

# NEMO-MP

## Solución Multipath en Redes Móviles Anidadas

C. Lazo Ramírez  
Inst. de Informática  
Univ. Austral de Chile  
clazo@inf.uach.cl

M. Fernández Veiga  
Dep. Enxeñaría Telemática  
Univ. de Vigo  
mveiga@det.uvigo.es

C. Cervelló-Pastor  
Dep.d'Enginyeria Telemàtica  
Univ. Politècnica de Catalunya  
cristina@entel.upc.edu

Carlos J. Bernardos  
Dep. Ingeniería Telemática  
Univ. Carlos III de Madrid  
cjb@it.uc3m.es

**Abstract** *This paper proposes a novel solution which allows the, simultaneous use of two output interfaces of the routers that are members of a nested mobile network with several hierarchy levels, solving the conflict Router Advertisement and loop formation. This makes possible to deliver useful information to the network clients because it allows for the possibility of finding the best Internet access point available, providing a better QoS to the network nodes through the use of multipath techniques. It also achieves lower delay times in the tunnels generated between the Mobile Router and the Home Agent. The deployment of this mechanism requires the modification of the Router Advertisement message.*

### 1. Introducción

Hoy día, el desarrollo de la tecnología esta cada vez más orientado a dar soluciones ubicuas por medio de conectividad inalámbrica. Así, los terminales móviles están equipados con más de una tecnología de acceso a redes troncales de datos (WiFi 802.11 a/b/g, WiMax, 3G, GPRS, Bluetooth,etc.), lo que permite su conexión casi desde cualquier lugar y en cualquier momento. Esto, unido a las funcionalidades que entrega el protocolo de movilidad de host IPv6 Móvil (Mobile IPv6, MIPv6) [1], permite tener usuarios en movimiento y siempre conectados. Sin embargo, el protocolo MIPv6 no resulta apropiado cuando son un grupo de nodos los que se mueven juntos, ya que, para mantener esta conectividad, es necesario establecer un túnel bidireccional entre el Nodo Móvil (Mobile Node, MN) y el Agente Hogar (Home Agent, HA), por cada uno de los nodos conectados. Para solucionar este problema el Internet Engineering Task Force (IETF) ha especificado un protocolo de movilidad de redes llamado NEMO Basic Support Protocol (NEMO BS) [2]. NEMO es una extensión del protocolo MIPv6 y permite, mediante el establecimiento de un único túnel bidireccional entre el Router Móvil (Mobile Router, MR) y el HA, mantener la conectividad a segmentos completos de redes. Para ello el MR, luego de recibir una dirección desde el Router de Acceso (Access Router, AR), envía un mensaje de Binding Update (BU) hasta el HA, informando de la dirección IPv6 temporal (Care-of Address, CoA) que ha adquirido en la red visitada, este mensaje incluye además su dirección en la red hogar (Home Address, HoA) y el prefijo de red que administra (Mobile Net-

work Prefix, MNP). Una vez establecido este túnel, el MR sirve de *gateway* para todos los nodos de la red móvil (Mobile Network Nodes, MNN), los cuales pueden ser fijos (Local Fixed Nodes, LFN), nodos móviles locales (Local Mobile Nodes, LMN), móviles visitantes (Visiting Mobile Nodes, VMN) o incluso otros routers móviles.

Cuando un MR se conecta a otro MR se habla de redes móviles encadenadas. Así por ejemplo, un vehículo (bus, tren, automóvil, avión, etc.) que tiene un MR conectado a Internet y una red móvil asociada (MNP) puede dar conectividad a otros vehículos que tengan otro MR o a usuarios a través de un Router Móvil Personal (PMR), tal como una PDA o teléfono.

La obtención y configuración de la dirección IPv6 globalmente enrutable (CoA) por parte del MR se lleva a cabo mediante los mensajes de Anuncio de Router (RADV) y Solicitud de anuncio de Router (Router Solicitation RS). Sin embargo, si un MR no está conectado a Internet puede enviar mensajes de RADV y llegar a configurar otros MR, generando un problema llamado "Conflicto de Anuncio de Router", que consiste en la formación de bucles entre las interfaces de entrada y salida de dos o más MR sin llegar a dar conectividad a Internet, tal como se aprecia en la Fig. 1. Para evitar este problema se han presentado propuestas como [3], que permite solucionar el problema de jerarquía, al modificar los mensajes de RADV agregando en ellos un campo de antigüedad, o bien la propuesta [4], que amplía la propuesta anterior añadiendo una extensión al mensaje de RADV la cual, además de evitar la formación de bucles, mejora el mecanismo de selección de router gracias a que incorpora parámetros de calidad

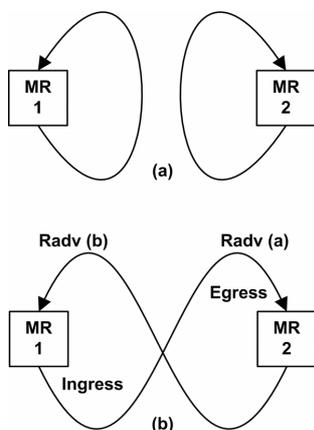


Figura 1: Formación de bucles y conflicto de Anuncio de Router. (a) Problema de autoconfiguración producida por el mismo equipo en interfaces de igual tecnología, (b) Configuración cruzada sin conexión a redes troncales.

de servicio en la elección del MR.

Sin embargo, estas propuestas constituyen una solución parcial, ya que sólo consideran en su diseño a un router con una única interfaz de entrada y otra de salida, ambas de la misma tecnología, tal como se aprecia en la Fig. 2(a), por lo que no es posible el uso de múltiples interfaces de salida en un escenario de acceso inalámbrico heterogéneo, por ejemplo, como el que se muestra en la Fig. 2(b).

Con el fin de utilizar múltiples interfaces de acceso a redes troncales de datos, en este trabajo se propone modificar los mensajes de RADV, así como un nuevo algoritmo de configuración de MR anidados, el que evita la formación de bucles y permite la utilización simultánea de dos interfaces de salida entre el MR y su HA correspondiente, brindando los múltiples beneficios del uso de *multipath* y *multihoming*, tales como carga compartida, balanceo de carga, ancho de banda agregado, fiabilidad del servicio, tolerancia a fallos y mejoras en los retardos extremo a extremo [5].

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el problema de conflicto de Anuncio de router producido con la utilización de más de una tecnología de acceso en redes móviles encadenadas. Luego, en la sección 3 se describe la solución propuesta, indicando las modificaciones necesarias en los mensajes de RADV, y se presenta el algoritmo que permite al router la configuración con dos tecnologías de acceso inalámbrica simultáneas. Fi-

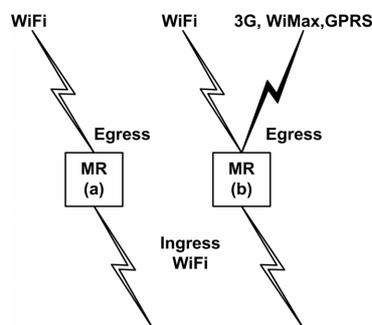


Figura 2: (a) Estructura de un router con una única interfaz de entrada y salida, (b) Router con dos Interfaces de salida de distinta tecnología.

nalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y el trabajo por hacer.

## 2. Routers móviles con múltiples interfaces de salida

En la actualidad, las propuestas de investigación y desarrollo apuntan a optimizar los recursos de conexión con el fin de sacar el máximo provecho a las múltiples tecnologías de acceso con que cuentan los dispositivos móviles. Para ello, algunos investigadores proponen utilizar múltiples router de acceso para dar conectividad a una red móvil [6, 7, 8] mientras que otros proponen utilizar simultáneamente más de una interfaz de salida en cada uno de los MR de acceso [9, 10]. Sin embargo, a la fecha no existe descrito un método que permita manejar los bucles producidos cuando se utiliza de forma simultánea más de una tecnología de acceso en las redes móviles anidadas.

Así, la versión actual del protocolo NEMO no contempla la utilización de múltiples interfaces de salida ni tampoco un mecanismo para manejar de forma ordenada las jerarquías en las redes móviles anidadas, por lo que su utilización provoca bucles de conexión como los representados en la Fig. 1.

Por tal motivo, y para solucionar esta problema, es necesario que más información se incorpore a los mensajes de RADV a fin de que el MR pueda tomar de forma autónoma la decisión más adecuada al momento de conectarse a las redes troncales. Así, en HMRA [3] se propone una modificación al mensaje de RADV mediante el cual se utiliza parte de los campos reservados para agregar un nuevo campo (*age*), con el que el AR router anuncia su máximo nivel de anidamiento permi-

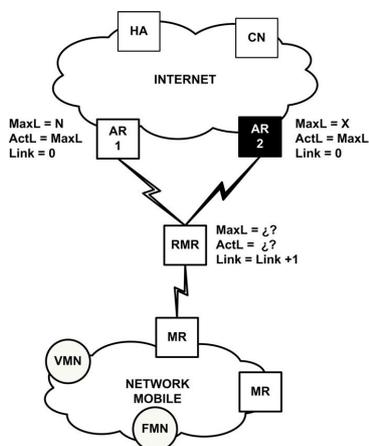


Figura 3: Conflicto de Anuncio de Router, producido en equipos con dos interfaces de salida.

tido hacia abajo. Más adelante, los MR que se conectan a él descuentan en uno el valor anunciado y lo incorporan a sus propios mensajes de RADV. Los mensajes de RADV son válidos para los MR siempre que el valor de *age* (una distancia remanente) sea mayor que cero.

El trabajo de [4] amplía esta propuesta y agrega un conjunto de parámetros al mensaje de RADV, llamado *Tree Information Option* (TIO), mediante el cual se incorporan mejoras que permiten manejar la identidad del árbol de conexión, utilizar parámetros de calidad de servicio y evitar la formación de bucles en el proceso de elección del mejor router de conexión con una única interfaz de salida y una de entrada.

Para utilizar de forma simultánea más de una interface de salida en cada uno de los MR que componen una red móvil anidada es necesario, primero, tener un mecanismo que permita el registro y manejo de más de una dirección de CoA entre el MR y el HA. Esto se logra mediante la utilización de las modificaciones propuestas a NEMO en [11](Multiple Care-of Address Registration, MCoA). Estas mejoras permiten registrar, para una única dirección de HoA de un MR, un conjunto de direcciones CoA y asociarlas a un MNP de red mediante los mensajes de BU. De esta manera, MCoA permite hacer uso de varias interfaces de salida en un mismo MR.

No obstante, las propuestas mencionadas no contemplan ningún mecanismo que permita manejar de forma óptima las múltiples interfaces de salida y los distintos niveles de jerarquía en cada uno de los MR que parti-

0										1										2										3									
Type		Code				Checksum																																	
Cur Hop Limit		M	O	H	Disp	Rsvd				Reachable Time				Router Life Time																									
Retransmission Timer																																							
Options...																																							

Figura 4: Mensaje de Anuncio de Router modificado.

0										1										2										3									
Type		Length				G   H   B				Reserved																													
Tree Pref		Boot Time Random				Tree Delay																																	
T	MaxL	ActL	Link		Path Digest				Tree																														
Sub Options...																																							

Figura 5: Mensaje de *Tree Information Option* modificado.

cipan en la red móvil anidada, tal como lo representa la Fig. 3.

### 3. Soporte para routers móviles con múltiples interfaces

Para llevar a cabo el proceso de selección del mejor router en la red móvil anidada se proponen modificaciones al mensaje de RADV y un nuevo algoritmo que evalúe estos parámetros con el fin de evitar la formación de bucles y permita al mismo tiempo que cada router, en forma autónoma, tome la decisión más idónea para su conexión a la red troncal.

#### 3.1. Modificaciones al mensaje de Anuncio de Router

Para la correcta ejecución del algoritmo es necesario conocer una serie de parámetros, uno de ellos es la dirección origen (*Id*) del equipo que envía los mensajes de RADV, la cual es extraída desde la cabecera IPv6 de los mismos, los otros parámetros utilizados están presentes en los mensajes de RADV modificados, que son recibidos desde los AR y los MR. La nueva estructura del mensaje de RADV está representada en la Fig. 4 y sus modificaciones se describen a continuación.

**Disp**= Campo de 2 bits, situado en la parte reservada de la cabecera del RADV. Este campo indentifica el tipo de dispositivo que está generando el mensaje. Los valores posibles pueden ser: 00 si el RADV es enviado por un RM no conectado a Internet, 01 si se trata de un MR conectado directamente a un AR, que será

identificado como Root Router Móvil (RMR), 10 si se trata de un MR conectado a Internet por medio de un RMR u otro MR y 11 si se trata de un AR. El valor de este campo está inicializado en 00.

### 3.2. Modificaciones a la extensión de mensajes en TIO

Los otros parámetros utilizados son enviados como opción en los mensajes de RADV, y para ello se propone modificar las extensiones señaladas por [4]. Las modificaciones consisten en eliminar los campos MR Preference y TreeDepth (16bits), que quedarían reemplazados por los siguientes parámetros (Fig. 5).

**T**= Campo de 1 bit. Este indicador permite identificar la tecnología utilizada por el AR que genera el mensaje de RADV. Los valores permisibles son 0 si el mensaje fue transmitido desde el AR con tecnología WiFi y 1 si fue con otra tecnología (3G, WiMax, etc). Este parámetro resulta fundamental para determinar el signo que tomará el valor del parámetro **MaxL**.

**MaxL**= Campo de 5 bits, cuyo valor en decimal indica el máximo nivel de encadenamiento permitido por el AR que da conectividad a Internet. Este valor es generado por el AR y no se modifica durante el envío de los RADV. El signo dependerá del campo T: si T= 0, el valor de **MaxL** es positivo y si T= 1 el valor será negativo (**-MaxL**).

**ActL**= Campo de 5 bits, cuyo valor indica el actual nivel de encadenamiento. Este parámetro no representa necesariamente la distancia hasta el AR, puesto que cada router móvil puede tener una estrategia distinta de preservación de calidad de servicio y manejo de los niveles máximos de jerarquía. Por ejemplo, podrían descontarse dos unidades en lugar de una en cada router móvil, con el fin de asegurar mejor calidad de servicio a sus nodos conectados o  $ActL = 0$  con el fin de evitar que otro router móvil se conecte a él cuando detecte un fallo de conectividad. El valor de este parámetro es modificado por cada router antes de ser enviado.

**Link**= Campo de 5 bits. Su valor representa el número del eslabón, e indica el valor exacto dentro del nivel de jerarquía de la red, partiendo desde cero en el AR y aumentando en uno por cada nivel de jerarquía agregado por un MR. Este campo permite a los MR o MNN encontrar el router con menor nivel de encadenamiento y, por ende, el que entrega un menor retardo en la red móvil anidada, pues este parámetro

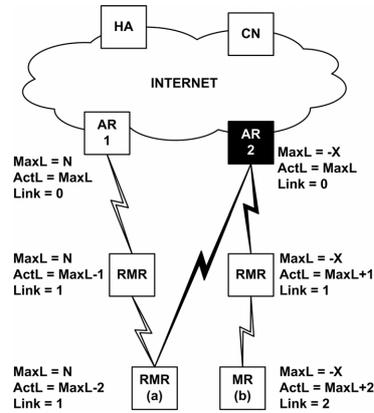


Figura 6: Manejo de router móviles con distintos niveles de jerarquía y múltiples interfaces de acceso a redes troncales de datos.

está directamente relacionado con el número de túneles MR-HA que los paquetes deben cruzar. Su valor por defecto es cero y aumenta en una unidad antes de ser reenviado.

**Tree**= En este campo se incorpora la dirección IPv6 del AR que da conectividad a Internet, siendo prioritaria la dirección del AR con T=0. Su función es ser el identificador del árbol de conectividad de la red móvil encadena. Este valor no se modifica en los reenvíos de RADV, salvo en la coordinación de las interfaces de salida realizada por los MR con dos AR.

### 3.3. Características

Las principales características de este algoritmo permiten a un MR manejar y utilizar dos interfaces de salida, al mismo tiempo que previenen la formación de bucles. De esta manera, entregan al router móvil toda la información necesaria para que encuentre el o los mejores puntos de conexión con Internet, en base a la información diseminada por los mensajes de Anuncio de router modificados. En consecuencia, el uso del algoritmo permite sacar el máximo provecho de los beneficios entregados por *multipath* y *multihoming*.

### 3.4. Descripción del algoritmo

La ejecución de este algoritmo se lleva a cabo en cada uno de los dispositivos móviles de manera distribuida, lo que permite su configuración individual. El diagrama de funcionamiento se presenta en la Fig. 7.

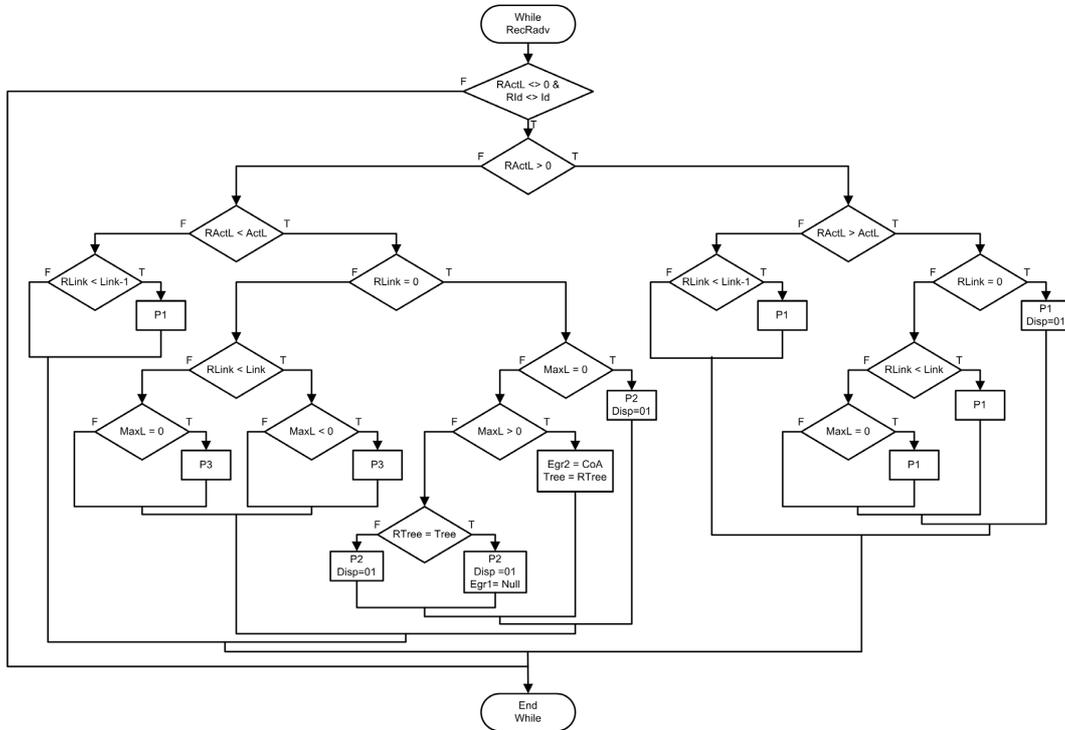


Figura 7: Diagrama del algoritmo para prevenir la formación de bucles y conflicto de Anuncio de Router.

Básicamente, sus reglas de funcionamiento dan permiso a cada MR para ignorar los mensajes de RADV que provienen de sí mismo y de otros router no conectados a Internet. A tal objeto se evalúa el valor del parámetro ActL. Un mensaje con ActL igual a cero indica que el MR emisor no está conectado a Internet o que es el último dispositivo de un árbol de conexión, por lo que no puede dar conectividad a Internet, evitando de esta manera la aparición de bucles de encaminamiento sin conexión. A continuación, se evalúa el campo T, y se incorpora un valor negativo o positivo al valor contenido en el parámetro ActL. El valor de T depende de la tecnología de acceso utilizada por el mensaje de RADV y generado por el AR. Así, si el mensaje es válido y proviene de la misma tecnología que su interfaz de entrada (WiFi), lo acepta y utiliza un esquema similar a los propuestos anteriormente para evitar bucles; sin embargo si el valor es negativo, se agregan mecanismos de control de tecnología ya que es necesario verificar ambas interfaces de salida. El valor de Link permite

identificar si se trata de un AR, un RMR o un MR.

La ejecución del algoritmo permite elegir en todo momento los dos mejores puntos de conexión hacia Internet basado en la utilización de dos interfaces de salida de distinta tecnología, lo que en conjunto con MCoA permite emplear múltiples túneles hasta el HA.

### 3.4.1. Procesos de asignación de Interfaces

Los valores recibidos por medio de los mensajes de RADV se traspasan a los valores de los mensajes que los MR anunciarán por medio de tres procesos que se ejecutan en el algoritmo.

El proceso  $P_1$  permite configurar la interface de salida cuando el AR es WiFi, el proceso  $P_2$  configura la interface de salida de otra tecnología (3G, WiMAX, etc) y el proceso  $P_3$  que permite configurar la Interface Wifi, cuando el AR pertenece a otra tecnología. Cada uno de los procedimientos se detallan a continuación:

```

# Proceso de asignacion P1
Begin
  Interface_Salida 1 := CoA
  MaxL               := RMaxL
  ActL               := RActL-1
  Link               := RLink+1
  Tree               := RTree
End

# Proceso de asignacion P2
Begin
  Interface_Salida 2 := CoA
  MaxL               := RMaxL
  ActL               := RActL+1
  Link               := RLink+1
  Tree               := RTree
  Interface_salida 1 := Null
End

# Proceso de asignacion P3
Begin
  Interfaz_Salida 1 := CoA
  MaxL               := RMaxL
  ActL               := RActL+1
  Link               := RLink+1
  Tree               := RTree
End

```

### 3.5. Ejemplos de operación

La búsqueda del mejor punto de conexión a Internet, se basa en encontrar el árbol que entregue el menor nivel de encapsulamiento, independiente de la tecnología de acceso a la red. Sin embargo esta solución prioriza

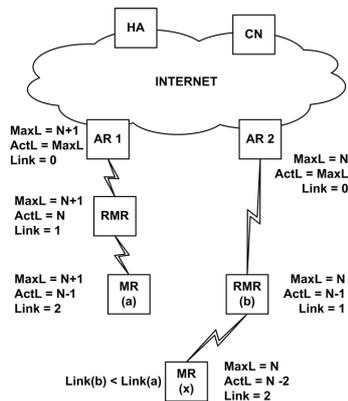


Figura 8: Ejemplo de conectividad en redes de acceso y árboles WiFi.

la conectividad mediante WiFi, siendo la que presenta un mayor grado de penetración.

La Fig. 8 muestra un escenario donde sólo esta disponible la tecnología WiFi, por medio de dos árboles de conectividad y distintos niveles de encadenamiento. En este caso el  $MR_{(a)}$  y el  $RMR_{(b)}$  tienen el mismo valor de  $ActL = (N-1)$ , sin embargo el  $MR_{(x)}$  selecciona su punto de conectividad desde  $RMR_{(b)}$ , basado en el menor valor de  $Link$ , lo que asegura un menor retardo en la entrega de los paquetes.

Otro escenario posible, consiste en redes donde solo es posible el acceso a Internet a través de AR con tecnologías distintas a WiFi (Fig. 9), tales como 3G, WiMax, etc. En este caso el  $MR_{(x)}$  no sólo encuentra el menor nivel de encadenamiento que entrega el  $RMR_{(b)}$ , sino que además evita la formación de bucles en las interfaces WiFi, pues los mensajes de RADV enviados desde las interfaces de entrada, dejan de ser prioritarios, permitiendo manejar correctamente los niveles de jerarquía en la red.

## 4. Conclusiones y trabajo futuro

La utilización del algoritmo propuesto permite, en combinación con la extensión para múltiples direcciones asignadas (MCoA), la utilización simultánea de dos interfaces de salida de distinta tecnología hacia el HA. En el proceso de identificación de las interfaces duales se evita asimismo la formación de bucles en la red móvil anidada que, de hecho, impediría el tráfico de salida. En este momento se trabaja en la generación de una función de costo que sirva para elegir el mejor punto de

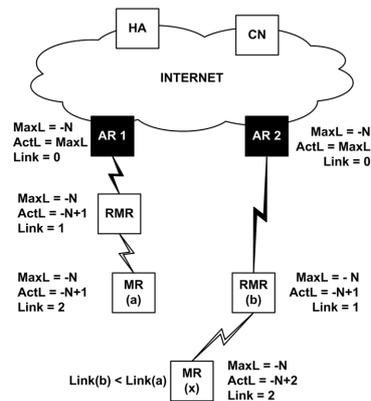


Figura 9: Conectividad y selección de árboles en redes de Acceso con redes inalámbricas heterogéneas.

conexión hasta Internet y generar políticas de reenvío capaces de repartir el tráfico entre ambos trayectos de salida. Por otro lado, se prevé agregar parámetros de calidad de servicio y analizar las implicaciones del uso de *multihoming* en la red móvil.

## Agradecimientos

Este trabajo a sido parcialmente financiado por el ‘Ministerio de Educacion y Ciencia’ de España a través del proyecto TSI2006-12507-C03-02 del ‘Plan Nacional de I+D+I’.

## Referencias

- [1] D. Johnson, C.Perkins, y J.Arkko, «Mobility Support in IPv6», en *RFC 3775*, 2004.
- [2] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, y P. Thubert, «Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol», en *RFC 3963*, 2005.
- [3] H.-S. Cho, E. Paik, y Y. Choi, «HMRA: Hierarchical Mobile Router Advertisement», en *Proc. IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS)*, 2004.
- [4] P. Thubert, C. Bontoux, y N. Montavont, «Nested Nemo Tree Discovery», en *Internet-Draft, Work in progress*, 2006.
- [5] N. Montavont, T. Noel, y T. Ernst, «Multihoming in Nested Mobile Networking», en *Proc. International Symposium on Application and the Internet Workshop (SAINTW)*, 2004.
- [6] E. Paik, H.-S. Cho, T. Ernst, y Y. Choi, «Load Sharing and Session Preservation with Multiple Mobile Routers for Large Scale Network Mobility», en *Proc. International Conference on Advanced Information Networking and Application (AINA)*, 2004.
- [7] M. Tsukada, T. Ernst, R. Wakikawa, y K. Mitsuya, «Dynamic Management of Multiple Mobile Routers», en *Proc. IEEE Malaysia International Conference on Communications and Networks (MICC - ICON)*, 2005.
- [8] S. Cho, J. Na, , y C. Kim, «A Dynamic Load Sharing Mechanism in Multihomed Mobile Networks», en *Proc. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC)*, 2005.
- [9] C.-W. Ng y T. Ernst, «Multiple Access Interfaces for Mobile Nodes and Networks», en *Proc International Conference on Networking (ICON)*, 2004.
- [10] L. Suciú, J.-M. Bonnin, K. Guillouard, y T. Ernsts, «Multiple network interfaces management for mobile routers», en *Proc. Conference on Intelligent Transportation Systems Telecommunications (ITST)*, 2005.
- [11] R. Wakikawa, T. Ernst, y K. Nagami, «Multiple Care-of Addresses Registration», en *Internet-Draft, Work in progress*, 2006.