

## Propuesta de tunelización multicast para el protocolo HMIPv6-BI<sup>1</sup>

### Multicast tunneling proposal for the HMIPv6-BI protocol

**Line Yasmin Becerra Sánchez**

Magíster en Ingeniería Área de Telecomunicaciones

Especialista en Telecomunicaciones

Ingeniera Electrónica

Docente Investigadora Universidad Católica Popular del Risaralda

Grupo de Investigación TICS

[line.becerra@ucpr.edu.co](mailto:line.becerra@ucpr.edu.co)

**Jhon Jairo Padilla Aguilar**

PhD en Telemática

Magíster en Informática

Ingeniero Electrónico

Docente Investigador Universidad Pontificia Bolivariana Sede Bucaramanga

Grupo de Investigación GITEL

[jhon.padilla@upbbga.edu.co](mailto:jhon.padilla@upbbga.edu.co)

Recibido Marzo 01 de 2010 – Aceptado Mayo 21 de 2010

### SÍNTESIS

Una de los problemas a solucionar en redes móviles es mejorar el proceso de handover para reducir su latencia y por lo tanto la pérdida de paquetes. En las especificaciones de HMIPv6 se mencionan las ventajas que se obtendrían con respecto a la pérdidas de paquetes durante el handover si se usara la técnica Bi-Cast, pero no establece la forma de hacerlo. Este artículo presenta una metodología para la utilización de túneles multicast a través de la especificación IETF RFC4286 denominada Multicast Router Discovery, en combinación con el protocolo Fast Handover y HMIPv6-BI (Hierarchical Mobile IPv6 with Bandwidth Improvement)<sup>1</sup>. Los resultados de la evaluación realizada muestran que esta propuesta reduce el tiempo de traspaso y por tanto podría ser usada para mejorar el proceso de handover en redes móviles IP.

**Descriptores:** IPv6 móvil Jerárquico, traspaso, Descubrimiento de Routers multicast.

---

<sup>1</sup>Producto derivado del proyecto de grado "Evaluación de una Propuesta de Modificación al protocolo Hierarchical Mobile IPv6(HMIPv6) en la tunelización (tunneling) de información". Maestría en Ingeniería – área Telecomunicaciones. Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín). Director PhD. Jhon Jairo Padilla Aguilar.

## **ABSTRACT**

One of the problems to solve in the mobile networks is to improve the handover process, in order to reduce its latency and therefore packet loss. The HMIPv6 specifications exhibit possible advantages to reduce packet loss during the handover with the use of the Bi-Cast technique, but they do not establish the way to do it. This article presents a methodology for using multicast tunnels through the IETF RFC4286 specification called Multicast Router Discovery in combination with Fast Handover protocol and HMIPv6-BI solution. Evaluation Results show that this approach reduces the handover latency, so then it could be used to improve the handover process in Mobile IP networks.

**Descriptors:** Hierarchical Mobile IPv6, Handover, multicast routers discovery

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el protocolo IP móvil jerárquico “HMIPv6” (Castellucia y Soliman, 2005) aún no está especificado el uso de túneles multicast para mejorar el proceso de handover, pero se han realizado algunos estudios tratando de proponer métodos adecuados para solucionar dichos problemas, entre estos estudios está S-MIP (Seneviratne y Hsieh, 2003), el cual propone un método para minimizar el tiempo de interrupción durante el handover de capa tres. Este documento también sugiere el uso de un nodo llamado “Decision Engine”, cuyo propósito es monitorear los movimientos del nodo móvil y tomar las decisiones de handover. Por otro lado, Svetoslav (2006) propone una extensión de S-MIP para F-HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6 con Fast Handover).

Otra solución descrita por Vivaldi y Prakash (2003) propone un esquema para handover de macromovilidad para HMIP y está basada en bi-cast. Y Wahlisch y Schmid (2003), extienden la

arquitectura de HMIPv6 para soportar receptores y fuentes móviles multicast y propone una solución denominada M-HMIPv6.

En la especificación de HMIPv6 RFC4041 (Castellucia y Soliman, 2005), se enuncia el problema existente con el tiempo del handover y la pérdida de paquetes, dando como solución para proporcionar conectividad de capa tres sin interrupción, el envío de paquetes al PAR y NAR desde el MAP por cierto periodo de tiempo mientras ocurre el handoverf (bi-cast). Aunque se menciona el tema, no se dice la forma de hacerlo ni se ha estandarizado aún. Por tanto este artículo presenta una propuesta que usa el envío de túneles multicast mediante el mecanismo de descubrimiento de routers multicast (Martín y Haberman, 2005), en combinación con el protocolo Fast Handover (Koodli, 2005) y la propuesta HMIPv6-BI (Becerra L., 2008).

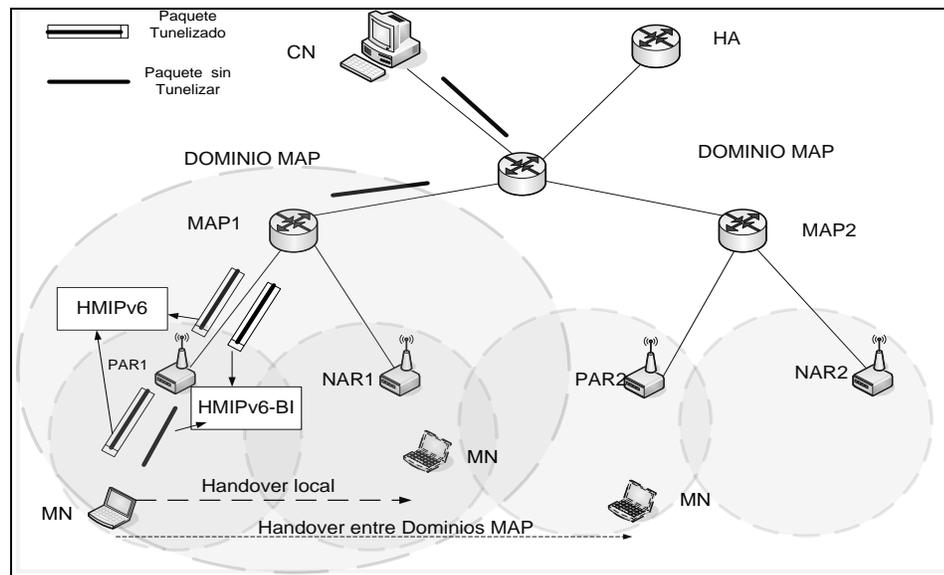
Este artículo hace parte de los resultados obtenidos en el trabajo de grado de maestría de Becerra (2009) y está organizado así: en la sección dos se describe el proceso de tunelización IPv6; en la tres se introduce la solución HMIPv6-BI; en la cuatro se enuncia la especificación para el descubrimiento de routers multicast; en la cinco el protocolo Fast Handover; en la seis se evalúa el tiempo de handover para HMIPv6 y HIMPv6-BI; en la siete se expone el modelo de la solución HMIPv6-BI con túneles multicast; en la ocho las conclusiones; y en la nueve se enumeran las referencias bibliográficas.

## **2. IPv6 MÓVIL JERÁRQUICO CON MEJORAMIENTO DE ANCHO DE BANDA (HMIPv6-BI)**

HMIPv6-BI “Hierarchical Mobile IPv6 with bandwidth improvement” es una propuesta realizada por Becerra (2009) para reducir el ancho de banda requerido en el canal radio en redes que trabajen con el protocolo HMIPv6 “Hierarchical Mobile IPv6”. La especificación de la IETF RFC4140 (Castellucia y Soliman, 2005) describe el funcionamiento de HMIPv6, el cual es una

extensión de MIPv6 “Mobile IPv6” (Perkins y Jhonson, 2004). En HMIPv6, el túnel establecido entre el MAP “Mobility Anchor Point” y el MN “Mobile Node” provoca que un número adicional de bytes viajen por el canal radio, necesitándose más ancho de banda que si los paquetes viajaran en su forma original. Con HMIPv6-BI, lo que proponen respectivamente Becerra (2009) y Becerra y Padilla (2008), es que el túnel llegue sólo hasta el Router de Acceso “AR”, al cual se encuentra conectado el MN, en lugar de llegar hasta el MN como lo hace el protocolo HMIPv6.

En la figura 1 se muestra el túnel realizado entre el MAP y el MN para el caso del protocolo HMIPv6, y el túnel entre el MAP y el Router de Acceso AR1 (túnel recortado) para el caso del protocolo modificado HMIPv6-BI.



**Figura 1.** Arquitectura de red con HMIPv6 y HMIPv6-BI.

### 3. TUNELIZACIÓN IPV6

Tunelizar paquetes es un mecanismo por medio del cual un paquete es encapsulado y llevado como carga útil dentro de un paquete IPv6. La especificación para este mecanismo lo describen Conta y Deering (1998). El paquete resultante es llamado “paquete tunelizado IPv6”. El camino

entre la fuente y el destino del “paquete tunelizado” es llamado “túnel IPv6”. La técnica es llamada “tunelización IPv6” (IPv6 tunneling).

La tunelización IPv6 es una técnica que establece un “enlace virtual” entre dos nodos IPv6 para transmitir paquetes de datos como carga útil de paquetes IPv6. Desde el punto de vista de dos nodos este “enlace virtual” llamado “túnel IPv6”, aparece como un enlace punto a punto sobre el cual IPv6 actúa como un protocolo de capa de enlace. Los dos nodos IPv6 juegan roles específicos. Un nodo encapsula los paquetes originales recibidos desde otros nodos o desde él mismo y envía los “paquetes tunelizados” resultantes a través del túnel. El otro nodo desencapsula el “paquete tunelizado” recibido y envía los paquetes originales resultantes hacia su destino, posiblemente a él mismo. El nodo encapsulador es llamado nodo punto de entrada al túnel y es la fuente de los paquetes tunelizados. El nodo desencapsulador es llamado nodo punto de salida al túnel y es el destino de los paquetes tunelizados.

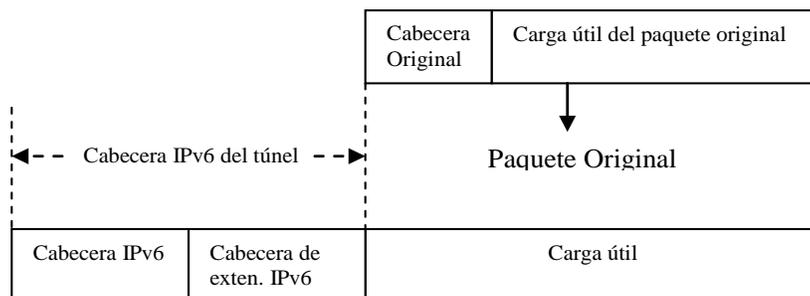
Un túnel IPv6 es un mecanismo unidireccional. El flujo de paquetes de túnel toma lugar en una dirección entre el nodo punto de entrada del túnel y el nodo punto de salida del túnel.

Un túnel bi-direccional se puede obtener fusionando dos mecanismos unidireccionales, es decir, configurando dos túneles, cada uno en dirección opuesta al otro, el nodo punto de entrada de un túnel es el nodo punto de salida del otro túnel.

### **3.1 Encapsulación IPv6.**

La encapsulación IPv6 consiste en agregar al paquete original una cabecera IPv6 y opcionalmente una cabecera de extensión (ver Figura 2), las cuales son llamadas “cabeceras IPv6 del túnel”. La encapsulación toma lugar en un nodo punto de entrada al túnel IPv6 como el

resultado de un paquete original que ha sido enviado hacia el enlace virtual representado por el túnel.

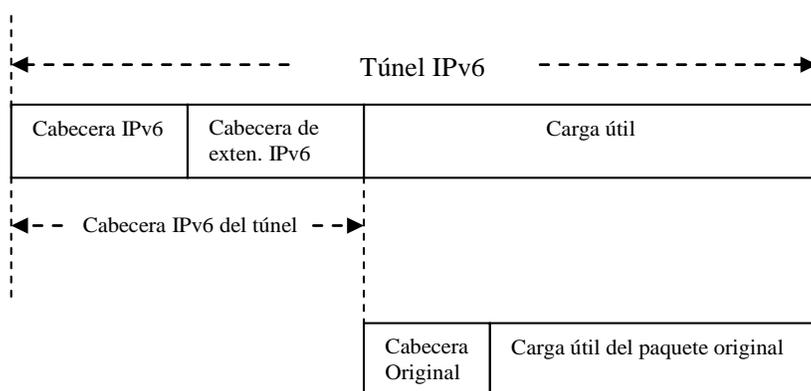


**Figura 2.** Encapsulación IPv6 de un paquete.  
Fuente: RFC2473 Generic Packet Tunneling in IPv6.

En la encapsulación, el campo fuente de la cabecera IPv6 del túnel contiene la dirección IPv6 del nodo punto de entrada del túnel y el campo destino tiene la dirección IPv6 del nodo punto de salida del túnel. Luego, el paquete tunelizado resultante de la encapsulación es enviado hacia el nodo punto de salida del túnel.

### 3.2 Desencapsulación IPv6

Una vez recibido un paquete IPv6 destinado a una dirección IPv6 de un nodo punto de salida del túnel, su capa de protocolo IPv6 procesa la cabecera del túnel. Se aplican en forma estricta las reglas de procesamiento de izquierda a derecha para las cabeceras de extensión. El nodo punto de salida del túnel que cual desencapsula los paquetes tunelizados, y el nodo destino que recibe los paquetes originales resultantes, puede ser el mismo nodo (ver figura 3).



**Figura 3.** Desencapsulación IPv6 de un paquete .  
Fuente: RFC2473 Generic Packet Tunneling in IPv6.

#### 4. DESCUBRIMIENTO DE ROUTER MULTICAST (MRD)

El MRD, Multicast Router Discovery (Martín y Haberman, 2005) consiste en el uso de tres mensajes para el descubrimiento de routers multicast. Estos son:

- **Multicast Router Advertisement:** es enviado por routers para advertir que el envío de IP multicast está habilitado.
- **Multicast Router Solicitation:** para solicitar mensajes de anuncio (Advertisement messages) desde routers multicast.
- **Multicast Router Termination:** son enviados cuando un router finaliza las funciones de enrutamiento multicast sobre una interfase.

Los routers multicast envían mensajes de anuncio no solicitados “unsolicited Advertisement” periódicamente de las interfaces sobre las cuales el envío multicast está habilitado. Los mensajes de anuncio son también enviados en respuesta a solicitudes. Además de anunciar la ubicación de routers multicast, los anuncios también llevan información útil acerca de variables del protocolo de gestión de grupo. Un dispositivo envía mensajes de solicitud cuando desea descubrir routers multicast sobre un enlace directamente conectado. Un router envía mensajes de terminación cuando finaliza las funciones de enrutamiento multicast sobre una interfase.

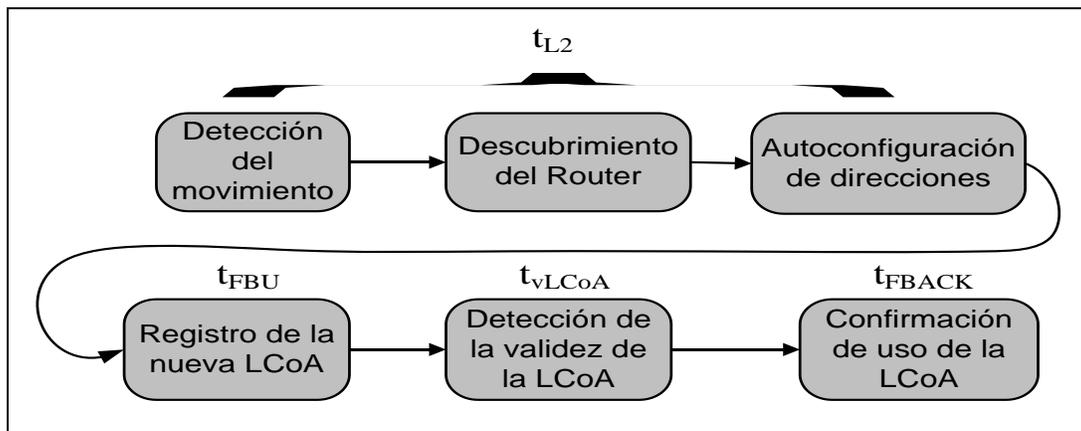
#### 5. FAST HANDOVER

El protocolo fast handover (Koodli, 2005) es una solución que ayuda a reducir la latencia del handover en IP móvil y por lo tanto el tiempo de interrupción del servicio en capa 3. Este periodo de interrupción del servicio se presenta usualmente debido al tiempo requerido por el nodo móvil en actualizar su HA usando binding updates después de que se mueve entre ARs. Durante este periodo de tiempo el nodo móvil no puede reanudar o continuar la comunicación. Fast Handover permite la anticipación del handover en capa 3, tal que el tráfico de datos puede ser re-direccionado a la nueva ubicación del nodo móvil antes de que se mueva.

## **6. ANÁLISIS DEL TIEMPO DE HANDOVER PARA LA PROPUESTA HMIPv6-BI**

Para el cálculo del tiempo de handoff se tuvieron en cuenta dos situaciones: handover local y handover entre dominios. En la figura 1 se pueden apreciar estos dos tipos de handover. El análisis del handover local supone el uso del protocolo fast handover (Koodli, 2005), debido a que este es un estándar que hace parte del protocolo IPv6 móvil (Perkins y Jhonson, 2004) y por tanto también se extiende para IPv6 móvil jerárquico (Castellucia y Soliman, 2005) en los casos de micromovilidad. Para el handover entre dominios no se tiene en cuenta el protocolo fast handover, puesto que aún no está estandarizado su uso para los casos de macromovilidad en HMIPv6.

En HMIPv6, el proceso de handover local en combinación con el protocolo Fast Handover (Koodli, 2005) está determinado por los estados que se observan en la figura 4.

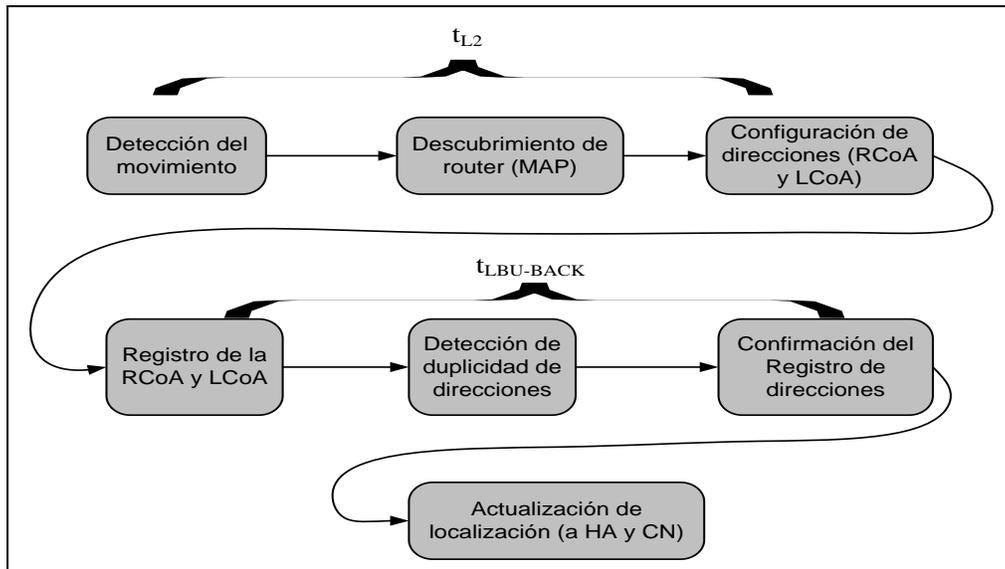


**Figura 4.** Estados del proceso del handover local en HMIPv6.

Como se nota en la figura 4, el primer estado del handover local, es la detección del movimiento, el cual es responsabilidad del nodo móvil (MN). El MN se da cuenta que el router de acceso al que está conectado se encuentra lejos y percibe la presencia de otro router de acceso más cercano. Esta detección del movimiento está ligada al descubrimiento del router, pues el nodo móvil mediante la recepción de mensajes de anuncio de routers (router advertisements) identifica que está en la cobertura de otro router de acceso diferente al actual. El nodo móvil también puede enviar mensajes de solicitud de routers (router solicitation) para el proceso de descubrimiento de routers.

Luego, el MN puede autoconfigurar la dirección IPv6 que va a utilizar en la nueva subred (NLCOA) de una manera stateless (usa procedimientos de descubrimiento de vecinos y anuncios de routers) descrita en la especificación RFC2462 (Narten y Thomson, 1999). Después de configurar la dirección, el MN debe registrar la NLCOA con el MAP, entonces el MAP debe comprobar la validez de la dirección mediante un diálogo con el nuevo router de acceso. Si la dirección es válida, el MAP le confirmará al nodo móvil que puede usarla como LCoA. De esta manera se da por finalizado el handover local y el MAP puede direccionar los paquetes hacia el nodo móvil a través de la nueva LCoA.

Por otro lado, el proceso del handoff entre dominios está definido por los estados mostrados en la figura 5.



**Figura 5.** Estados del proceso de handover entre dominios para HMIPv6.

Cuando el MN va a realizar un handover entre dominios MAPs, debe configurar dos direcciones, la RCoA (obtenida mediante anuncios de router MAP) y la LCoA (obtenida mediante anuncios del router de acceso) usando el protocolo stateless descrito por Narten y Thomson (1999). Luego el MN debe registrar estas direcciones con el MAP. El MAP se encarga de verificar si las direcciones son válidas usando DAD (Duplicate Address Detection), cuyo proceso está definido en la especificación RFC2462(Narten y Thomson, 1999). Entonces el MAP debe confirmar la validez de estas direcciones al nodo móvil. Para el análisis del handover realizado en las siguientes secciones, no se tuvieron en cuenta los retardos producidos por la auto-configuración de direcciones y el proceso DAD, suponiendo que son procesos que se realizan en paralelo, con el fin de no introducir un retardo adicional en el proceso de handover. Estos retardos dependerían de la velocidad de los routers y de los algoritmos usados para dichos procesos. Así, luego de determinar si las direcciones configuradas son válidas, el MN debe actualizar al

HA y al CN acerca del nuevo dominio MAP en el que se encuentra ubicado. Luego, cualquier paquete enviado desde el CN hacia el MN es re-direccionado hacia el nuevo MAP.

### 6.1 Modelo para HMIPv6

**Handover Local.** A continuación en la Figura 6 se explica el intercambio de mensajes necesarios cuando se realiza un handover local para el protocolo HMIPv6 estándar en combinación con el protocolo fast handover. El funcionamiento es el siguiente:

- Inicialmente cuando el MN se encuentra en la cobertura del PAR (Previous Access Router), el MAP envía los paquetes hacia el nodo móvil mediante un túnel.
- Cuando el nodo móvil detecta un movimiento dentro del mismo dominio MAP inicia el proceso de señalización del protocolo Fast Handover para HMIPv6.

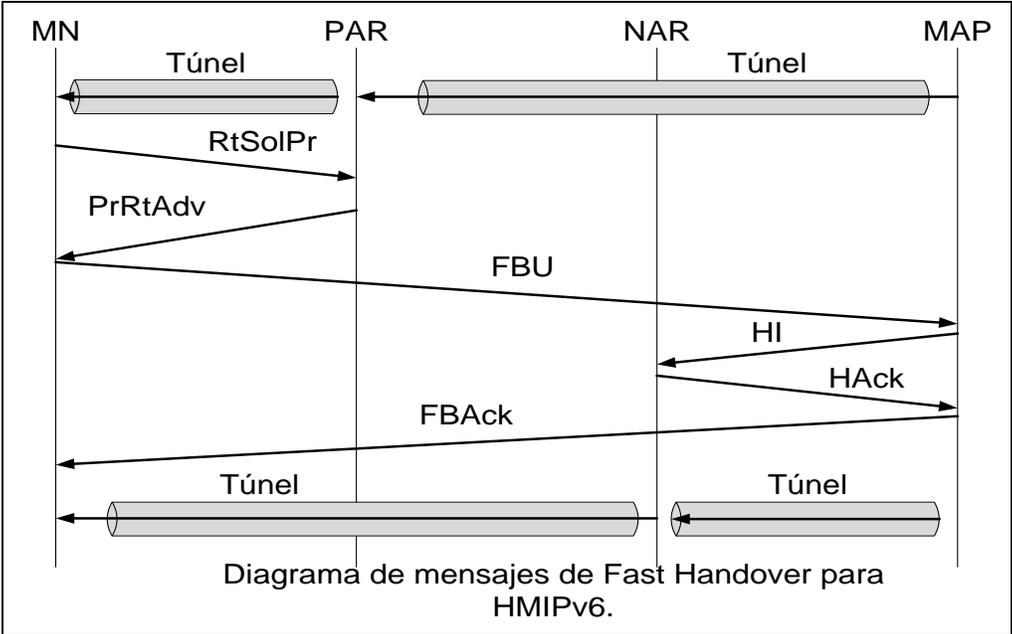


Figura 6. Diagrama de mensajes para el handover local usando Fast Handover para HMIPv6.

- Entonces, el nodo móvil envía un mensaje al PAR (Previa Access Router) llamado RtSolPr (Router Solicitation for Proxy Advertisement) para solicitar información sobre un handover potencial.
- El PAR le contesta por medio de un PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) informándole al nodo móvil acerca de los enlaces vecinos.
- Luego el nodo móvil envía un FBU (Fast Binding Update) hacia el MAP para darle instrucción de redireccionar el tráfico hacia el NAR (New Access Router).
- El MAP debe confirmar con el NAR si la CoA solicitada por el MN es válida, esto lo hace mediante un HI (Handover Initiate). Si la dirección es válida el MAP le envía al MN una confirmación por medio de un FBACk (Fast Binding Acknowledgement) indicando que recibió el FBU y que va a empezar a retransmitir los paquetes hacia el NAR.
- Finalmente cualquier paquete enviado por el nodo correspondiente hacia nodo móvil es interceptado por el MAP y tunelizado hacia nodo móvil mediante el NAR.

La combinación de Fast Handover y HMIPv6 permite la anticipación del handover en capa3, de tal manera que el MAP podría redireccionar el tráfico a la nueva dirección antes de que este se mueva. Teniendo en cuenta que no es fácil determinar el tiempo exacto en el que el MN realiza la desconexión y conexión de capa 2, ni el tiempo en el que el MAP debe comenzar a enviar los paquetes hacia la nueva dirección del nodo móvil después de la conexión del MN con la nueva subred, existe un tiempo en el que el MN no puede recibir paquetes. Tal pérdida de paquetes depende de que tan rápido se empiece el envío de paquetes a la nueva dirección con respecto al tiempo en el cual el nodo móvil se desconecta del PAR y se conecta al NAR.

De acuerdo a lo anterior y suponiendo que el nodo móvil empieza el handover de capa 2 apenas envía el FBU, el tiempo de handover dependerá de: el tiempo de handover de capa 2 y el tiempo que tarda el MAP en registrar la LCoA y enviar el FBACk indicando que empieza a retransmitir

los paquetes por medio del NAR. Por tanto, el tiempo de handover local se puede expresar como:

$$t_{lho} = t_{L2} + t_{FBU} + t_{vLCoA} + t_{FBACK} \quad (1)$$

Donde:

$t_{lho}$  = Tiempo de handover local.

$t_{L2}$  = Tiempo de handover de capa 2.

$t_{FBU}$  = Tiempo de actualización de la nueva LCoA.

$t_{vLCoA}$  = Tiempo de verificación de validez de la LCoA

$t_{FBACK}$  = Tiempo de confirmación de la validez de la LCoA

Los tiempos  $t_{FBU}$ ,  $t_{vCoA}$  y  $t_{FBACK}$ , podrían estar definidos de acuerdo a los retardos de los enlaces por los cuales se propagan estos mensajes. El tiempo  $t_{FBU}$  es:

$$t_{FBU} = t_{MN-PAR} + t_{PAR-MAP} \quad (2)$$

Donde:

$t_{MN-PAR}$  = Tiempo de transmisión del mensaje FBU entre MN-PAR.

$t_{PAR-MAP}$  = Tiempo de transmisión del mensaje FBU entre PAR-MAP.

El tiempo de verificación de la LCoA por parte del MAP sería:

$$t_{vLCoA} = t_{MAP-NAR} + t_{NAR-MAP} \quad (3)$$

Donde:

$t_{MAP-NAR}$  = Tiempo de transmisión del mensaje HI entre MAP-NAR.

$t_{NAR-MAP}$  = Tiempo de transmisión del mensaje HACK entre NAR-MAP.

Y el tiempo  $t_{FBACK}$  es:

$$t_{FBACK} = t_{MAP-PAR} + t_{PAR-MN} \quad (4)$$

Donde:

$t_{MAP-PAR}$  = Tiempo de transmisión del mensaje FBACK entre MAP-PAR.

$t_{PAR-MN}$  = Tiempo de transmisión del mensaje FBACK PAR-MN.

Finalmente el tiempo de handover local quedaría definido así:

$$t_{lho} = t_{L2} + t_{MN-PAR} + t_{PAR-MAP} + t_{MAP-NAR} + t_{NAR-MAP} + t_{MAP-PAR} + t_{PAR-MN} \quad (5)$$

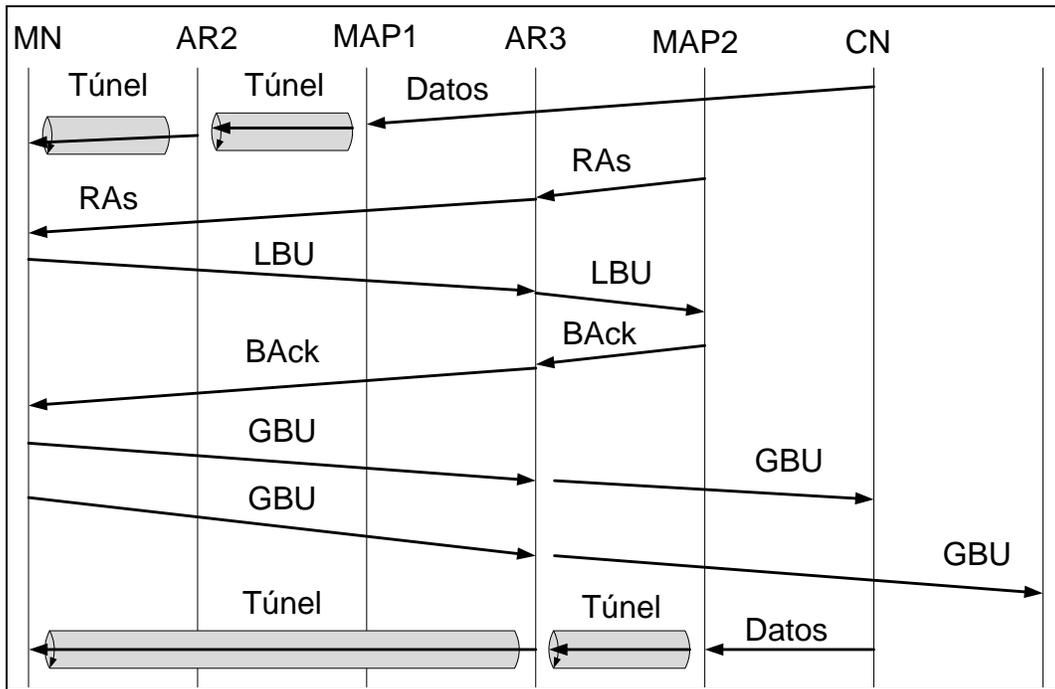
Por tanto, si se toma el tiempo de handover de capa 2 de 20ms (lo cual es un valor típico), la velocidad del enlace radio igual a 11Mbps, los enlaces MAP-AR igual a 100Mbps y los mensajes FBU, FBACK, HI, HACK de 64 bytes (Perkins y Jhonson, 2004), el retardo de la transmisión de los mensajes por cada enlace, sin tener en cuenta el retardo de los enlaces es:

$$\begin{aligned}t_{MN-PAR} &= 46.5\mu s \\t_{PAR-MAP} &= 5.12\mu s. \\t_{MAP-NAR} &= 5.12\mu s. \\t_{NAR-MAP} &= 5.12\mu s. \\t_{MAP-PAR} &= 5.12\mu s. \\t_{PAR-MN} &= 46.5\mu s.\end{aligned}$$

Y el tiempo de handover local sería:  $t_{lho}=20.113ms.$  (6)

**Handover entre dominios.** Se entiende por handover entre dominios cuando un nodo móvil cambia de dominio MAP (Castellucia y Soliman, 2005). En el caso de la Figura 7, esto sucede cuando el nodo móvil cambia del MAP1 al MAP2 a través de los routers AR2 y AR3 respectivamente. En la Figura 7, se muestra el intercambio de mensajes cuando el nodo móvil realiza un handover entre dominios MAP. El procedimiento es como sigue:

- Inicialmente el nodo móvil está recibiendo paquetes desde el nodo correspondiente a través del MAP1 y del AR2.
- Cuando el nodo móvil detecta su movimiento a través del recibo de mensajes Router Advertisements (RAs) con la opción MAP2, debe configurar su nueva RCoA usando el prefijo del MAP2 y su nueva LCoA con el prefijo de la nueva subred (AR3), de acuerdo a la información contenida en los RAs.



**Figura 7.** Diagrama de mensajes para el handover entre dominios.

- Luego el nodo móvil debe enviar mensajes locales de actualización y registro Local Binding Update (LBU) hacia el MAP2, indicando el enlace entre la RCoA y la LCoA.
- El MAP2 responderá con un Binding Acknowledgment (BAck) si el registro es aceptado (registro de la LCoA con el MAP2).
- Después del registro de la LCoA con el MAP2, el nodo móvil realiza el correspondiente registro de la RCoA ante el HA y CN por medio de GBU (Global Binding Update).
- Entonces el nodo correspondiente puede enviar paquetes hacia el nodo móvil a través del MAP2. El MAP2 tuneliza los paquetes y los envía hacia el nodo móvil a través del AR3.

De acuerdo con lo anterior el tiempo de handover comprende el tiempo de handover de capa 2, el tiempo gastado en la autoconfiguración RCoA – LCoA, el tiempo de registro de la LCoA y el tiempo gastado en la actualización del nodo correspondiente. Por tanto, el tiempo de handover entre dominios se expresa así:

$$t_{hMAPs} = t_{L2} + t_{RCoA-LCoA} + t_{LBU-BACK} + t_{GBU} \quad (7)$$

Donde:

- $t_{hMAPs}$  = Tiempo de handover entre MAPs.
- $t_{L2}$  = Tiempo de handover de capa 2.
- $t_{RCoA-LCoA}$  = Tiempo de autoconfiguración de la RCoA y LCoA.
- $t_{LBU}$  = Tiempo de registro de la LCoA.
- $t_{GBU}$  = Tiempo de actualización del nodo correspondiente.

El tiempo de retransmisión del mensaje LBU-BACK estaría definido por:

$$t_{LBU-BACK} = t_{MN-AR3} + t_{AR3-MAP} + t_{MAP-AR3} + t_{AR3-MN} \quad (8)$$

- $t_{MN-AR3}$  = Tiempo de transmisión del mensaje LBU entre MN-AR3.
- $t_{AR3-MAP}$  = Tiempo de transmisión del mensaje LBU entre AR3-MAP.
- $t_{MAP-AR3}$  = Tiempo de transmisión del mensaje BACK entre MAP-AR3.
- $t_{AR3-MN}$  = Tiempo de transmisión del mensaje BACK entre AR3-MN.

Y el tiempo de retransmisión del mensaje GBU desde el MN hacia el nodo correspondiente es:

$$t_{GBU} = t_{MN-AR3} + t_{AR3-MAP} + t_{MAP-CN} \quad (9)$$

- $t_{MN-AR3}$  = Tiempo de transmisión del mensaje GBU entre MN-AR3.
- $t_{AR3-MAP}$  = Tiempo de transmisión del mensaje GBU entre AR3-MAP.
- $t_{MAP-CN}$  = Tiempo de transmisión del mensaje GBU entre MAP-CN.

Entonces, el tiempo de handover entre dominios MAPs quedaría:

$$t_{hMAPs} = t_{L2} + 2 * t_{MN-AR3} + 2 * t_{AR3-MAP} + t_{MAP-AR3} + t_{AR3-MN} + t_{MAP-CN} \quad (10)$$

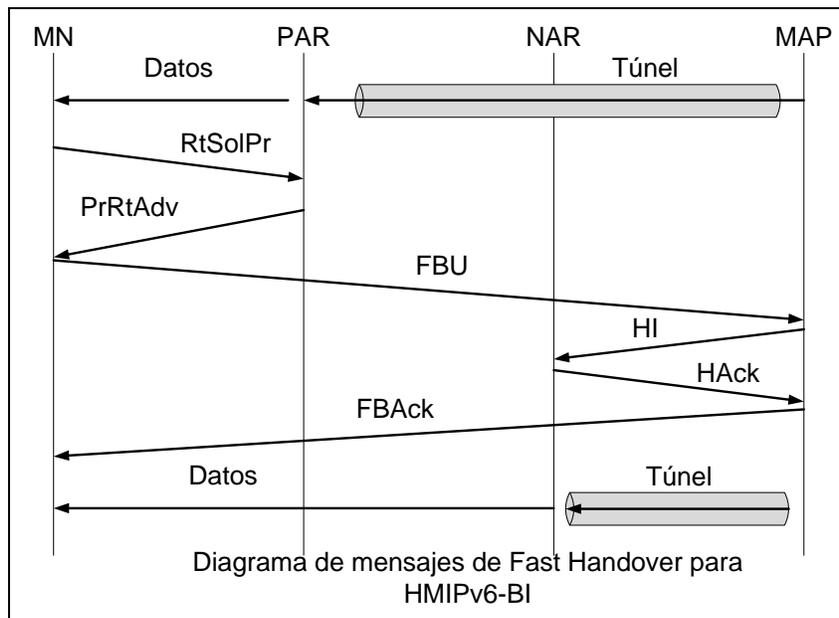
Por tanto, teniendo en cuenta las mismas condiciones utilizadas para el handover local con respecto a los valores de velocidades de los enlaces, el tiempo de handover de capa 2 y sin tener en cuenta los retardos de los enlaces:

- $t_{MN-AR3} = 46.5\mu s.$
- $t_{AR3-MAP} = 5.76\mu s.$
- $t_{MAP-AR3} = 5.76\mu s.$
- $t_{AR3-MN} = 46.5\mu s.$
- $t_{MAP-CN} = 5.76\mu s.$

El tiempo total del handover entre dominios es:  $t_{hMAPs} = 20.162ms$  (11)

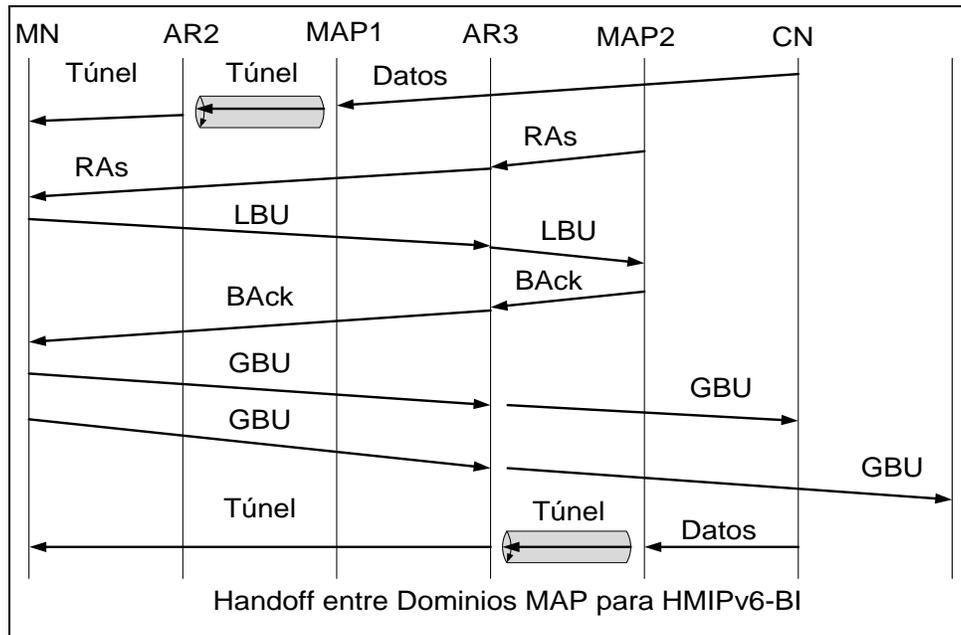
## 6.2 Modelo de la solución HMIPv6-BI

**Handover Local y Handover entre dominios.** En la Figura 8 y 9 se muestra el diagrama de mensajes para la propuesta HMIPv6-BI en los dos tipos de handover.



**Figura 8.** Diagrama de mensajes para el handover Local para HMIPv6-BI

La diferencia entre el protocolo HMIPv6 y HMIPv6-BI es que en el protocolo HMIPv6-BI no viajan las cabeceras del túnel por el canal radio, por lo demás el intercambio de mensajes es el mismo. Esto quiere decir que el tiempo de handover no es afectado por la propuesta HMIPv6-BI, depende del intercambio de mensajes de se nalizaci n. Por tanto, la ecuación 5 y 10 se puede aplicar para calcular el tiempo de handover local y para el handover entre dominios respectivamente, en una red con HMIPv6-BI.



**Figura 9.** Diagrama de mensajes para el handover entre dominios para HMIPv6-BI.

Con base en el análisis anterior, se pudo observar que la propuesta de modificación HMIPv6-BI no afecta el tiempo handover local ni el tiempo de handover entre dominios MAP (ver tabla 1). Esto se debe a que estos tiempos dependen del tiempo gastado en la desconexión y conexión de capa 2 y el registro de las correspondientes direcciones CoA (RCoA y LCoA). Además, los tiempos de registro de las direcciones mencionadas con el MAP, CN y HA dependen de la velocidad de los enlaces de la red (alambrados e inalámbricos). Esto quiere decir que para la propuesta HMIPv6-BI no hay cambio en el tiempo de handover cuando se usa la combinación HMIPv6-BI + fast handover.

Existen algunos estudios tratando de minimizar los tiempos de handover con el fin de reducir la pérdida de paquetes. Svetoslav y Wiethoelter (2006) hacen un estudio de varias propuestas para este fin y se hace una comparación de cada una de ellas. Una de las propuestas es usar multicast, de tal manera que durante el handover se envíen paquetes tanto por el PAR como por el NAR (Bicast). En la especificación RFC4140 (Castellucia y Soliman, 2005), se menciona la utilización de bi-cast como una forma de reducir la pérdida de paquetes. Estos métodos no se

han estandarizado aún y siguen siendo tema de estudio con el objetivo de encontrar la forma más conveniente de hacerlo. En este artículo se propone el uso de túneles multicast en combinación con HMIPv6-BI, lo cual se explica en la sección siguiente.

**Tabla 1.** Tiempo de handover para los protocolos HMIPv6 y HMIPv6-BI.

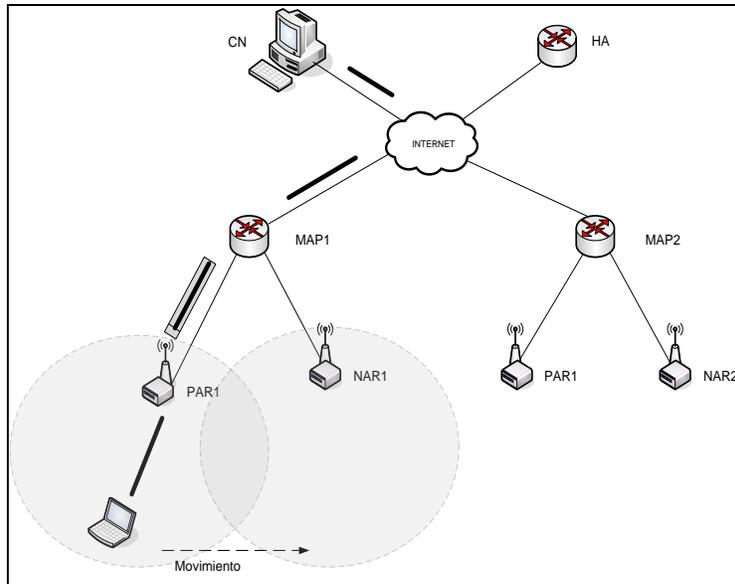
PROTOCOLO	HANDOVER LOCAL	HANDOVER ENTRE DOMINIOS
HMIPv6	20.113ms	20.162ms
HMIPv6-BI	20.113ms	20.162ms

### 7. MODELO DE LA SOLUCIÓN HMIPv6-BI CON TÚNELES MULTICAST.

Uno de las grandes preocupaciones en las redes móviles es la latencia del handover. Es por esto que muchos investigadores buscan mecanismos que puedan minimizar el tiempo de traspaso de un nodo móvil de una subred a otra. Suponer el uso de túneles multicast en redes que trabajan con el protocolo hierarchical mobile IPv6 no es un pensamiento descabellado, teniendo en cuenta que este mecanismo puede reducir la pérdida de información cuando se esté ejecutando un handover. Por su parte, la propuesta de modificación al protocolo HMIPv6 (HMIPv6-BI) propone el uso de túneles multicast que lleguen hasta varios routers de acceso con el fin de disminuir latencia durante el handover local. En el proceso del handover, el envío de paquetes se puede ubicar en tres estados diferentes que son: antes del handover, durante el handover y después del handover. En la figura 10,11 y 12 se muestran estas fases del handover para HMIPv6-BI.

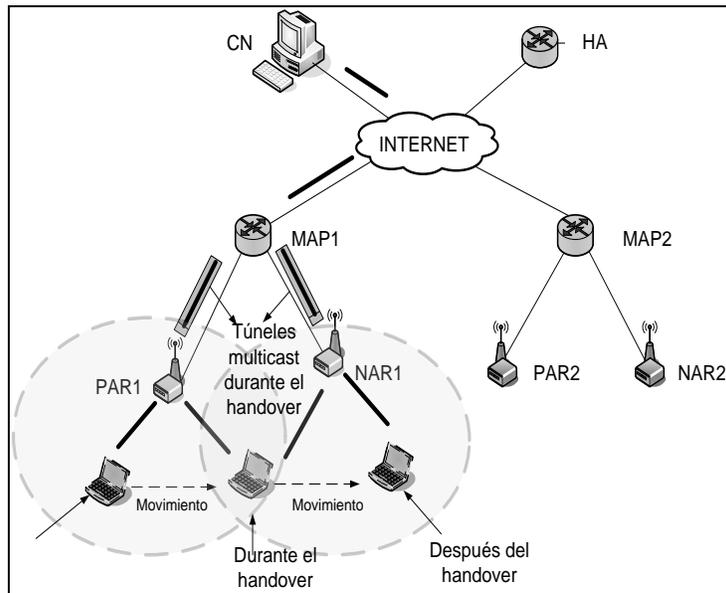
Para el protocolo HMIPv6-BI, los paquetes enviados por el nodo correspondiente hacia el nodo móvil antes del handover son interceptados por el MAP y tunelizados hacia el PAR. El PAR los desencapsula y los envía hacia el nodo móvil. Durante el handover, el MAP intercepta los paquetes y los envía hacia los routers de acceso asociados al handover (PAR y NAR), estos

routers desencapsulan los paquetes y los envían hacia el nodo móvil. Después del handover, el MAP tunelizará los paquetes y los enviará hacia el NAR.

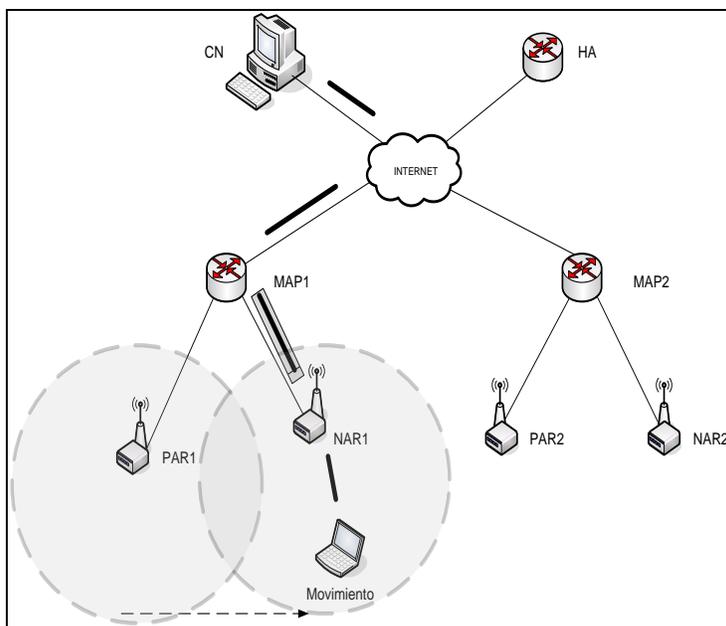


**Figura 10.** Fase 1, antes del handover.

El tiempo transcurrido durante el handover es muy crítico, pues aunque se utilice el protocolo fast handover(Koodli, 2005), existe un tiempo reducido en el que el nodo móvil no puede recibir paquetes debido al traspaso realizado entre celdas. La utilización de túneles multicast es una buena opción para reducir el tiempo de handover de capa 3 disminuyendo la pérdida de paquetes.



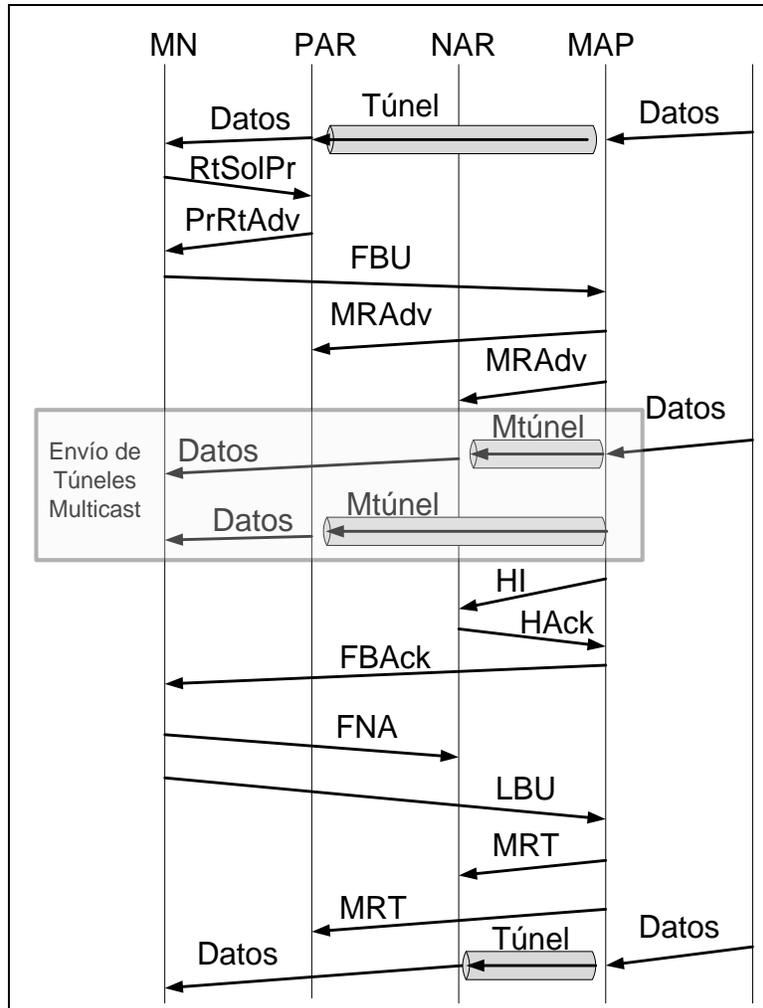
**Figura 11.** Fase 2, durante el handover



**Figura 12.** Fase 3, después del handover.

Para la utilización de túneles multicast Becerra (2009) y Becerra y Padilla (2008) proponen usar el mecanismo de descubrimiento de routers multicast cuya recomendación se encuentra en la RFC4286 (Martín y Haberman, 2005). Con base en la especificación RFC 4286 y en las

especificaciones del protocolo fast Handover (Koodli, 2005) y HMIPv6-BI (Becerra, 2009), el diagrama de mensajes queda como se muestra en la figura 13.



**Figura 13.** Diagramas de mensajes del protocolo HMIPv6-BI utilizando túneles multicast.

- Inicialmente el nodo móvil se encuentra en la cobertura del PAR; entonces el MAP intercepta cualquier paquete enviado por el CN hacia el MN, lo tuneliza y lo re-envía hacia PAR.
- El PAR desencapsula el paquete y lo reenvía por el canal radio hacia el MN.
- Cuando el nodo móvil necesita realizar un handover, envía un mensaje **RtSolPr** (Router Solicitation for Proxy Advertisement) hacia el PAR solicitando información sobre enlaces vecinos para realizar el handover.

- El PAR responde con un PrRtAdv (Proxy Router Advertisement) suministrándole información sobre enlaces vecinos para facilitarle el handover.
- Luego el nodo móvil envía un FBU (Fast Binding Update) hacia el MAP indicándole redireccionar el tráfico hacia el NAR.
- Una vez recibe el FBU el MAP, activa el envío de túneles multicast mediante mensajes MRAdv (Multicast Router Advertisement). Y, cualquier paquete dirigido hacia el nodo móvil lo reenvía por medio de túneles multicast hacia el MN mediante el PAR y NAR.
- El PAR y NAR desencapsulan los paquetes y los envían al MN mediante el canal radio.
- El MAP también envía un HI (Handover Initiate) hacia el NAR para confirmar la validez de la nueva dirección (care-of address) obtenida por el nodo móvil mediante el prefijo del NAR.
- El NAR envía un HAck (Handover Acknowledgement) al MAP en respuesta al HI, indicando que se puede realizar el handover.
- El MAP envía un FBAck (Fast Binding Acknowledgement) hacia el nodo móvil en respuesta al FBU.
- Cuando el nodo móvil se conecta con el NAR envía un FNA (Fast Neighbour Advertisement) al NAR para anunciar su conexión. El nodo móvil también envía un LBU (Local Binding Update) al MAP para actualizar su ubicación.
- Entonces el MAP finaliza el envío de túneles multicast mediante mensajes MRT(Multicast Router Termination) enviados al PAR y NAR.
- Ahora cualquier paquete enviado hacia el nodo móvil es interceptado por el MAP y tunelizado hacia el NAR.
- El NAR desencapsula y lo envía al MN.

En este entorno, el tiempo de handover disminuye notablemente con respecto al tiempo de handover requerido para el protocolo HMIPv6 sin usar el mecanismo de túneles multicast. Esto

se debe a que no está determinado por el registro de la LCoA sino que apenas el nodo móvil envía el FBU anunciando que se va moverá hacia una nueva dirección, el MAP envía mensajes MRAdv avisando el envío de túneles multicast. Entonces el tiempo en el cual hay pérdida de paquetes está definido por el tiempo de handover de capa 2, lo que quiere decir que el nodo móvil puede tener una conectividad de capa 3 sin interrupción. Por tanto, las expresiones 5 y 7 se reducen a la expresión 12.

$$t_{ho} = t_{L2} \quad (12)$$

Donde:

$t_{ho}$  = Tiempo de handover local.

$t_{L2}$  = Tiempo de handover de capa 2.

En la tabla 2, se muestran los resultados para el tiempo de handover local tradicional y el handover local usando túneles multicast. Se puede apreciar que el uso de túneles multicast reduce el tiempo de handover de capa 3, siendo este igual al tiempo requerido para realizar el handover de capa 2.

**Tabla 2.** Comparación del tiempo de handover local y handover local usando túneles multicast para los protocolos HMIPv6 y HMIPv6-B.

Protocolo	Handover local	Handover Local + Bicast
HMIPv6	20.113ms	20ms
HMIPv6-BI	20.113ms	20ms

## 8. CONCLUSIONES

Mediante el análisis del tiempo de handover, se pudo apreciar que no existe cambio en la latencia del handover para la combinación HMIPv6 + Fast Handover con respecto a HMIPv6-BI

+ Fast Handover, esto es debido a que la propuesta HMIPv6-BI no modifica ninguna de las funcionalidades de Fast Handover sino el destino de los paquetes tunelizados.

La utilización de túneles multicast hace que el nodo móvil tenga una conectividad sin interrupción en capa 3. Los túneles multicast pueden ser implementados tanto para el protocolo estándar (HMIPv6) como para el modificado (HMIPv6-BI) y en ambos produciría los mismos efectos en la reducción de pérdidas de paquetes. La ventaja que presenta el protocolo HMIPv6-BI con respecto al HMIPv6 es que las cabeceras del túnel no viajarían por el canal radio, por lo que habría una mejor utilización del canal. En consecuencia, la desventaja que se presenta al usar túneles multicast con HMIPv6 o HMIPv6-BI es la duplicidad de recursos durante el handover. Este sería el costo por reducir notablemente la pérdida de paquetes.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becerra L., Padilla J., y Paradells J. (2008). An approach to Improve the radio channel bandwidth in hierarchical mobile IP networks (HMIPv6-BI). [The Second International Conference on New Technologies, Mobility and Security NTMS08. Marruecos.]. 5p.

Becerra Line. (2009). Evaluación de una propuesta de modificación al protocolo hierarchical mobile IPv6(HMIPv6) en la tunelización (tunneling) de información. [Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín]. 114p.

Castellucia C. y Soliman H. (2005). Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management(HMIPv6). [IETF, RFC4140]. 18p.

Conta A. y Deering S. (1998). Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification. *IETF, RFC2473*, 36p.

Koodli, R. (2005). Fast Handovers for Mobile IPv6. *IETF, RFC4068*, 18p.

Martín J. y Haberman B. (2005). Multicast Router Discovery. *IETF, RFC4286*, 18p.

Narten y Thomson. (1999). Stateless Address Autoconfiguration. *IETF RFC2462*, 40p.

Perkins C. y Jhonson D. (2004). Mobility Support IPv6. [IETF, RFC3775]. *IETF, RFC3775*, 100p.

Seneviratne A. y Hsieh R. (2003). S-MIP: a seamless Handover Architecture for Mobile IP. [IEEE Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies]. *INFOCOM 2003*, 10p.

Svetoslav y Wiethoelter Sven. (2006). Handover Blackout Duration of Layer3 Mobility Management Schemes. *Technical Report TKN-06-002*, 81p.

Vivaldi y Prakash V. (2003). Routing scheme for macro mobility handover in hierarchical mobile IPv6 network. [Telecommunication Technology.]. *NCTT 2003 Proceedings, 4th National conference 2003*, 6p.

Wahlisch M. y Schmid T. (2003). Seamless Multicast Handover in a Hierarchical Mobile IPv6 Enviroment (M-HMIPv6). *draft-schmidt-waehlischmhmipv6-00.txt*.