

Movilidad en IPv6: Simulación con Network Simulator*

IPv6 Mobility: Simulation with Network Simulator

Artículo de Investigación científica - Fecha de Recepción: 27 de Mayo de 2013 - Fecha de Aceptación: 28 de Octubre de 2013

Javier Eduardo Carvajal Escobar

Ingeniero de Sistemas. Maat Gknowledge Colombia. Bucaramanga. Santander, Colombia. jaedcar74@gmail.com

Luz Marina Santos Jaimes

Ingeniera de Sistemas. Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación. Universidad de Pamplona. Pamplona. Norte de Santander, Colombia. lsantos@unipamplona.edu.co

Dewar Wilmer Rico Bautista

Ingeniero de Sistemas. Especialista en Telecomunicaciones, Magíster en Ciencias Computacionales. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña. Norte de Santander, Colombia. dwricob@ufpso.edu.co

Para citar este artículo / To reference this article

J. Carvajal, L. M. Santos, and D. W. Rico, "Movilidad en IPv6: Simulación con Network Simulator," INGE CUC, vol. 9, no. 2, pp. 21–30, 2013.

Resumen: IP Móvil es la propuesta de Internet Engineering Task Force (IETF) para el protocolo de movilidad llamado MIPv6. Este protocolo se ha convertido en la columna vertebral de las nuevas tecnologías de redes inalámbricas mediante las cuales se busca proveer de un servicio ininterrumpido mientras se está en movimiento. Este artículo presenta una visión general del funcionamiento de dicho protocolo, los términos relacionados con este y los nuevos mensajes que vienen dentro del encabezado de movilidad en IPv6. Después se realiza una simulación de dicho protocolo con el software Network Simulator 2, bajo licencia GNU de distribución libre. Como resultado de la simulación se obtiene un archivo de trazas en el cual se plasman todos los eventos.

Palabras clave: IP Móvil, IPv6, MIPv6, Mobiwan, Network Simulator.

Abstract: Mobile IP is the Internet Engineering Task Force's (IETF) proposal for the mobility protocol known as MIPv6. This protocol becomes the backbone of the latest technologies in wireless networks seeking to provide an uninterrupted service while the user is in motion. This article, initially, intends to deliver an overview of this protocol regarding its operation, the terms related to it, and the new messages that come within the headline of IPv6 mobility. Afterwards, a simulation of this protocol is performed with Network Simulator 2 software, under GNU license for free distribution, and a trace file is presented as a result of the aforementioned simulation.

Keywords: IP Mobile, IPv6, MIPv6, Mobiwan, Network Simulator.

* Artículo de Investigación derivado del proyecto de investigación titulado: "Estudio del funcionamiento de una red implementada en protocolo IPv6" de la Universidad de Pamplona. Fecha de Inicio: 1 de Enero de 2012. Fecha de Finalización: 12 de Diciembre de 2012.

I. INTRODUCCIÓN

La gran demanda y la necesidad de los usuarios que utilizan la Internet radica en mantener una conectividad permanente y constante; esto ha generado que las tecnologías de comunicaciones como las de red celular y las redes inalámbricas (*WLAN*) se están expandiendo a niveles exponenciales. Uno de los avances que se ha logrado es el soporte de conectividad a redes de equipos móviles; esto representa un gran avance para los desarrollos en general de la computación móvil [1], [2], [3].

El reto ahora es solucionar los problemas que se generan en las redes de computadoras móviles comparándolas con las redes fijas a las cuales ya se está acostumbrado. Uno de los problemas, si no el más importante, relacionado con las redes móviles es el direccionamiento y el esquema de enrutamiento que permite al nodo moverse de un punto a otro [4], [5], [6], [7].

IP Móvil surge un eficaz y escalable mecanismo para nodos móviles dentro de Internet. Usando IP Móvil, los nodos pueden cambiar sus puntos de acceso a Internet sin tener que cambiar su dirección IP. Esto sugiere que tanto el transporte como las conexiones se mantengan mientras el usuario se encuentra en movimiento. La movilidad del nodo es realizada sin la necesidad de propagar las rutas específicas de los anfitriones a través de la red de encaminamiento [8], [9].

Con la implementación de IP Móvil aumentarían los servicios de Internet, porque se tendría una mayor demanda de servicios de telecomunicaciones y por la reducción en los costos de las tecnologías inalámbricas [10].

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mundo de las telecomunicaciones avanza cada vez más a un entorno en el que los usuarios son móviles, y en muchos casos las redes de acceso son inalámbricas. El protocolo IP constituye los cimientos de la red de datos más extendida actualmente (Internet). IP es, por ende, la base de toda red de comunicaciones actual y futura, sin embargo, no fue concebido para terminales ni equipos móviles, sino, por el contrario, estos equipos eran fijos, y además había una estrecha relación entre las direcciones asignadas a los terminales y su localización física y topológica, configurándose estáticamente para la red en la que estaban conectados. En los últimos años se han diseñado y desplegado soluciones que permiten la configuración dinámica de terminales (*DHCP*), con lo cual se consigue la portabilidad de terminales, pero en ningún caso la movilidad transparente [11].

Para dar soluciones a los inconvenientes de movilidad se han desarrollado los protocolos *IPv4* móvil e *IPv6* móvil, cuya función es permitir de manera transparente a un equipo el cambio de subred IP, manteniendo la dirección IP a través de la cual siguen siendo globalmente alcanzables, así como las conexiones de niveles superiores que tuvieran activas antes del movimiento [12], [13].

Actualmente, el protocolo IPv4 ha soportado el paso del tiempo y un crecimiento asombroso que no se tuvo en cuenta desde sus inicios. Sin embargo, *IPv4* tiene muchas debilidades (escasez de direcciones) que hacen que sea necesaria la transición hacia un nuevo protocolo, que solucione los problemas más graves y además facilite el despliegue de mecanismos para afrontar los retos de las redes actuales. El protocolo *IPv6* surgió como una evolución de *IPv4*, y fue diseñado teniendo en cuenta toda la experiencia acumulada con este protocolo, y dentro de esta evolución se encuentra la funcionalidad de IP móvil [14], [15].

III. MÉTODO

Haciendo una analogía con la mensajería terrestre, si un usuario cambia de lugar de residencia, uno de los mayores problemas que surgen sería cómo ser alcanzable por la familia, amigos, bancos y demás organizaciones que necesitan enviarse correspondencia. Este usuario deberá informar de su nuevo lugar de procedencia para así no perder su correspondencia. A grandes rasgos, esta es, en esencia, la forma en que *MIPv6* proporciona accesibilidad.

MIPv6 permite a los dispositivos ser alcanzables siempre y mantener las conexiones (por ejemplo, *FTP*, vídeo o audio), mientras que se desplazan dentro de la topología de Internet [16].

A. Movilidad IPv6

A cada terminal le es asignada una dirección IP, la cual cumple dos funciones primordiales: la identificación de dispositivos a través de toda la red y proporcionar un mecanismo de enrutamiento que permita descubrir rutas óptimas entre terminales a través de enrutadores intermedios. Esto sugiere la imperiosa necesidad de que cada equipo tenga su dirección IP invariante que permita que el nodo sea identificable por otros nodos dentro de una subred y también que exista una dirección que pueda variar para fines de enrutamiento, es decir, que sea el localizador particular a la ubicación del nodo [17].

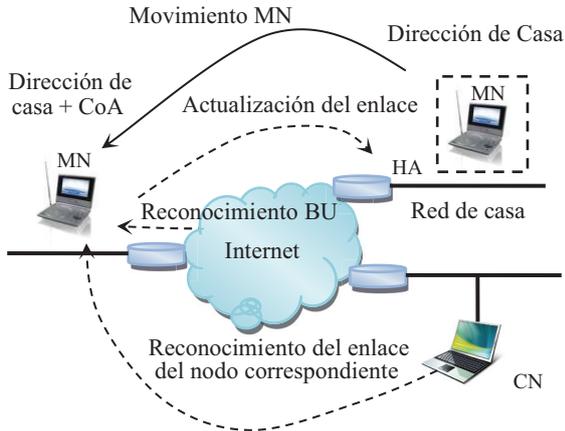


Figura 1. Movilidad en IPv6
Fuente: Autores del proyecto.

MIPv6 (*Mobile Internet Protocol versión 6*) tiene como objetivo principal realizar el intercambio de paquetes de información entre dos equipos, haciendo uso únicamente de sus direcciones, independientemente de su punto de acceso a Internet (ver figura 1). Por lo tanto, la unicidad en las direcciones es imprescindible, salvo en los casos en que se emplean transmisiones de multidifusión (*multicast*) o de difusión (*broadcast*). En la multidifusión, los paquetes se envían hacia más de un solo destino; esto es posible mediante el uso de direcciones IP de multidifusión; por otro lado, en el caso de difusión (*broadcast*) se intenta que todos los sistemas conectados a la red reciban los paquetes [18].

B. Soporte de movilidad

MIPv6 permite a un nodo móvil, con acceso a redes inalámbricas, realizar el traspaso del equipo móvil de una red hacia otra, sin perder la conectividad en la capa de enlace; por consiguiente, cualquier aplicación de red que se esté ejecutando no se perderá, sin importar el punto en que se encuentre unido a la red. Si el nuevo segmento de red pertenece a la misma subred IP del viejo segmento, entonces la capa de red y las superiores continúan sin interrupciones; pero si el nuevo segmento de red pertenece a una subred IP diferente, entonces el nodo móvil no puede comunicarse con nodos de la red cableada hasta que se haya realizado un traspaso (*handoff*) en la capa de red [19].

Si el nodo se encuentra lejos de la red con el prefijo IP que corresponde a la dirección del nodo móvil, es decir, de la red de casa, se le asocia una dirección asistente, CoA (*Care of Address*), la cual proporciona información acerca de la localización actual del nodo móvil. La dirección CoA también permite identificar a cada nodo móvil independientemente de cuál sea su punto de conexión a la Internet [20].

C. Funcionamiento básico de MIPv6

La dirección de casa (HA) es una dirección IP asignada al nodo móvil, cuyo prefijo corresponde a su red de casa. Mientras el nodo móvil se encuentre dentro de su red de casa, los paquetes direccionados hacia él serán enrutados a través de los mecanismos de enrutamiento de Internet convencionales [21].

La diferencia sucede cuando el nodo móvil se ubica en una red foránea, el enrutamiento se realiza a través de una dirección asistente, CoA (*Care of Address*). Una CoA es una dirección IP asociada con un nodo móvil dentro de una red foránea; la CoA tiene el prefijo de subred de un enlace foráneo particular. El nodo móvil puede adquirir su CoA a través de mecanismos IPv6 convencionales, tales como autoconfiguración sin estado o de estado completo, y su función principal consiste en ser un localizador para el nodo móvil cuando se ha alejado de su red de casa (HA).

La asociación entre la dirección de casa y la dirección asistente se conoce como *Binding* del nodo móvil. Mientras esté fuera de casa, un nodo móvil debe registrar su CoA con el enrutador en su enlace de casa, solicitando a este enrutador funcionar como HA para el nodo móvil. El nodo móvil ejecuta su registro del enlace a través de un mensaje de actualización del enlace, el cual se transmite hacia el HA. Durante el procedimiento de actualización del enlace, el HA responde al móvil enviando un mensaje de reconocimiento de la actualización del enlace (*Acknowledge Binding Update*). A cualquier nodo que se comunica con el móvil se le denomina "nodo correspondiente del móvil", y este puede ser fijo o móvil [22].

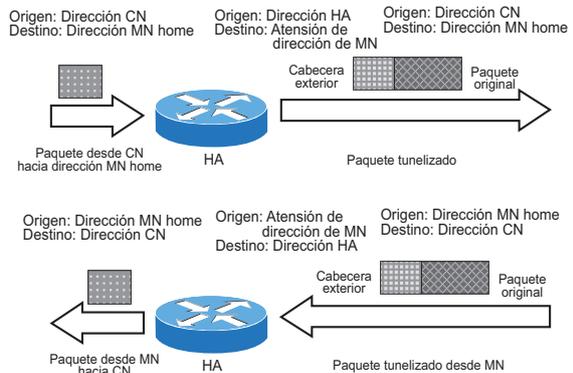


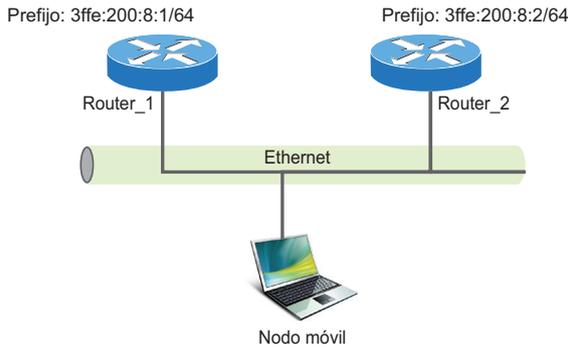
Figura 2. Operación de transmisión de datos de MIPv6
Fuente: The Network Simulator NS-2 [23].

Los nodos móviles pueden proporcionar información de su localización a los nodos correspondientes. Existen dos formas posibles de comunicación entre el nodo móvil y el correspondiente. La primera es hacer un túnel bidireccional; no requiere soporte de movilidad IPv6 por parte del nodo correspondiente, y está disponible aun si el móvil no tiene registrado su enlace actual con el nodo correspondiente. Los

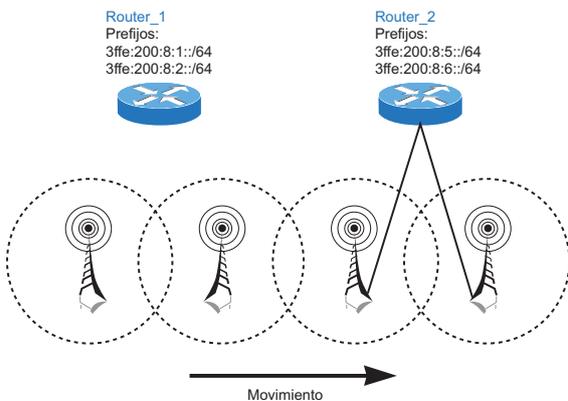
paquetes del nodo correspondiente son enrutados al HA, y desde este se hace un túnel hacia el nodo móvil (ver figura 2) [24].

De igual forma, los paquetes que se envían al nodo correspondiente se envían utilizando un túnel del nodo móvil al HA, lo que se conoce como “túnel inverso”, donde los paquetes son enrutados normalmente del HA al nodo correspondiente. En este modo, el agente usa descubrimiento del vecino para interceptar los paquetes IPv6 direccionados a la dirección de casa del nodo móvil en el enlace de casa. Los paquetes que son interceptados por el HA son encapsulados y enviados al nodo móvil, haciendo uso del túnel y la dirección CoA del nodo móvil [25].

La segunda forma, optimización de ruta, requiere que el nodo móvil registre su enlace con el nodo correspondiente. Los paquetes del nodo correspondiente pueden ser enrutados directamente hacia el nodo móvil en la red foránea utilizando la dirección CoA de este último. Cuando se envía un paquete a cualquier destino IPv6, el nodo correspondiente verifica en sus registros la dirección del destino del paquete. Si se encuentra un enlace para esta dirección, el nodo usa un encabezado de enrutamiento para enrutar el paquete al móvil por medio de la CoA indicada en el enlace [26], [27].



a) Routers diferentes anunciando diferentes prefijos sobre la misma red



b) Detección de movimiento

Figura 3. Detección de movimiento
Fuente: The Network Simulator (NS-2) [23].

Los paquetes que se envían desde el nodo correspondiente hacia el nodo móvil en una red foránea pueden recorrer una trayectoria de comunicación más corta si es que se hace uso de la dirección CoA del nodo móvil (ver figura 3). El enrutamiento de paquetes entre el nodo correspondiente y el nodo móvil, haciendo uso de la dirección CoA, también ayuda a reducir la congestión que pudiera existir en el enlace entre el HA del nodo móvil y la red foránea. Esto hace que se reduzca el impacto de una falla en la trayectoria del HA o la red (ver figura 4).

Nodo Móvil: Este se define como cualquier dispositivo que puede cambiar con cierta frecuencia su ubicación y punto de acceso a Internet y se mantiene alcanzable a través de su dirección de casa.

Agente de Casa: Es el enrutador en la red de casa del nodo móvil con el cual el nodo móvil tiene registrado su enlace de casa. Debe mantener una lista de nodos que presentan las funcionalidades de agentes de casa, en caso de existir más de uno. Las entradas de dicha lista se actualizan cuando reciben avisos de enrutador. La información que se registra es la dirección IP del nodo que envía el aviso de enrutador y que está funcionando como agente de casa. El tiempo de vida de la información almacenada, que corresponde a un contador descendente y que al llegar a cero debe ser borrada la entrada correspondiente. Finalmente, el nivel de preferencia del agente, es decir, puede contar con direcciones de otros agentes de casa y elige a cuál de ellos utiliza como agente principal, pero registra aquellos que representan una alternativa de empleo en caso de tener problemas en el servicio. Para llevar un registro de los enlaces se hace uso de la memoria de enlaces.

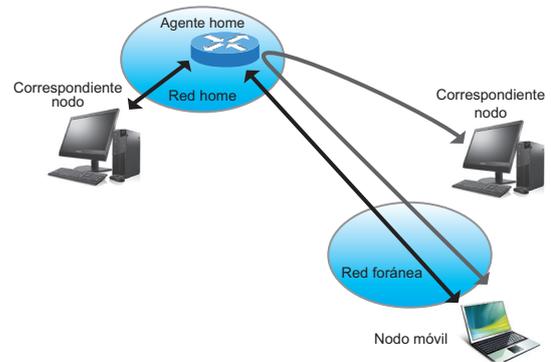


Figura 4. Optimización de ruta
Fuente: The Network Simulator (NS-2) [23].

Nodo Correspondiente: Es el nodo con el cual un nodo móvil mantiene comunicación; puede ser fijo o móvil. Antes de enviar paquetes, el nodo correspondiente debe verificar dentro de su memoria de enlaces con el propósito de buscar un registro para la dirección destino del paquete. Si la dirección destino tiene un registro en la memoria de enlaces, se emplea un encabezado de enrutamiento para direccionar el paquete a través de la dirección asistente (CoA).

D. Herramienta: *Network Simulator*

Durante años el hombre ha tomado el modelamiento de diversos eventos como punto de partida antes de tomar decisiones. Sin embargo, en la realidad hay que considerar miles de factores importantes que desafortunadamente un modelo matemático no considera, sin embargo, genera una solución muy aproximada. Es por esto que la idea de modelar y/o simular es bastante importante para la toma de decisiones (ver figura 5) [28].

Network Simulator (NS) es un simulador de eventos discretos creado por la Universidad de Berkeley para modelar redes de tipo IP. Para la simulación se toma en cuenta la estructura o topología de la red y el tráfico de paquetes que posee la misma, con el fin de crear una herramienta de diagnóstico que nos muestre el comportamiento que se obtiene al tener una red con ciertas características (ver figura 6). Trae implementaciones de protocolos tales como *TCP* y *UDP*, que es posible hacerlos comportar como un tráfico *FTP*, *Telnet*, *Web*, *CBR* y *VBR*. Maneja diversos mecanismos de colas que se generan en los *routers*, tales como *DropTail*, *RED*, *CQB*, algoritmo de *Dijkstra*, entre otros [29].

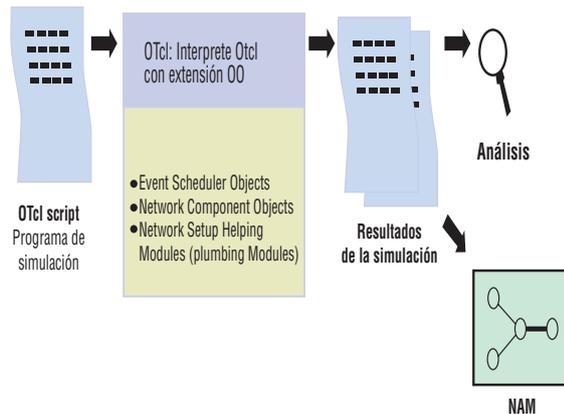


Figura 5. Vista del funcionamiento del NS en forma simplificada
Fuente: The Network Simulator (NS-2) [23].

Actualmente, el proyecto NS es parte de *VINT project*, que desarrolla herramientas para visualizar los resultados de una simulación (por ejemplo, una interfaz gráfica). La versión con que se está probando el NS-2.27, está escrita en los lenguajes de programación C++ y OTcl [30], [31].

Se comienza con un script en OTcl, que es lo que el usuario codifica para simular. Es el único *INPUT* que da el usuario al programa; el resto es el procesamiento interno de NS. La simulación queda en un archivo, que es bastante incómodo de leer o analizar para el usuario, no obstante, usando una aplicación especial se puede mostrar mediante una interfaz gráfica [32].

El script es un archivo escrito en Tcl orientado a objetos (OTcl) que tiene diversos componentes internos. En estos componentes se configura la topología de la red, se programa los eventos, se cargan las funciones necesarias para la simulación, se planifica cuándo iniciar o terminar el tráfico de un determinado paquete, entre otras cosas.

Para la instalación del NS se puede descargar desde la página principal <http://www.isi.edu/ns-nam/ns>; en este sitio se puede encontrar los comprimidos todo en uno (*alimone*) o cada paquete por separado. Para efectos de comodidad se ha descargado la versión 2.27 y se ha trabajado en el *LINUX* con kernel 2.4, como lo es el RedHat9 [33], [34], [35].

A pesar de que existe una versión más avanzada se ha escogido esta, debido a que posee un parche para poder trabajar en el protocolo de movilidad bajo la versión 6. Este parche (*MOBIWAN*) posee un código desarrollado por MOTOROLA Labs París en colaboración con *INRIA PLANETE Team*. Perteneció a MOTOROLA y es públicamente contribuido al Network Simulator. Código desarrollado por Thierry Ernst [36], [37], [38].

MobiWan es una herramienta de simulación basado en NS con la intención de simular Movilidad en IPv6. Como tal, comprende extensiones para simular *Mobile IPv6* y las ampliaciones de manipular y configurar grandes topologías de red (*TOPOMAN* / *TOPOGEN*) [39], [40], [41], [42], [43].

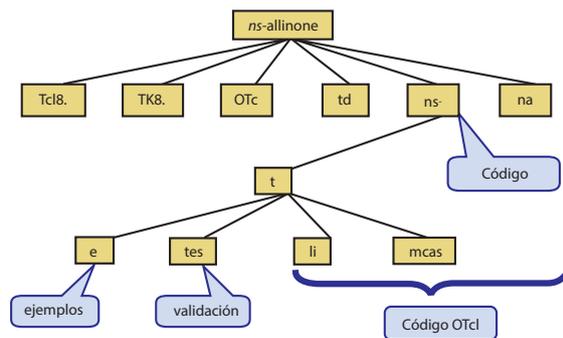


Figura 6. Paquetes de la distribución del simulador
Fuente: The Network Simulator (NS-2) [23].

V. RESULTADOS

De la simulación de MIPv6 se obtiene un archivo de trazas en el cual se evidencia la comunicación entre el nodo móvil y el nodo correspondiente, y a partir del segundo 20 empieza el movimiento del nodo móvil hacia una red foránea [44], [45].

Para la simulación se propuso un escenario con un área de 800 m por 800 m, con cuatro estaciones bases, un *router* y un nodo correspondiente, como lo muestra la figura 7 [46], [47], [48].

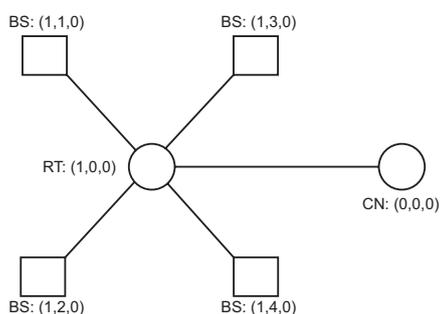


Figura 7. Escenario de la simulación
Fuente: Autores del proyecto.

Este escenario se verá reflejado en el módulo del *Network animator* del NS-2 en la figura 8 de la siguiente forma:

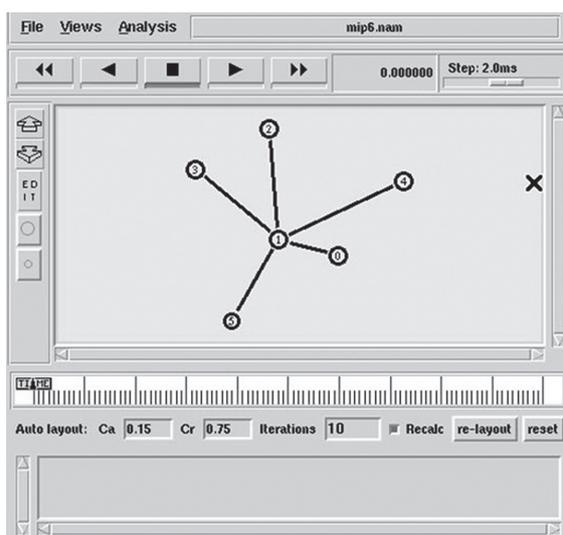


Figura 8. Escenario en *Network animator* (NAM)
Fuente: Autores del proyecto.

El código creado es un script de código Tcl, en el cual se definen las variables, el entorno y parámetros para realizar la simulación [49], [50].

A continuación se explican algunos fragmentos del código:

Creación de la topología de MIPv6

```
proc create-my-topo {}
{
    global ns opt topo mobile_ cn_ mnn_
    nodes_

    # Creando y definiendo la topología
    set topo [new Topography]

    $topo load_flatgrid 800 800 (se le asigna
a la variable topo el espacio de trabajo en este caso
800*800)
```

(god es un objeto necesario cuando se utiliza la red inalámbrica. Se establece un valor igual al número de nodos móviles)

```
create-god 5
```

(Conjunto de direcciones para NS)

```
AddrParams set domain_num_ 2 (existen
2 dominios)
```

```
AddrParams set cluster_num_ {1 5}
(los dominios son de 1 y 5 grupos, respectivamente)
```

```
AddrParams set nodes_num_ {1 1 3 1
1 1} (los grupos tienen 1 y 1,3,1,1,1 nodos móviles)
```

(Creando los nodos)

```
set cn_ [create-router 0.0.0]
set router_ [create-router 1.0.0]
set bs1_ [create-base-station 1.1.0
1.0.0 200 200 0]
set bs2_ [create-base-station 1.2.0
1.0.0 200 600 0]
set bs3_ [create-base-station 1.3.0
1.0.0 600 200 0]
set bs4_ [create-base-station 1.4.0
1.0.0 600 600 0]
set mobile_ [create-mobile 1.1.1 1.1.0
190 190 0 1 0.01]
```

(Creando los enlaces)

```
$ns duplex-link $cn_ $router_ 100Mb 1.80ms
DropTail (se hace un enlace dúplex entre el nodo co-
respondiente con el router con un ancho de banda
de 100 Mb y un retardo de 1.80 milisegundos)
```

```
$ns duplex-link $router_ $bs1_ 100Mb
1.80ms DropTail
$ns duplex-link $router_ $bs4_ 100Mb
1.80ms DropTail
```

```
display_ns_addr_domain
}
```

Finalizando la simulación

```
proc finish { } {
    global tracef ns namf opt mobile_
    cn_ f0

    puts "Simulación finalizada" (impresión
en pantalla)
```

(volcado de la lista *Binding Update* (BU) del nodo móvil de memoria del agente primario)

```
[$mobile_ set ha_] set regagent_]
dump
[$cn_ set regagent_] dump
```

```

[$mobile_ set regagent_ ] dump

$ns flush-trace
flush $tracef
close $tracef
close $namf
close $f0
puts "corriendo nam with $opt(namfile)
... "
exec nam out.nam & (ejecutando la simulación en el Nam)
exit 0}
    
```

VI. DISCUSIÓN

Al momento de ejecutarse la simulación se muestra en la consola el resultado de la figura 9. Este proceso de simulado evidencia la secuencia que se lleva para realizar la comunicación entre el nodo móvil

y el nodo correspondiente. Se refleja la dinámica desde que se produce el movimiento del nodo móvil hacia una red foránea y establece el enlace con el nodo correspondiente directamente.

Se ha creado un nodo móvil (1.1.1), que toma como estación base a (1.1.0) como agente primario (HA), el cual hace la optimización de ruta. Existen dos sesiones CBR: uno que va del nodo móvil (MN) al nodo correspondiente (CN) y otro que va desde el nodo correspondiente (CN) al nodo móvil (MN), los cuales inician desde el tiempo t=20 segundos. La simulación se prolonga hasta los 100 segundos.

En la figura 9 se ve la memoria de enlaces tanto para el nodo correspondiente (0.0.0) como para la estación base (1.1.0). También se encuentra la lista de actualización de enlace para el nodo móvil (MN) (1.1.1) y la lista de las estaciones bases para el nodo móvil.

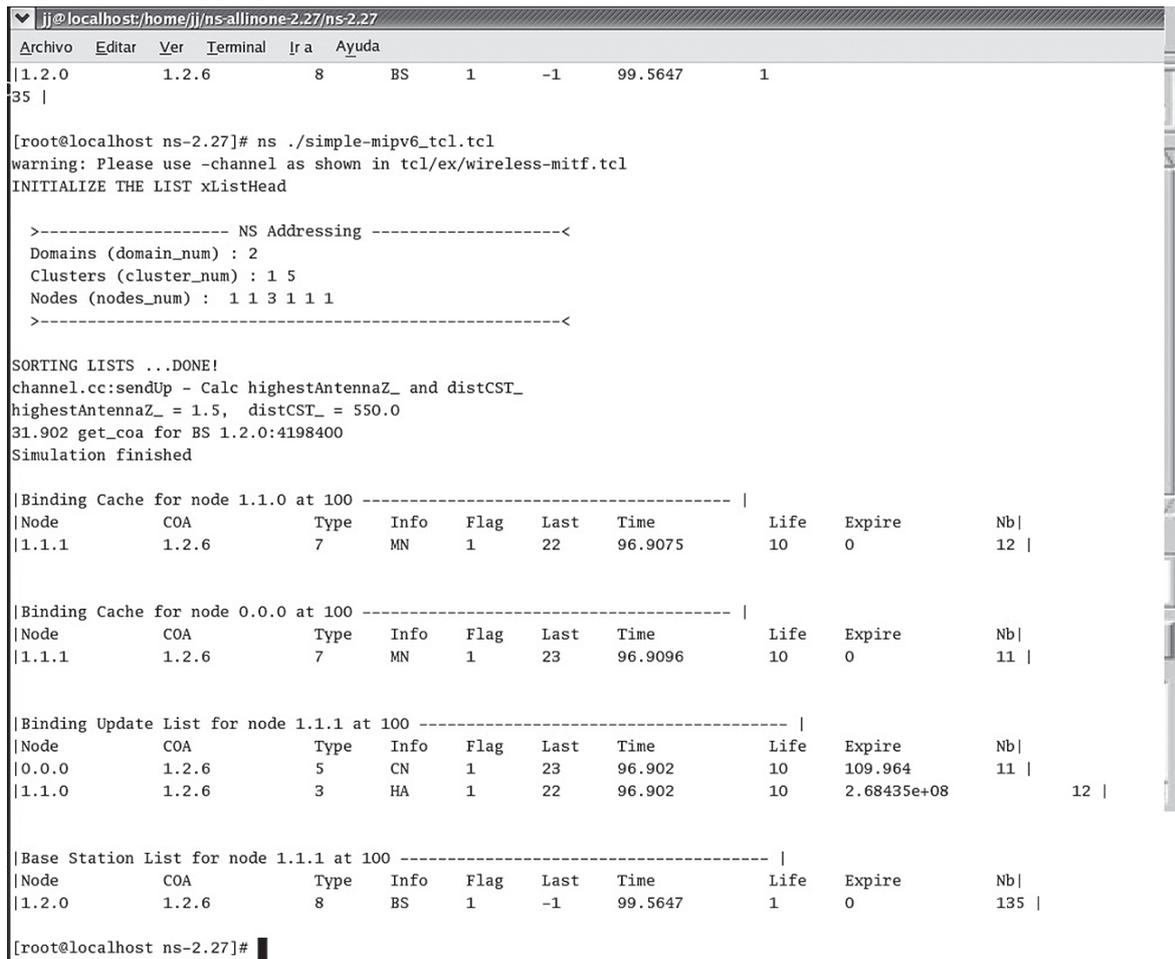


Figura 9. Resultados de la simulación

Fuente: Autores del proyecto.

```

r 99.957158720_3_RTR -- 3414 cbr 1024 [0 0 0] ----- [0:3 4198406:2 30 0] [3199] 0 0
f 99.957158720_3_RTR -- 3414 cbr 1024 [0 0 0] ----- [0:3 4198406:2 29 4198406] [3199] 0 0
r 99.965166398_6_RTR -- 3413 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4198406:2 29 4198406] [3198] 1 0
r 99.965166398_6_AGT -- 3413 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4198406:2 28 4198406] [3198] 1 0
s 99.965166398_6_AGT -- 3413 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4196353:3 28 4198406] [3198] 1 0
r 99.965166398_6_AGT -- 3413 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4196353:3 28 4198406] [3198] 1 0
r 99.974837169_6_RTR -- 3414 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4198406:2 29 4198406] [3199] 1 0
r 99.974837169_6_AGT -- 3414 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4198406:2 28 4198406] [3199] 1 0
s 99.974837169_6_AGT -- 3414 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4196353:3 28 4198406] [3199] 1 0
r 99.974837169_6_AGT -- 3414 cbr 1024 [13a 4 1 800] ----- [0:3 4196353:3 28 4198406] [3199] 1 0
+ 100 0 1 cbr 1024 ----- 0 0.0.0.3 1.2.6.2 3200 3415
- 100 0 1 cbr 1024 ----- 0 0.0.0.3 1.2.6.2 3200 3415
+ 100 0 1 cbr 1024 ----- 0 0.0.0.3 1.2.6.2 3201 3416
    
```

Figura 10. Segmentos del archivo de trazas del simulador de MIPv6

Fuente: Autores del proyecto.

Desde la interfaz gráfica del *Network animator* se ejecuta la simulación para poder obtener el archivo de trazas (out.tr) en el cual se plasman todos los eventos (ver figura 10) [51].

VII. CONCLUSIONES

- El nuevo modelo de Internet IPv6 está evolucionando rápidamente; esta evolución conlleva a la aparición de nuevos dispositivos portátiles que exigen de este modelo una interconectividad permanente, el cual genera un despliegue de redes cada vez más grande. Este modelo se basa en la movilidad para los usuarios de redes IPv6, y se irá implementando cada vez más debido a su diseño eficiente, que lo diferencia de su antecesor.
- La simulación es uno de los procedimientos más eficaces para lograr comprender cada uno de los eventos que ocurren en ella. De esta manera se puede determinar las posibles acciones que se deben tomar con base a los resultados arrojados por dicha simulación.
- Con la simulación de movilidad en el *software Network Simulator* se pudo constatar todo el proceso que realiza un nodo en el momento que sucede el movimiento, siendo este proceso transparente al usuario que se encuentra conectado.
- A pesar de que los tiempos de retardo son un poco mayores comparados con los retardos que se presentan en una red cableada, esto se ve compensado por el sostenimiento de la conectividad sin que el usuario tenga la obligación de estar en un mismo sitio, o mejor aun, en una misma red.
- A diferencia de su antecesor, que era un parche de instalación, MIPv6 fue concebido desde un principio como un protocolo, lo cual representa una gran ventaja en el momento de su implementación, ya que este protocolo se encuentra nativo en las principales plataformas diseñadas para redes con soporte de IPv6.

- Este documento puede ser utilizado como base para futuras investigaciones en los avances en cuanto a movilidad bajo el protocolo IPv6 se refiere; por lo tanto, seguir con el proceso de investigación es de vital importancia para estar a la par de estos avances.

REFERENCIAS

- [1] D. Rico, "Redes y tecnologías de banda ancha, tecnologías de acceso de banda ancha", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* (Universidad de Pamplona), vol. 1, n° 17, pp. 113-120, enero de 2011.
- [2] J. Lobo y D. Rico, "Implementación de la seguridad del protocolo de internet versión 6", *Gerencia Tecnología Informática [Informatics Technology Management]* (Universidad Industrial de Santander), vol. 11, n° 29, pp. 35-46, enero-abril de 2012.
- [3] D. Rico y L. Jaimes, "Seguridad de Protocolo de Internet: estado del arte", *Revista INGENIO* (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña), Vol. 2, n° 1, pp. 79-90, diciembre de 2009.
- [4] D. Rico y L. Jaimes, "IPv6 en la Universidad de Pamplona: estado del arte", *Scientia et Technica* (Universidad Tecnológica de Pereira), vol. XIII, n° 37, pp. 415-420, septiembre de 2007.
- [5] D. Rico y L. Jaimes, "IPSec de IPv6 En la Universidad de Pamplona", *Scientia et Technica* (Universidad Tecnológica de Pereira), vol. XIV, n° 39, pp. 320-325, septiembre de 2008.
- [6] A. F. Behrouz, *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*, 4ª ed. McGraw-Hill, 2007.
- [7] C. Berzosa y R. Vidal Ferrer, "Redes celulares 4G basadas en Mobile IPV6 con soporte de nodos durmientes", 21 de junio de 2004. [Online]. Available: Universitat Politècnica de Catalunya: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/9916/1/Article009.pdf>. [Acceso: 21 de junio de 2013].
- [8] N. Olifer y V. Olifer, *Redes de computadores*. McGraw-Hill, 2009.
- [9] C. J. Bernardo Cano, "Optimización de rutas para redes móviles en entornos IPv6 heterogéneos", 1º de septiembre de 2006. [Online]. Available: Universidad Carlos III de Madrid: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/786>. [Acceso: 1 de septiembre de 2013].

- [10] N. Dutta and I. S. Misra, "Simulation of multilayer Mobile IPv6 architecture in search of optimal performance", 26 de julio de 2012. [Online]. Available: Simulation of multilayer Mobile IPv6 architecture in search of optimal performance: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6395911&sortType%3Ddesc_p_Publication_Year%26rowsPerPage%3D100%26queryText%3DMIPv6. [Accessed: 1 de septiembre de 2012].
- [11] W. Stallings, *Network security essentials applications and standards*, 4th ed. Prentice Hall, 2011.
- [12] M. Katz, *Redes y seguridad*, 1^{er} ed. Alfaomega, 2013.
- [13] 6SOS, *IPv6 Servicio de información y soporte*, 5 de enero de 2004. [Online]. Available: 6SOS, http://www.6sos.org/documentos/6SOS_El_Protocolo_IPv6_v4_0.pdf. [Accesso: 1^o de enero de 2013].
- [14] J. Palet Martínez, G. Cicileo, R. Gagliano, C. O'Flaherty, C. Olvera Morales, M. Rocha y otros, *IPV6 para todos - Guía de uso y aplicación para diversos entornos*. Buenos Aires (Argentina): Asociación Civil Argentinos en Internet, 2009.
- [15] Internet Engineering Task Force, *RFC 2460*, diciembre de 1998. [Online]. Available: *RFC 2460*, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>. [Accesso: 1^o de enero de 2013].
- [16] A. León Fernández, *Especificación y evaluación de un protocolo de micromovilidad IP basado en transmisión multicast*, abril de 2004. [Online]. Available: Universidad Politécnica de Valencia: http://personales.upv.es/aleon/pubs/aleon_tesis.pdf. [Accesso: 1^o de abril de 2013].
- [17] K. Ki-Sik, L. Wonjun, H. Youn-Hee, S. Myung-Ki, and Y. HeungRyeol, *Mobility management for all-IP mobile networks : mobile IPv6 vs. proxy mobile IPv6*, abril de 2008. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=4492976&sortType%3Ddesc_p_Citation_Count%26rowsPerPage%3D100%26queryText%3DMIPv6. [Accesso: 1^o de mayo de 2013].
- [18] P. Loshin, *IPv6: Theory, Protocol, and Practice*, 2nd ed. Morgan Kaufmann Series in Networking, 2004.
- [19] L. Jong-Hyouk, J.-M. Bonnin, Y. Ilsun, and C. Tai-Myoung, "Comparative Handover Performance Analysis of IPv6 Mobility Management Protocols", *IEEE*, 1077-1088, marzo de 2013.
- [20] H. Soliman, *Mobile IPv6: Mobility In A Wireless Internet*. Addison Wesley, 2004.
- [21] A. Moravejoshari, H. Modares, and R. Salleh, *Overview of Mobile IPv6 Security*, 8 de febrero de 2012. [Online]. Available: IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractKeywords.jsp?arnumber=6169767>. [Accesso: 1^o de agosto de 2013].
- [22] J.-M. Combes, *MIPv6 and its security challenges MAIN 2001*, 26 de abril de 2001. [Online]. Available: <http://news.eurescom.de/~pub/seminars/past/2001/MAIN2001/04Combes/index.htm>. [Accesso: 26 de junio de 2013].
- [23] The Network Simulator (NS-2), *The Network Simulator ns-2* (s.f.). [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. [Accessed: 1^o de julio de 2013].
- [24] X. Pérez-Costa, M. Torrent-Moreno, and H. Hartenstein, *A performance comparison of Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, fast handovers for Mobile IPv6 and their combination*, 4 de octubre de 2003. [Online]. Available: The ACM Digital Library, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=965732.965736>. [Accesso: 10 de junio de 2013].
- [25] C. Taffernaberry, G. Mercado, S. Tobar, C. Pérez Monte, P. Clérigo, and I. Robles, *PROYECTO PMIPv6: Análisis, Evaluación y Comparación de ambientes Proxy Mobile IP en versión 6, aplicado a Redes de Avanzada*, mayo de 2011. [Online]. Available: Universidad Nacional de La Plata: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19966>. [Accessed: mayo de 2013].
- [26] Ericsson, *SECURING ROUTE OPTIMIZATION, 2009*. [Online]. Available: Ericsson, http://www.ericsson.com/technology/research_papers/ip_networks/doc/mobileipversion.pdf. [Accesso: 15 de mayo de 2013].
- [27] R. Lazo y R. Glöckler, *Impactos de la Movilidad en el Acceso Inalambrico a Redes IPv6*, 30 de octubre de 2006. [Online]. Available: *Sistemas y Telemática (S&T)*. https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_teleomatica/article/view/96. [Accesso: 30 de agosto de 2013].
- [28] J. Chung and M. Claypool, *WPI Worcester Polytechnic Institute* (s.f.). [Online]. Available: NS by Example, <http://nile.wpi.edu/NS/>. [Accesso: 1^o de mayo de 2013].
- [29] J. M. Herrera, *NS2 - Network Simulator*, 12 de mayo de 2004. [Online]. Available: Universidad Técnica Federico Santa María, <http://www.inf.utfsm.cl/~jherrera/docs/mios/ns.pdf>. [Accesso: 1^o de mayo de 2013].
- [30] A. Al Hanbali, *Introduction NS2 Simulator*, 18 de enero de 2007. [Online]. Available: University of Twente, <http://www.whome.math.utwente.nl/~hanbali/Teaching/ns2/Introduction-NS2-Simulator.pdf>. [Accessed: 18 de mayo de 2013].
- [31] C. Olvera y M. A. Díaz, *Servicios de Comunicaciones Móviles basados en IPv6 (MIPv6), Beneficios y Retos*, 25 de mayo de 2007. [Online]. Available: 5^o Foro Latinoamericano de IPv6 - FLIP-6: http://lacnic.net/documentos/lacnicx/LACNIC_X_2007_Slides_Cesar_Olvera_MIPv6_v1_3.pdf. [Accesso: 25 de mayo de 2013].
- [32] J. L. Muñoz, *Análisis de Protocolos con Net Simulator 2*, 1^o de octubre de 2002. [Online]. Available: Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://downloads.tuxpuc.pucp.edu.pe/linuxweek2007/martes/LW2007-NS2.pdf>. [Accesso: 1^o de junio de 2013].
- [33] R. Etersen, *Linux VI Edición*. McGraw-Hill, 2009.
- [34] L. E. de la Fraga, *Redes Seguras usando el Sistema GNU/Linux* (s.l.), 9 de abril de 2003. [Online]. Available: XII Congreso Interuniversitario de Computación y Electrónica. http://delta.cs.cinvestav.mx/~fraga/Cursos/Seguridad/redes_seguras.pdf. [Accesso: 9 de abril de 2013].
- [35] D. Cortés Polo y C. Vecino de Casas, *Análisis y Optimización del Handover en redes MobileIP*, octubre de 2008. [Online]. Available: Universidad de Extremadura. <http://gitaca.unex.es/uploads/ES/Analisis%20y%20Optimizacion%20del%20Handover%20en%20redes%20MobileIP.pdf>. [Accesso: julio de 2013].
- [36] M. A. Díaz Fernández, C. Olvera Morales y P. García Segura, *Despegando con Movilidad IPv6 (MIPv6)*, 23 de julio de 2009. [Online]. Available: http://www.istenable.eu/open/enable_pu_paper_consulintel_despegando_con_MIPv6_AUI_v1_5.pdf. [Accesso: 27 de abril de 2013].
- [37] J. Arkko, C. Vogt, and W. Haddad, W, *Enhanced Route Optimization for Mobile IPv6*, mayo de 2007. [Online]. Available: RFC 4866, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4866.txt>. [Accesso: julio de 2013].
- [38] J. Korhonen and V. Devarapalli, *Local Mobility Anchor (LMA) Discovery for Proxy Mobile IPv6*, febrero de 2011. [Online]. Available: RFC 6097, <http://tools.ietf.org/html/rfc6097>. [Accesso: febrero de 2013].
- [39] M. Hernández, I. Armuelles, O. Parada, and D. Fernández, *Diseño e Implementación de un Router Dual IPv4/IPv6 Extensible al Soporte de Movilidad IPv6*, abril de 2010. [Online]. Available: Union Radio-Scientifique International, http://ursi.usc.es/articulos_modernos/articulos_coruna_2003/actas_pdf/SESSION%206/S6.%20Aula%202.4/1587-ROUTER.PDF. [Accesso: abril de 2013].
- [40] H. Soliman, *Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management*, octubre de 2008. [Online]. Available: *RFC 5380*, <http://tools.ietf.org/html/rfc5380>. [Accesso: octubre de 2013].
- [41] W. Xiaonan and Q. Huanyan, *Mobility management solution for IPv6-based vehicular networks*, noviembre de 2013. [Online]. Available: The ACM Digital Library, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2528566.2528885&coll=DL&d=GUIDE&CFID=258105266&CFTOKEN=19894018>. [Accesso: noviembre de 2013].

