ***Figura 54.*** *Envío de Paquetes del Nodo CN a I* *Fuente: Autora* | Nodos: 2→3<br>T.Inicialización→ 0 ms<br>Tx→ 0.019564ms |
|  ***Figura 55.*** *Envío de Paquetes del Nodo I al MAP* *Fuente: Autora* | Nodos: 3→4<br>T.Inicialización→0.002 ms<br>Tx→ 0.021472ms |

| | |
|---|---|
|  <br>***Figura 56.*** *Envío de Paquetes del Nodo MAP a AR1*<br>*Fuente: Autora* | Nodos: 4→5<br>T.Inicialización→0.002 ms<br>Tx→ 0.021449ms |
|  <br>***Figura 57.*** *Envío y Recepción de Paquetes del Nodo AR1 a AR2*<br>*Fuente: Autora* | Nodos: 5→6<br>T.Inicialización→0.002 ms<br>Tx→ 0.021485ms |
|  <br>***Figura 58.*** *Envío y Recepción de Paquetes del Nodo AR2 a MN*<br>*Fuente: Autora* | Nodos: 6→7<br>T.Inicialización→0.004 ms<br>Tx→ 0.023455ms |

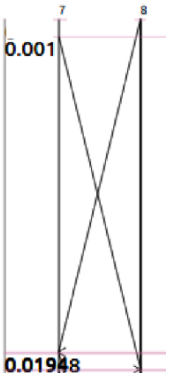



***Figura 59.*** *Envío y Recepción de Paquetes del Nodo MN a MN2*

*Fuente: Autora*

Nodos: 7→8
T.Inicialización→0.001 ms
Tx→ 0.01948ms

En la figura 60, se puede verificar el envío de los paquetes de un nodo a otro, de manera secuencial y ordenada, comprobando de esta manera la estabilidad de la red en el proceso de transmisión.

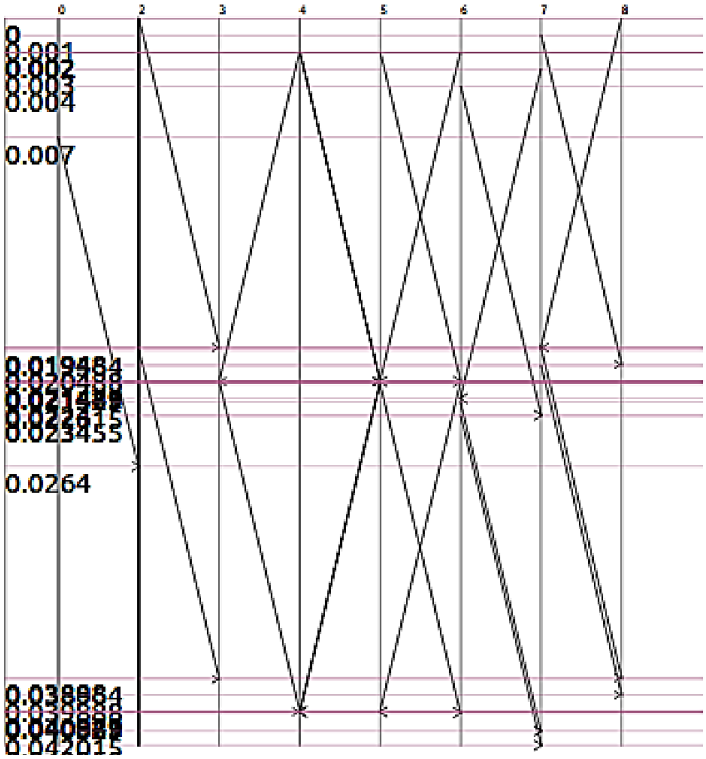



***Figura 60.*** *Comportamiento Final de Todos los Nodos que Componen la Red*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

*Fuente: Autora*

### 4.3.2. SIMULACIÓN DEL PROTOCOLO HMIPV6 EXCLUYENDO EL MAP

A continuación, la tabla 27, contiene la información del comportamiento de la red, que excluye al nodo de anclaje móvil (MAP).

***Tabla 27.*** *Transmisión de Paquetes Excluyendo el Nodo de Anclaje Móvil (MAP)*

La figura 61, concierne a la topología de HMIPV6 excluyendo la funcionalidad del MAP, está compuesta por 6 nodos CN, HA, INTERNET, AR1, MN.


***Figura 61.*** *Topología de HMIPV6 excluyendo el Nodo de Anclaje Móvil (MAP)*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

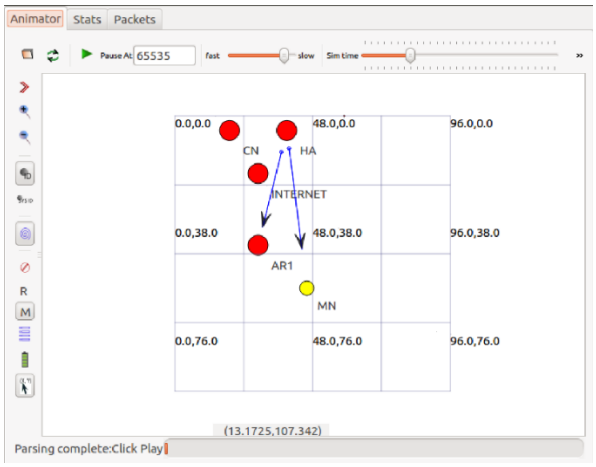



***Figura 62.*** *Comportamiento de Topología sin el Nodo de Anclaje Móvil*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

En la figura 62, el HA intercepta cualquier paquete direccionado hacia la dirección local del MN, por lo que el HA envía varios anuncios del enlace local al Nodo de Internet.

Si un MN se comunica con un CN, los paquetes son enrutados desde el CN hacia él HA y del HA al MN este enrutamiento se considera como un enrutamiento triangular.

El MN puede enviar un Binding Update hacia cualquier CN, logrando almacenar la actual Care-of-Address (CoA) y de esta manera lograr que los paquetes se envíen directamente del HA al MN.

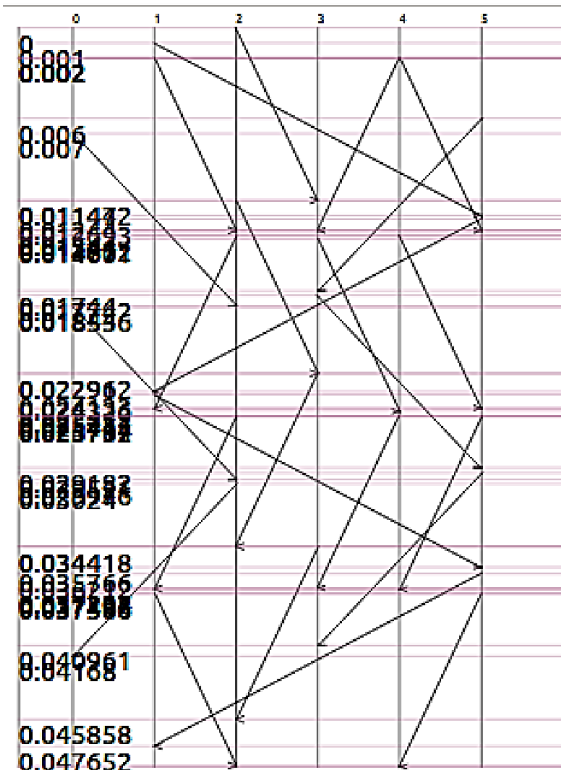



***Figura 63***. *Comportamiento Final de la Topología si el Nodo de Anclaje Móvil (MAP)*

*Fuente: Autora utilizando herramienta NetAnim*

La figura 63, corresponde a todas las trayectorias que realiza el paquete para cumplir con la funcionalidad de la red, notando claramente el desorden en los envíos de paquetes y disfuncionalidad en la comunicación entre cada nodo, aumentando significativamente el tiempo de transmisión de los paquetes.

*Fuente: Autora*

## 4.4. ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES

El análisis de las simulaciones permite caracterizar la funcionalidad de la red, y determinar si la inserción del MAP, es una mejora ante los problemas de micromovilidad. La herramienta empleada es Tracemetrics.

### 4.4.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS NODOS QUE CONFORMAN EL PROTOCOLO HMIPV6

La tabla 28, contiene la información general de la topología de HMIPV6.

***Tabla 28.*** *Características de la Topología de HMIPV6*

| Velocidad de Transferencia de Datos | Tiempo de Retardo Máximo del Paquete | Total de Nodos | Etiquetas de los Nodos de HMIPV6 |
|---|---|---|---|
| 50 Mbps | 5ms | 9 | HA, CN, I, MAP, AR1, AR2, MN, MN2, MN3 |

*Fuente: Autora*

La tabla 29, muestra los resultados parciales del analizador Tracemetrics.

***Tabla 29.*** *Resultados Parciales de HMIPV6 en TRACEMETRICS*

| VARIABLES | DATOS |
|---|---|
| Estado de Filas | 417 |
| Total de Paquetes Encolados | 139 |
| Total de Paquetes Enviados | 139 |
| Total de Paquetes Recibidos | 137 |
| Velocidad de Entrega | 12.8604s |

*Fuente: Autora*

Las tablas 30,31,32, corresponden a la información de cada nodo que compone la red, con la finalidad de con estos datos validar el funcionamiento y eficiencia de la red.

***Tabla 30.*** *Análisis de Datos de los Nodos: HA, CN, I.*

| CARACTERÍSTICAS | NODO 0 - HA | NODO 1 - CN | NODO 2 - I |
|---|---|---|---|
| **Paquetes Enviados** | 6 | 15 | 11 |
| **Paquetes Recibidos** | 6 | 14 | 11 |
| **Datos Enviados** | 1.34375 KB | 2.5703125 KB | 1.484375 KB |
| **Datos Recibidos** | 1.1484375 KB | 1.5625 KB | 1.484375 KB |
| **Throughput** (Rendimiento) | 106.99511679263475 B | 204.65926409753973 B | 118.19228017791048 B |
| **Goodput** (Cantidad de Información Útil) | 106.99511679263475 B | 204.65926409753973B | 118.19228017791048B |
| **Lambda** (Promedio de paquetes enviados por el nodo cada segundo) | 0.4665484743864887 | 1.1663711859662218 | 0.8553388697085627 |
| **EN** (Tamaño Promedio de la Cola) | 0.0011134956922024199 | 0.007501477403502224 | 0.006364343255264222 |
| **EW** (Tiempo Promedio Empleado por Cada Paquete en el nodo) | 0.002386666666666315 | 0.006431466666667044 | 0.0074407272727254085 |
| Little's Result<br><br>✓ **EN*Lambda** (Promedio de paquetes enviado en cada nodo en un cola de tamaño promedio) | 0.0011134956922022557 | 0.007501477403502663 | 0.006364343255262627 |
| Longitud Promedio de:<br><br>✓ **Paquetes Enviados**<br>✓ **Paquetes Recibidos** | <br><br>229.0 B<br>196.0 B | <br><br>175.0 B<br>114.0 B | <br><br>138.0 B<br>138.0 B |

*Fuente: Autora*

***Tabla 31.*** *Análisis de Datos de los Nodos: MAP, AR1, AR2.*

| CARACTERÍSTICAS | NODO 3 - MAP | NODO 4 – AR1 | NODO 5 – AR2 |
|---|---|---|---|
| **Paquetes Enviados** | 22 | 22 | 22 |
| **Paquetes Recibidos** | 22 | 22 | 22 |
| **Datos Enviados** | 2.96875 KB | 2.96875 KB | 2.96875 KB |
| **Datos Recibidos** | 2.96875 KB | 2.96875 KB | 2.96875 KB |
| **Throughput** (Rendimiento) | 236.38456035582095 B | 236.38456035582095 B | 236.38456035582095 B |
| **Goodput** (Cantidad de Información Útil) | 236.38456035582095 B | 236.38456035582095 B | 236.38456035582095 B |
| **Lambda** (Promedio de paquetes enviados por el nodo cada segundo) | 1.71067777394171253 | 1.71067777394171253 | 1.71067777394171253 |
| **EN** (Tamaño Promedio de la Cola) | 0.0038319118136294361 | 0.00934830953936114 | 0.008390252247208485 |
| **EW** (Tiempo Promedio Empleado por Cada Paquete en el nodo) | 0.0022400000000000464 | 0.005464681818182271 | 0.004904636363634877 |
| Little's Result<br><br>✓ **EN*Lambda** (Promedio de paquetes enviado en cada nodo en un cola de tamaño promedio) | 0.003831918136295154 | 0.009348309539361914 | 0.00839025224720594 |
| Longitud Promedio de:<br><br>✓ **Paquetes Enviados**<br>✓ **Paquetes Recibidos** | <br><br>138.0 B<br>138.0 B | <br><br>138.0 B<br>138.0 B | <br><br>138.0 B<br>138.0 B |

*Fuente: Autora*

***Tabla 32.*** *Análisis de Datos de los Nodos: MN, MN2, MN3.*

| CARACTERÍSTICAS | NODO 6 - MN | NODO 7 – MN2 | NODO 8 – MN3 |
|---|---|---|---|
| **Paquetes Enviados** | 22 | 11 | 8 |
| **Paquetes Recibidos** | 22 | 11 | 9 |
| **Datos Enviados** | 2.96875 KB | 1.484375 KB | 224.0 B |
| **Datos Recibidos** | 2.96875 KB | 1.484375 KB | 1.421875 KB |
| **Throughput** (Rendimiento) | 236.38456035582095 B | 118.19228017791048 B | 17.417809710428912 B |
| **Goodput** (Cantidad de Información Útil) | 236.38456035582095 B | 118.19228017791048 B | 17.417809710428912B |
| **Lambda** (Promedio de paquetes enviados por el nodo cada segundo) | 1.71067777394171253 | 0.8553388697085627 | 0.6220646325153183 |
| **EN** (Tamaño Promedio de la Cola) | 0.007758856645205437 | 0.004295745077913595 | 0.0053733165375882555 |
| **EW** (Tiempo Promedio Empleado por Cada Paquete en el nodo) | 0.004535545454545668 | 0.005022272727271374 | 0.008637874999999795 |
| Little's Result<br><br>✓ **EN*Lambda** (Promedio de paquetes enviado en cada nodo en un cola de tamaño promedio) | 0.007758856645205801 | 0.004295745077912437 | 0.005373316537588127 |
| Longitud Promedio de:<br><br>✓ **Paquetes Enviados**<br>✓ **Paquetes Recibidos** | <br><br>138.0 B<br>138.0 B | <br><br>138.0 B<br>138.0 B | <br><br>28.0 B<br>161.0 B |

*Fuente: Autora*

### 4.4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA TOPOLOGÍA EXCLUYENDO EL NODO DE ANCLAJE MÓVIL (MAP)

La tabla 33, contiene la información general de la topología que excluye el nodo de anclaje móvil (MAP).

***Tabla 33.*** *Características de la Topología HMIPV6 excluyendo el MAP*

| Velocidad de Transferencia de Datos | Tiempo de Retardo Máximo del Paquete | Velocidad de Entrega | Estado de Filas |
|---|---|---|---|
| 50 Mbps | 5ms | 29.1897 s | 1131 |

*Fuente: Autora*

La tabla 34, muestran información de los nodos con mayor cantidad de paquetes perdidos y mayor redundancia de paquetes en el proceso de transmisión.

***Tabla 34.*** *Análisis de Datos de los Nodos: HA, MN.*

| CARACTERÍSTICAS | NODO 3 - HA | NODO 5 - MN |
|---|---|---|
| **Paquetes Enviados** | 190 | 102 |
| **Paquetes Recibidos** | 102 | 240 |
| **Datos Enviados** | 243.8671875 KB | 95.6953125 KB |
| **Datos Recibidos** | 96.7890625 KB | 243.8359375 KB |
| **Throughput** (Rendimiento) | 8555.072508453324 B | 3357.0745845281044 B |
| **Goodput** (Cantidad de Información Útil) | 8555.072508453324 B | 3357.0745845281044 B |
| **Lambda** (Promedio de paquetes enviados por el nodo cada segundo) | 8.18781967611863 | 3.494383292736822 |
| **EN** (Tamaño Promedio de la Cola) | 13.232626542924383 | 0.12081843938101472 |
| **EW** (Tiempo Promedio Empleado por Cada Paquete en el nodo) | 1.6161355606694574 | 0.03457503921568412 |
| Little's Result<br>✓ **EN*Lambda** (Promedio de paquetes enviado en cada nodo en un cola de tamaño promedio) | 13.232626542924399 | 0.12081843938100702 |
| Longitud Promedio de:<br>✓ **Paquetes Enviados**<br>✓ **Paquetes Recibidos** | <br>1044.0 B<br>971.0 B | <br>960.0 B<br>1040.0 B |

*Fuente: Autora*

## 4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.5.1. PRUEBA DE NORMALIDAD

Para determinar el tipo de estadística que se aplica en esta investigación se efectúa la prueba de normalidad que consiste en analizar los valores de variables aleatorias que siguen una distribución normal, entonces de esta manera se establece si la estadística aplicada es paramétrica o no paramétrica. Las pruebas estadísticas pueden ser de dos tipos dependiendo de la cantidad de muestras, si los datos son mayores a 50 se utiliza el método Kolmogorov - Smirnov, mientras que si los datos son menores a 50 se aplica el método de Shapiro – Wilk.

Para probar la normalidad de los datos se plantea dos hipótesis:

- ✓ Hipótesis Nula (H0): Los datos analizados tienen distribución normal.
- ✓ Hipótesis del Investigador (Hi): Los datos analizados son distintos a la distribución normal.

**Pruebas de normalidad**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HMIPV6 | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Throughput/Rendimiento | HMIPV6_con_MAP | ,248 | 9 | ,117 | ,822 | 9 | ,036 |
| | HMIPV6_sin_MAP | ,204 | 9 | ,200* | ,879 | 9 | ,152 |
| | Paquetes_Enviados_con_MAP | ,281 | 9 | ,038 | ,829 | 9 | ,044 |
| | Paquetes_Enviados_sin_MAP | ,435 | 9 | ,000 | ,596 | 9 | ,000 |
| | Paquetes_Recibidos_Con_MAP | ,286 | 9 | ,033 | ,826 | 9 | ,040 |
| | Paquetes_Recibidos_sin_MAP | ,428 | 9 | ,000 | ,577 | 9 | ,000 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

***Figura 64**. Prueba de Normalidad*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

Los resultados mostrados en la figura 64, establecen que se recurre a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk rechazando la hipótesis nula y comprando de esta manera que los datos analizados no corresponden a la distribución normal, por lo tanto, el tipo de estadística utilizada en esta investigación es la no paramétrica.

### 4.5.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Del proceso de simulación se generan datos que son analizados, en la tabla 35, se plantea los tipos de variables:

***Tabla 35.*** *Operacionalización de Variables*

| VARIABLE | CONCEPTO | CATEGORÍA | INSTRUMENTOS TÉCNICOS |
|---|---|---|---|
| **Variable Independiente**<br><br>Estructuramiento del Protocolo Hierarchical Mobile IPV6 en el enrutamiento usando NS-3. | Simular la topología del Protocolo Jerárquico para que cumpla las especificaciones de la RFC 4140. | • Telecomunicaciones<br>• Lenguaje de Programación | • NS-3<br>• RFC 4140 |
| **Variables Dependientes**<br><br>• Paquetes enviados<br>• Paquetes perdidos<br>• Paquetes retransmitidos<br>• Throughtput/Rendimiento | Evaluar las mediciones obtenidas en base a la simulación de la topología de HMIPV6. | • Telecomunicaciones | • NS3 |

*Fuente: Autora*

### 4.5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DEL THROUGHPUT

En esta sección se establece dos suposiciones que sirven de base para la argumentación a partir de los datos del Throughput, obtenidos en la simulación del protocolo HMIPV6, éstas son:

- ✓ Hipótesis Nula (H0): El promedio del rendimiento del protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) con el Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en

NS-3, es igual al promedio del rendimiento del Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin el Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

$$H_0 : \mu_{RedA} = \mu_{RedB}$$

- ✓ Hipótesis del Investigador (Hi): El promedio del rendimiento del protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) con el Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en NS-3, no es igual al promedio del rendimiento del Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin el Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

$$H_i : \mu_{RedA} \neq \mu_{RedB}$$

Con el software IBM SPSS y con los valores obtenidos se realiza el análisis estadístico descriptivo que muestra valores como los de: media, mediana, desviación estándar, varianza, máximo, mínimo. Las hipótesis planteadas se validan en función de la comparación de medias con muestras independientes.

En la figura 65, se muestra el análisis estadístico descriptivo del Throughput/Rendimiento de las dos redes.

**Descriptivos**

| | HMIPV6 | | | Estadístico | Desv. Error |
|---|---|---|---|---|---|
| Throughput/Rendimiento | HMIPV6_con_MAP | Media | | 167,8883325 | 26,72072425 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 106,2702319 | |
| | | | Límite superior | 229,5064331 | |
| | | Media recortada al 5% | | 172,4424600 | |
| | | Mediana | | 204,6592641 | |
| | | Varianza | | 6425,974 | |
| | | Desv. Desviación | | 80,16217274 | |
| | | Mínimo | | 17,4178097 | |
| | | Máximo | | 236,3845604 | |
| | | Rango | | 218,9667506 | |
| | | Rango intercuartil | | 123,7908619 | |
| | | Asimetría | | -,793 | ,717 |
| | | Curtosis | | -,495 | 1,400 |
| | HMIPV6_sin_MAP | Media | | 56,27234510 | 8,785685775 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 36,01251737 | |
| | | | Límite superior | 76,53217282 | |
| | | Media recortada al 5% | | 57,48499839 | |
| | | Mediana | | 57,05824548 | |
| | | Varianza | | 694,694 | |
| | | Desv. Desviación | | 26,35705732 | |
| | | Mínimo | | 5,4813856 | |
| | | Máximo | | 85,2355454 | |
| | | Rango | | 79,7541599 | |
| | | Rango intercuartil | | 41,4336552 | |
| | | Asimetría | | -,565 | ,717 |
| | | Curtosis | | ,326 | 1,400 |

***Figura 65.*** *Valores Estadísticos Descriptivos del Rendimiento*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

**Resumen de prueba de hipótesis**

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|---|---|---|
| 1 | La distribución de Throughput/Rendimiento es la misma entre las categorías de HMIPV6. | Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes | ,003[1] | Rechazar la hipótesis nula. |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

[1]Se muestra la significación exacta para esta prueba.

***Figura 66.*** *Resumen de Prueba de Hipótesis del Throughput*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

De acuerdo a la figura 66, se rechaza la hipótesis nula, validando la hipótesis del investigador, esto expresa que el promedio del rendimiento del protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) con el Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en NS-3, no es igual al promedio del rendimiento del Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin el Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

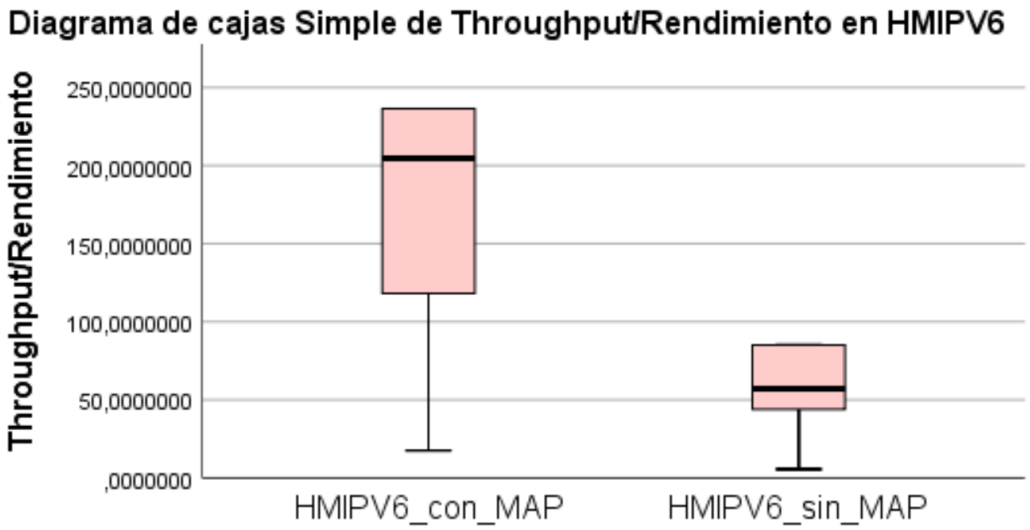



***Figura 67.*** *Diagrama de Cajas de Throughput/Rendimiento en HMIPV6*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

Con la figura 67, se obtiene una comparativa visual acerca del rendimiento de las redes sujetas a comparación, debido a que el rendimiento se refiere la capacidad efectiva de trasferencia de datos sobre un enlace de tipo físico o lógico, asociando al consumo de ancho de banda.

### 4.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LOS PAQUETES ENVIADOS Y RECIBIDOS EN HMIPV6

Los datos obtenidos con respecto a la cantidad de paquetes enviados y recibidos en HMIPV6, generan dos suposiciones:

- ✓ Hipótesis Nula (H0): El promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6), simulado en NS-3, es igual al promedio de los paquetes recibidos en el Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6).

$$H_0 : \mu_{Paquetes\ Enviados} = \mu_{Paquetes\ Recibidos}$$

- ✓ Hipótesis del Investigador (Hi): El promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6), simulado en NS-3, no es igual al promedio de los paquetes recibidos en el Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6).

$$H_i : \mu_{Paquetes\ Enviados} \neq \mu_{Paquetes\ Recibidos}$$

**Descriptivos**

| | Paquetes_Recibidos | | | Estadístico | Desv. Error |
|---|---|---|---|---|---|
| Paquetes_Enviados | Paquetes_enviados_con_map | Media | | 15,4444 | 2,22430 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 10,3152 | |
| | | | Límite superior | 20,5737 | |
| | | Media recortada al 5% | | 15,6049 | |
| | | Mediana | | 15,0000 | |
| | | Varianza | | 44,528 | |
| | | Desv. Desviación | | 6,67291 | |
| | | Mínimo | | 6,00 | |
| | | Máximo | | 22,00 | |
| | | Rango | | 16,00 | |
| | | Rango intercuartil | | 12,50 | |
| | | Asimetría | | -,164 | ,717 |
| | | Curtosis | | -1,978 | 1,400 |
| | Paquetes_recibidos_con_map | Media | | 15,4444 | 2,18652 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 10,4023 | |
| | | | Límite superior | 20,4866 | |
| | | Media recortada al 5% | | 15,6049 | |
| | | Mediana | | 14,0000 | |
| | | Varianza | | 43,028 | |
| | | Desv. Desviación | | 6,55956 | |
| | | Mínimo | | 6,00 | |
| | | Máximo | | 22,00 | |
| | | Rango | | 16,00 | |
| | | Rango intercuartil | | 12,00 | |
| | | Asimetría | | -,092 | ,717 |
| | | Curtosis | | -1,988 | 1,400 |

***Figura 68.*** *Valores Estadísticos Descriptivos de los Paquetes Enviados vs. Paquetes Recibidos*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

**Resumen de prueba de hipótesis**

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Las medianas de Paquetes_Enviados son las mismas entre las categorías de Paquetes_Recibidos. | Prueba de la mediana para muestras independientes | 1,000[1,2] | Retener la hipótesis nula. |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de , 05.

[1]Se muestra la significación exacta para esta prueba.

[2]Sig. exacta de Fisher

***Figura 69.*** *Resumen de Prueba de Hipótesis de los Paquetes Enviados vs. los Paquetes Recibidos*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

La figura 68, contiene los valores estadísticos con respecto a los paquetes enviados y paquetes recibidos en HMIPV6, de acuerdo a esto, la figura 69, indica que se retiene la hipótesis nula, considerando de esta manera que el promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6), simulado en NS-3, es igual al promedio de los paquetes recibidos en Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6).
La figura 70, corresponde al diagrama de cajas de los paquetes enviados con respecto a los paquetes recibidos utilizando HMIPV6.

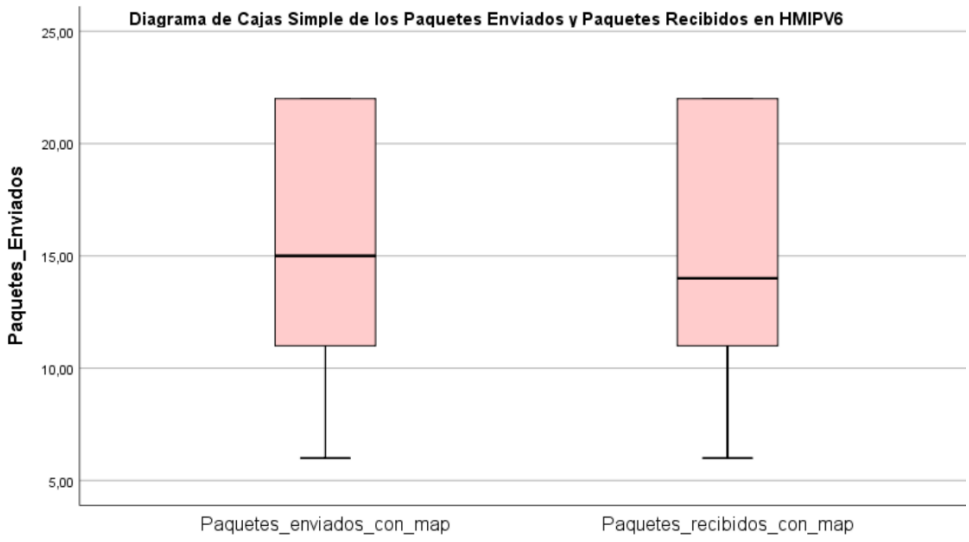



***Figura 70.*** *Diagrama de Cajas de los Paquetes Enviados y Paquetes Recibidos en HMIPV6*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

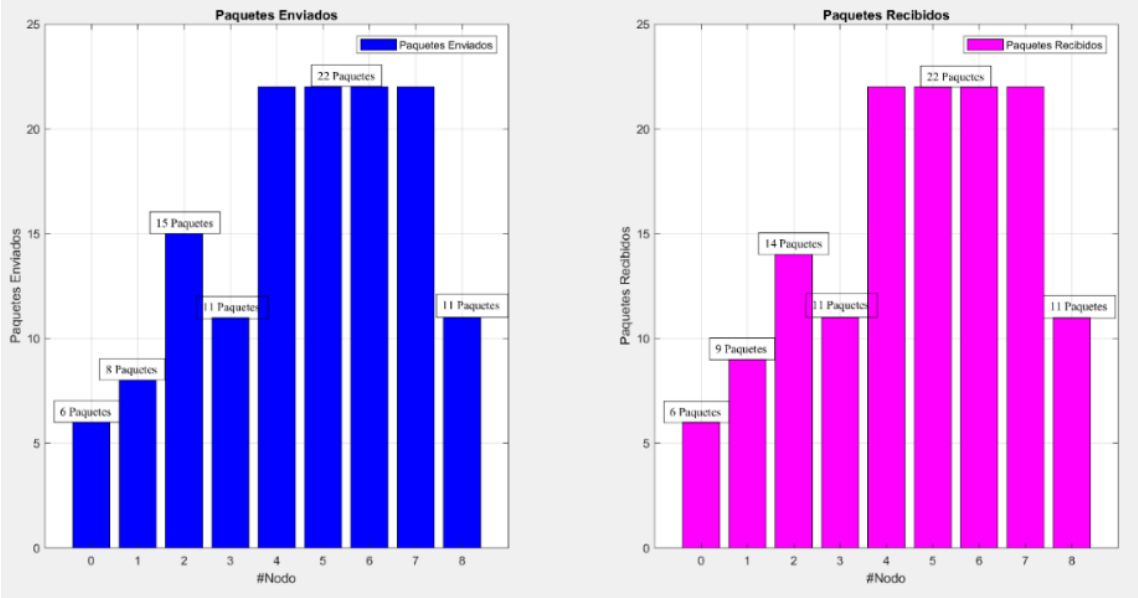



***Figura 71**. Paquetes Enviados y Recibidos en HMIPV6*

*Fuente: Autora utilizando las herramientas de MATLAB*

El objetivo de HMIPV6 es reducir la pérdida de paquetes, disminuir la redundancia en la transmisión y reducir el tiempo en la trasmisión total de los paquetes, en la figura 71, se realiza un balance de los paquetes enviados con relación a los paquetes recibidos en HMIPV6, concluyendo que en el nodo 1 existe un paquete redundante y en el nodo 2 se analiza un paquete perdido.

### 4.5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LOS PAQUETES ENVIADOS Y RECIBIDOS EN HMIPV6 EXCLUYENDO EL NODO DE ANCLAJE MÓVIL (MAP)

Para validar el modelo de simulación de esta investigación, se establece una topología similar al protocolo HMIPV6, con la diferencia de suprimir el Nodo de Anclaje Móvil (MAP), debido a esto se generan dos presunciones:

- ✓ Hipótesis Nula (H0): El promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en NS-3, es igual al promedio de los paquetes recibidos en el Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

$$H_0 : \mu_{Paquetes\ Enviados\ sin\ MAP} = \mu_{Paquetes\ Recibidos\ \text{sin}\ MAP}$$

- ✓ Hipótesis del Investigador (Hi): El promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en NS-3, no es igual al promedio de los paquetes recibidos en el Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

$$H_i : \mu_{Paquetes\ Enviados\ \text{sin}\ MAP} \neq \mu_{Paquetes\ Recibidos\ \text{sin}\ MAP}$$

La figura 72, indica el análisis estadístico descriptivo de los paquetes enviados con relación a los paquetes recibidos sin el Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

**Descriptivos**

| | Paquetes_Recibidos_sin_MAP | | | Estadístico | Desv. Error |
|---|---|---|---|---|---|
| Paquetes_Enviados_Sin_MAP | Paquetes_Enviados_sin_MAP | Media | | 54,6667 | 31,05551 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | -25,1641 | |
| | | | Límite superior | 134,4974 | |
| | | Media recortada al 5% | | 49,8519 | |
| | | Mediana | | 12,0000 | |
| | | Varianza | | 5786,667 | |
| | | Desv. Desviación | | 76,07014 | |
| | | Mínimo | | 6,00 | |
| | | Máximo | | 190,00 | |
| | | Rango | | 184,00 | |
| | | Rango intercuartil | | 118,00 | |
| | | Asimetría | | 1,499 | ,845 |
| | | Curtosis | | 1,240 | 1,741 |
| | Paquetes_Recibidos_sin_MAP | Media | | 62,8333 | 38,59138 |
| | | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | -36,3690 | |
| | | | Límite superior | 162,0356 | |
| | | Media recortada al 5% | | 56,2037 | |
| | | Mediana | | 12,5000 | |
| | | Varianza | | 8935,767 | |
| | | Desv. Desviación | | 94,52918 | |
| | | Mínimo | | 5,00 | |
| | | Máximo | | 240,00 | |
| | | Rango | | 235,00 | |
| | | Rango intercuartil | | 131,50 | |
| | | Asimetría | | 1,768 | ,845 |
| | | Curtosis | | 2,716 | 1,741 |

***Figura 72.*** *Valores Estadísticos Descriptivos de HMIPV6 Paquetes Enviados y Paquetes Recibidos sin MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

En base a los resultados obtenidos de acuerdo a la figura 73, se rechaza la hipótesis nula, y de esta manera se valida la hipótesis del investigador que establece que el promedio de los paquetes enviados en el protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP), simulado en NS-3, no es igual al promedio de los paquetes

recibidos en el Protocolo HMIPV6 (Hierarchical Mobile IPV6) sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP).

**Resumen de prueba de hipótesis**

| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Las medianas de Paquetes_Enviados_Sin_MAP son las mismas entre las categorías de Paquetes_Recibidos_sin_MAP. | Prueba de la mediana para muestras independientes | ,010[1,2] | Rechazar la hipótesis nula. |

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

[1]Se muestra la significación exacta para esta prueba.

[2]Sig. exacta de Fisher

***Figura 73.*** *Resumen de Prueba de Hipótesis de los Paquetes Enviados vs. los Paquetes Recibidos sin MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

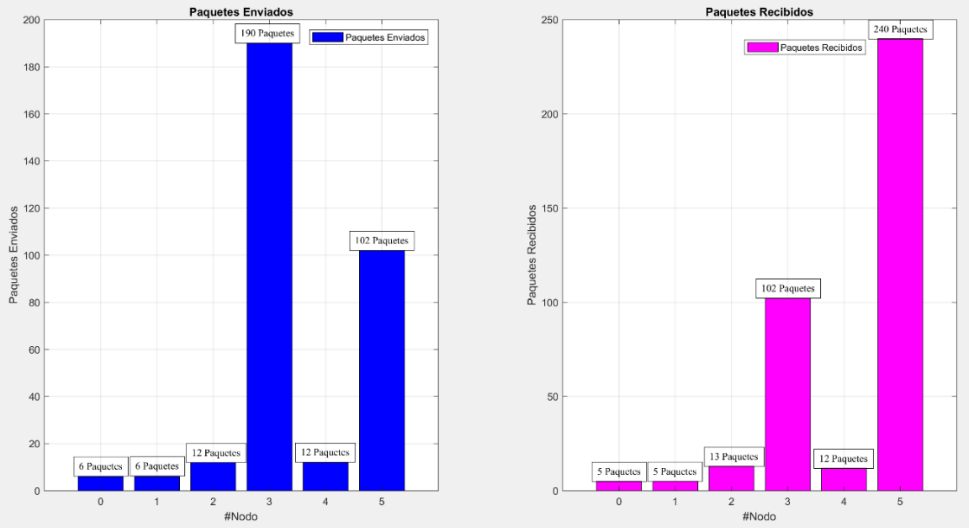



***Figura 74.*** *Paquetes Enviados y Recibidos en HMIPV6 sin MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramientas de MATLAB*

El estudio de HMIPV6 sin el MAP, muestra las deficiencias notables en la red, en el caso de paquetes perdidos de acuerdo a la figura 74, se calcula un total de 90, y si el caso es de redundancia se obtiene 132 paquetes, esto se origina a causa de las retransmisiones que efectúa la red. Todas estas deficiencias se originan debido a de que en esta topología los caminos que deben recorrer los paquetes son más amplios, y la comunicación no se efectúa por saltos consecutivos, sino que se trata de resolver el direccionamiento siguiendo cualquier ruta sin especificación ordenada.

## 4.6. TABLA COMPARATIVA DE HMIPV6 CON Y SIN NODO DE ANCLAJE MÓVIL (MAP)

En esta sección se compara los datos obtenidos en la simulación del protocolo HMIPV6 con respecto a la topología de prueba sin el nodo de anclaje móvil (MAP).

A continuación, en la tabla 36, se analizan los parámetros de cada red:

***Tabla 36.*** *Análisis Comparativo de HMIPV6 con y sin MAP*

| VARIABLES | HMIPV6 CON MAP | HMIPV6 SIN MAP |
|---|---|---|
| Paquetes Enviados | 139 | 277 |
| Paquetes Perdidos | 1 | 90 |
| Paquetes Redundantes | 1 | 132 |
| Throughput/Goodput | 167,8883325 B | 64,23484874 B |
| Estado de Filas | 417 | 1131 |
| Velocidad de Entrega | 12,8604s | 29,1897s |

*Fuente: Autora*

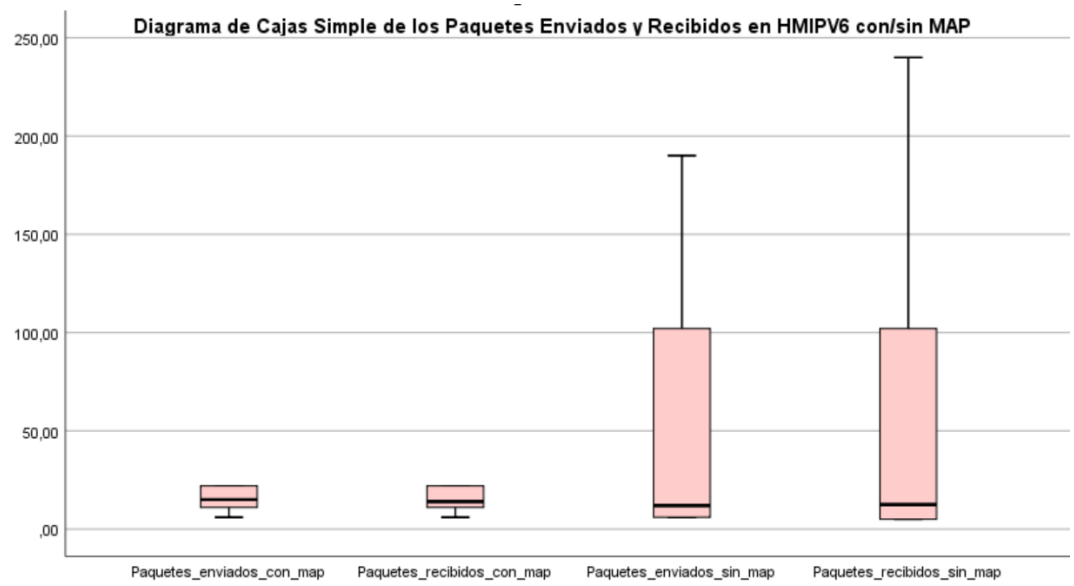



***Figura 75.*** *Diagrama de Cajas de los Paquetes Enviados vs. Paquetes Recibidos en HMIPV6 con/sin MAP*

*Fuente: Autora utilizando herramienta estadística IBM SPSS*

En la figura 75, se observa la comparativa del envío y recepción de paquetes en HMIPV6 con y sin Nodo de Anclaje Móvil (MAP). En el primer caso en donde se incluye el MAP el diagrama de envío de paquetes es similar al diagrama de recepción de paquetes, mientras que en el caso de HMIPV6 sin MAP, la gráfica no se asemeja a la topología simulada, debido a que la interpretación de los datos muestra variación con respecto a los valores máximos, mínimos, medianas y valores atípicos.

## 4.7. DISCUSIÓN

Actualmente trabajar sobre la plataforma de NS-3 muestra mucha dificultad, debido a la falta de información de los parámetros y características con que cuenta este software, por ello la investigación realizada está enfocada en base a la versión 2, cabe mencionarse que todas las utilidades no son compatibles con la versión actual, de allí la problemática desde el proceso de instalación hasta la obtención de la simulación final. Todas las herramientas tanto de visualización como de análisis son constituidas de manera particular.

HMIPV6 es el protocolo de Micromovilidad, considerado como la extensión de MIPV6, porque es capaz de poder resolver los problemas en cuanto a la pérdida de paquetes, velocidad de entrega, redundancia y rendimiento. La implementación de esta topología acoge una serie de modificaciones para validar y mejorar la eficiencia de la red de acuerdo a las particularidades planteadas en la RFC 4140. La inserción del Nodo de Anclaje Móvil (MAP) en HMIPV6 constituye la esencia del desarrollo de este proyecto de titulación, es necesario puntualizar en que los trabajos que conciernen a esta temática, están totalmente desactualizados esto implica el software e incluso la forma de interpretar la actividad del MAP y su proceso de señalización, entonces todos los estudios anteriores cuentan con limitaciones y por ende la deficiencia de la topología va a ser notable con respecto a la simulación desarrollada en NS-3, porque todas las debilidades mencionadas son analizadas e interpretadas para desarrollar el proceso de programación que pueda resolver los inconvenientes de los antecesores.

Esta investigación es la base para ampliar, modificar y mejorar la simulación del protocolo de Micromovilidad ya implementado. La innovación que se le puede dar a este modelamiento puede ser en base al manejo de funciones más amplias donde se inserten

MAP’S y puedan comunicarse de manera dinámica entre varios, actualizando el direccionamiento en los Bindings Caché con el propósito de brindar soporte a mas Nodos Móviles que se agreguen a la red. La eficiencia de la simulación desarrollada no es perfecta en su totalidad aún cuenta con valores mínimos de pérdida que pueden ser corregidos en el establecimiento de ruteo de los paquetes.

# CAPÍTULO V

# 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Al desarrollar el modelo de simulación del protocolo HMIPV6 con el software NS-3, la programación fue realizada en función a las especificaciones descritas en la RFC 4140, en donde se describe la inclusión de procedimientos para optimización de rutas y encapsulamiento, imponiendo de esta manera la implantación del Nodo de Anclaje Móvil (MAP), para mejorar la gestión de movilidad local y el desempeño de la red, en cuanto a rendimiento, velocidad de entrega, todas estas variables que intervienen en el proceso de análisis de la red son evaluados por las herramientas NetAnim y Tracemetrics.
- ✓ Durante el proceso de elaboración de este proyecto se adquieren conocimientos acerca de los protocolos de Macromovilidad (MIPV6) y Micromovilidad (HMIPV6), de esta manera se consigue conocer la operatividad de cada elemento que compone cada red, con la finalidad de comprobar las fortalezas y vulnerabilidades. HMIPV6 se lo define como la extensión de MIPV6 debido a que acoge todas las particularidades y las tratas de examinar mediante el estructuramiento jerárquico para mejorar el proceso de señalización.
- ✓ La evaluación de efectividad de la topología de HMIPV6, fue realizado en base a una comparativa entre una red integrada por el nodo de Anclaje Móvil (MAP) con respecto a una red que no contenía el MAP en su estructuramiento. Con la herramienta de visualización NetAnim se verifica el comportamiento de la red mientras que con Tracemetrics se analizan los datos obtenidos en la simulación desarrollada en NS-3.
- ✓ El protocolo HMIPV6 constituido por el Nodo Correspondiente (CN), Agente Local (HA), Nodo de INTERNET (I), Punto de Anclaje Móvil (MAP), Routers de Acceso (AR1, AR2), Nodos Móviles (MN, MN2, MN3), obtuvo una significativa disminución en cuanto a paquetes perdidos siendo un total de 1 paquete, mientras que en el proceso de retrasmisión se generó 1 paquete como redundante. Los valores conseguidos en el rendimiento/Throughput pudieron

generar una gráfica de estabilidad, sin variaciones extremas. La velocidad de entrega total fue de 12.8604s con un total de 417 líneas de enrutamiento para comunicar los nodos que componen la red.

- ✓ El modelamiento de prueba estructurado por el Nodo Correspondiente (CN), Agente Local (HA), INTERNET (I), Router de Acceso (AR1), Nodo Móvil (MN), generó valores de pérdidas de paquetes con un total de 90 y en el proceso de retrasmisión 132 paquetes redundantes. En el análisis de la gráfica de rendimiento/Throughput se verifica la inestabilidad de la red, con variaciones extremas en sus datos estadísticos. La velocidad de entrega total fue de 29.897s que corresponde al 58% diferencia con respecto a la red de HMPV6, cabe resaltar que en esta topología se excluye el Nodo de Anclaje Móvil (MAP), finalmente el total de líneas de enrutamiento es de 1131 para comunicar todos los nodos de la red.
- ✓ El aporte sobresaliente del proyecto de titulación es resaltar la importancia de la utilidad de NS-3 para desarrollar simulaciones de diferentes protocolos existentes, que permitirán experimentar y comprender su beneficio, además se comprobará la funcionalidad con el propósito de lograr un mejor desempeño e incursionar en el desarrollo de futuros protocolos.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Investigar información de las herramientas utilizadas para desarrollar y mejorar los protocolos de Macromovilidad y Micromovilidad en NS-3, dado que la información existente es muy poca, mientras que la información de la versión 2 no es compatible con nuevas herramientas, y por ende la información queda inutilizada, entonces es un proceso que se inicia desde cero.
- ✓ Implementar nuevas estructuras de programación, para obtener mejor eficiencia en el diseño y edición de protocolos de movilidad, buscando técnicas que puedan mejorar la funcionalidad de la movilidad ante la problemática en cuanto a pérdida de paquetes, señalización, redundancia, velocidad de entrega.

**BIBLIOGRAFÍA**


Abosallout, T. (16 de Agosto de 2015). *NetSysHorizon*. Obtenido de http://netsyshorizon.blogspot.com/2015/08/unicast-broadcast-multicast-anycast-address-transmission-traffic-types.html

Aeross. (16 de Noviembre de 2013). *SlideShare.* Obtenido de https://es.slideshare.net/aeross/capas-del-modelo-osi-y-protocolos-que-intervienen-en-cada-capa

Aguilera, C., Duran, C., & Etter, J. (2016). *Tutorial para la Simulación de Algoritmos de ruteo en Redes Alámbricas e Inalámbricas Utilizando NS-3.* Chile.

Atom. (3 de Julio de 2015). *Blogspot.com*. Obtenido de http://direccionamiento47.blogspot.com/2015/07/direccionamiento-ip-subredes.html

Becerra Sánchez, L. Y., Padilla Aguilar, J. J., & Paradells Aspas, J. (2014). *Approach to Radio Channel Bandwidth Improvement in Hierarchical Mobile IP Networks (HMIPV6-BI).* Bucaramanga.

Bernardos, C. J. (2004). *PFC "Estudio de soluciones de movilidad en redes de cuarta generación".* Madrid.

Carvajal Escobar, J. E., Santos Jaimes, L. M., & Rico Bautista, D. W. (Diciembre, 2013). *Movilidad en Ipv6: Simulación con Network Simulator.* EDUCOSTA.

Caymans. (29 de Abril de 2018). *247 Tecno*. Obtenido de http://247tecno.com/protocolos-de-comunicacion-tipos-ejemplos/

Cazau, P. (2006). *INTTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES.* Buenos Aires.

Colmenares Delgado, D. A., & Rodríguez Rodríguez, H. J. (2008). *Modelo de Simulación Para el Protocolo Hierarchical Mobile IPV6 Mediante Network Simulator.* Bucaramanga.

Delgado, H. (24 de Octubre de 2018). *Akus.net*. Obtenido de https://disenowebakus.net/las-ip-protocolo-de-internet.php

Dhananjay , S. (2 de Febrero de 2014). *ResearchGate* . Obtenido de https://www.researchgate.net/post/What_are_the_differences_between_NS2_NS3

Francois, J., & Villagómez, C. (10 de Enero de 2018). *CCM*. Obtenido de https://es.ccm.net/contents/276-rfc-peticion-de-comentarios

Herrera , J. M. (2004). *NS2-Network Simulator.* Valparaíso.

Herrera M, J. M. (2004). *NS2 - NETWORK SIMULATOR.* Valparaíso.

*IBM Knowledge Center*. (s.f.). Obtenido de https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/ssw_aix_72/network/tcpip_ipv6.html

Johnson, D., Arkko, J., & Perkins, C. (2004). *Mobility Support in IPv6.*

Mangues Bafalluy, J., Cabellos Aparicio, A., & Serral Gracia, R. (s.f.). *MOVILIDAD IP, Macromovilidad, Micromovilidad, Calidad de Servicio y Seguridad.* Madrid: MCYT.

*NeoAttack*. (s.f.). Obtenido de https://neoattack.com/neowiki/ip/

NSNAM. (2011). *NS-3*. Obtenido de NS-3: https://www.nsnam.org/

Palacios Morocho, M. E. (2017). *"Implementación de un Simulador de Redes Mediante Software Libre Para el Laboratorio de Telecomunicaciones del Aeirnnr"*. LOJA.

Pérez de Acha, G. (17 de Julio de 2017). *Derechos Digitales*. Obtenido de América Latina: https://www.derechosdigitales.org/11311/ietf-la-politica-de-los-protocolos/

Prado Rueda, R. (24 de Junio de 2014). *CISCO*. Obtenido de https://community.cisco.com/t5/blogs-routing-y-switching/ipv4-vs-ipv6-diferencias-en-el-encabezado-de-paquetes/ba-p/3103867

Ramírez, S., & Cervantes, M. (Noviembre de 2005). *Universidad de la República Uruguay*. Obtenido de https://www.rau.edu.uy/ipv6/queesipv6.htm

Rivera Aragón, A. M., & Zuluaga Soto, D. J. (2008). *El Nuevo Protocolo de Internet: IPV6.* Pereira.

Rosales, D. (18 de Octubre de 2009). *Seguridad y Redes*. Obtenido de https://delfirosales.blogspot.com/2009/06/metodos-de-transmision-unicast.html

Ruiz, R. (2007). *EL MÉTODO CIENTÍFICO Y SUS ETAPAS.* México.

Soliman, H., Castelluccia, C., El Malki, K., & Bellier, L. (2005). *Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) RFC 4140.*

Tomasi. (s.f.). *Sistemas De Comunciaciones Electrónicas.* Prentice Hall.

Torres, A. (2 de Octubre de 2017). *Compara>Hosting*. Obtenido de https://www.comparahosting.com/p/que-es-una-direccion-ip/

Turmero, P. (2014). *Monografias.com*. Obtenido de https://www.monografias.com/trabajos107/introduccion-ipv6/introduccion-ipv6.shtml

Walton, A. (31 de Diciembre de 2017). *CCNA Desde Cero.* Obtenido de https://ccnadesdecero.es/protocolos-y-comunicaciones-de-red-cisco/

Walton, A. (2017). *CCNA Desde Cero*. Obtenido de https://ccnadesdecero.es/protocolos-y-comunicaciones-de-red-cisco/

You, T., Sangheon, P., & Yanghee, C. (2003). *Robust Hierarchical Mobile IPv6 (RH-MIPv6).* Korea: Brain Korea.

## ANEXOS

## ANEXO 1

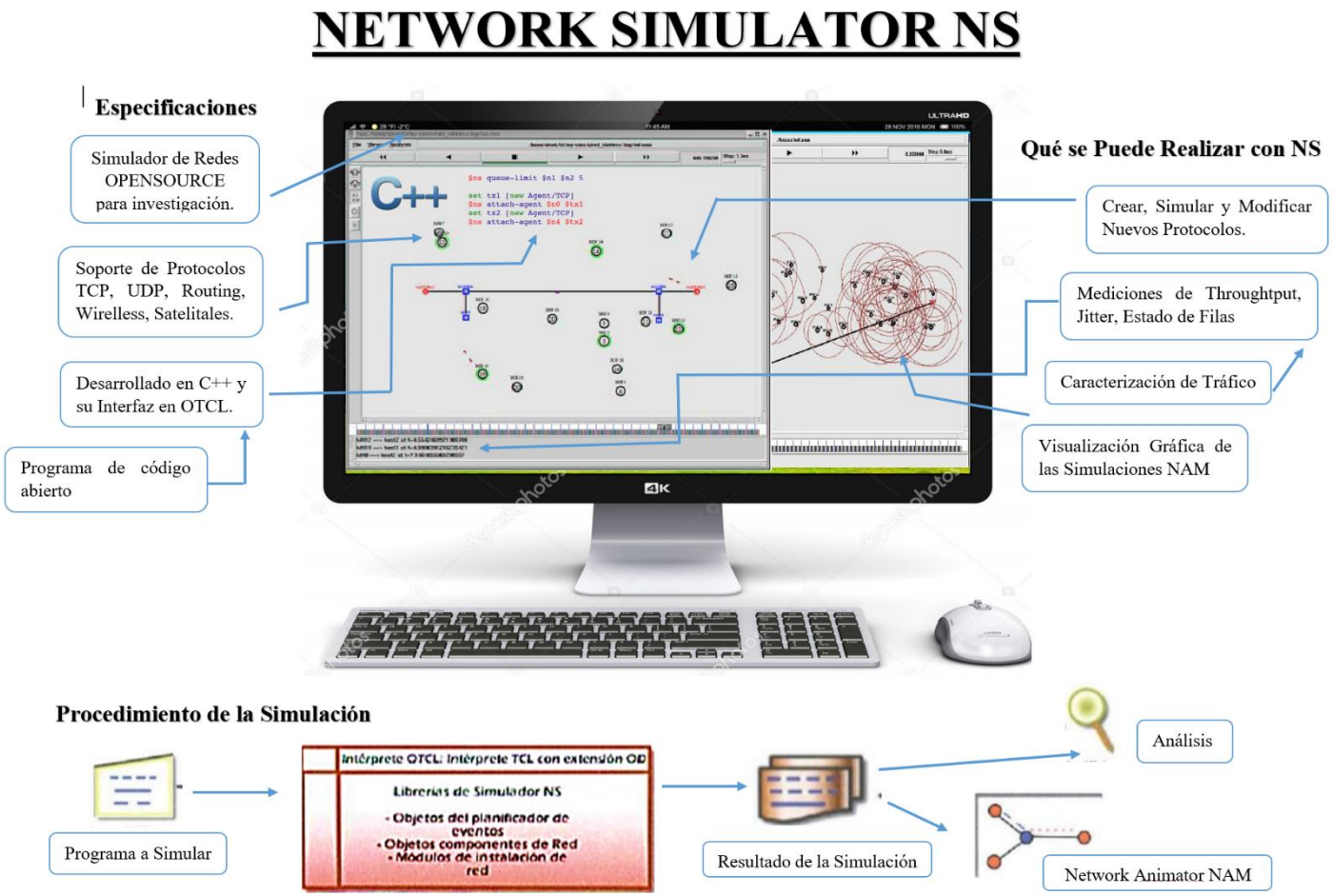



***Figura 76.*** *Características de Network Simulator*

*Fuente: Autora*

**ANEXO 2**

El siguiente listado de palabras se han empleado durante el proceso del desarrollo de la investigación.

- ✓ **Handoff:** Se denomina handover o traspaso (también handoff o transferencia) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.
- ✓ **Latencia:** La latencia es la suma de todos estos tiempos, es decir, el tiempo que pasa desde que se ha enviado un paquete en el destino hasta que llega al receptor.
- ✓ **RFC:** Las RFC (Request For Comments, Peticiones de comentarios) son un conjunto de documentos que sirven de referencia para la comunidad de Internet, que describen, especifican y asisten en la implementación, estandarización y discusión de la mayoría de las normas, los estándares, las tecnologías y los protocolos relacionados con Internet y las redes en general.
- ✓ **Data Rate**: La velocidad de datos es un término para denotar la velocidad de transmisión, o el número de bits por segundo transferidos.
- ✓ **Goodput:** Es la cantidad de información útil, entregada por la red a un destino determinado, por unidad de tiempo.
- ✓ **Throughput**: Es la tasa media de éxito de la entrega de mensajes en un canal de comunicación, El rendimiento se mide en bits por segundo (bit/s ó bps)
- ✓ **MTU**: La unidad máxima de transferencia, es un término que expresa el tamaño en bytes de la unidad de datos más grande que puede enviarse usando un protocolo de comunicaciones.