



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

Y.1281

(09/2003)

SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA
INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO
INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN

Aspectos del protocolo Internet – Arquitectura, acceso,
capacidades de red y gestión de recursos

**Servicios móviles basados en el protocolo
Internet por la red con conmutación por
etiquetas multiprotocolo**

Recomendación UIT-T Y.1281

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE Y
**INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y
 REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN**

INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN	
Generalidades	Y.100–Y.199
Servicios, aplicaciones y programas intermedios	Y.200–Y.299
Aspectos de red	Y.300–Y.399
Interfaces y protocolos	Y.400–Y.499
Numeración, direccionamiento y denominación	Y.500–Y.599
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.600–Y.699
Seguridad	Y.700–Y.799
Características	Y.800–Y.899
ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET	
Generalidades	Y.1000–Y.1099
Servicios y aplicaciones	Y.1100–Y.1199
Arquitectura, acceso, capacidades de red y gestión de recursos	Y.1200–Y.1299
Transporte	Y.1300–Y.1399
Interfuncionamiento	Y.1400–Y.1499
Calidad de servicio y características de red	Y.1500–Y.1599
Señalización	Y.1600–Y.1699
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.1700–Y.1799
Tasación	Y.1800–Y.1899
REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN	
Marcos y modelos arquitecturales funcionales	Y.2000–Y.2099
Calidad de servicio y calidad de funcionamiento	Y.2100–Y.2199
Aspectos relativos a los servicios: capacidades y arquitectura de servicios	Y.2200–Y.2249
Aspectos relativos a los servicios: interoperabilidad de servicios y redes en las redes de próxima generación	Y.2250–Y.2299
Numeración, denominación y direccionamiento	Y.2300–Y.2399
Gestión de red	Y.2400–Y.2499
Arquitecturas y protocolos de control de red	Y.2500–Y.2599
Seguridad	Y.2700–Y.2799
Movilidad generalizada	Y.2800–Y.2899

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T Y.1281

Servicios móviles basados en el protocolo Internet por la red con conmutación por etiquetas multiprotocolo

Resumen

En esta Recomendación se define el servicio y los requisitos necesarios para soportar los servicios móviles basados en el protocolo Internet a través de la red con conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS). También se describen la arquitectura de servicio y los procedimientos de aplicación que permiten proporcionar el servicio móvil por dicha red.

Orígenes

La Recomendación UIT-T Y.1281 fue aprobada por la Comisión de Estudio 13 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8 el 13 de septiembre de 2003.

Palabras clave

Agente propio (HA, *home agent*), agente visitado (FA, *foreign agent*), calidad de servicio (QoS, *quality of service*), CR-LDP, encaminador de conmutación de etiquetas (LSR, *label switched router*), encaminador en borde de etiquetas (LER, *label edge router*), IPv4 móvil, IPv6 móvil, LDP, MPLS, optimización de ruta, protocolo de reserva de recursos-ingeniería de tráfico (RSVP, *resource reservation protocol-TE, traffic engineering*), red privada virtual (RPV), traspaso sin problemas, trayecto conmutado por etiquetas (LSP, *label switched path*), túnel IP-en-IP.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2004

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	1
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	3
4 Abreviaturas.....	5
5 Definiciones y requisitos de servicio.....	7
5.1 Definiciones de servicio	7
5.2 Requisitos de servicio.....	8
6 Arquitectura de servicio.....	9
6.1 Generalidades	9
6.2 Arquitectura de referencia	11
6.3 Casos de tunelización LSP	12
7 Procedimientos de aplicación para el soporte de movilidad.....	16
7.1 Hipótesis generales.....	16
7.2 Procedimientos de tunelización LSP	16
7.3 Descubrimiento de agente	22
7.4 Procedimientos de reencaminamiento LSP durante el proceso de traspaso...	23
8 Consideraciones relativas a la QoS.....	28
9 Aspectos de gestión	29
10 Aspectos de seguridad	29
11 Aspectos de encaminamiento	30
12 Aspectos relativos a la escalabilidad	31
13 Aspectos relativos a la migración del IPv4 móvil por MPLS al IPv6 móvil por MPLS.....	31
14 Interfuncionamiento con redes IP móviles	31
Apéndice I – Arquitecturas de referencia para las redes IPv4 e IPv6 móviles	32
I.1 Arquitectura de referencia de la red IPv4 móvil	32
I.2 Arquitectura de referencia de la red IPv6 móvil	32

Introducción

En esta Recomendación se define el servicio y los requisitos necesarios para soportar servicios móviles basados en el protocolo Internet a través de la red con conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS). También se describen la arquitectura de servicio y los procedimientos de aplicación que permiten proporcionar el servicio móvil por dicha red.

En una red móvil IP, la dirección IP de un nodo identifica inequívocamente el punto de conexión de dicho nodo. Así, un nodo móvil debe estar ubicado en la red indicada por su dirección IP a fin de poder recibir los paquetes que se le envían. De lo contrario, éstos podrían perderse. Si se quiere conservar su capacidad de comunicarse cuando el nodo móvil cambia su punto de conexión, se debe entonces cambiar también su dirección IP. La dirección IP del nodo móvil debe ser anunciada en toda la red Internet para poder recibir paquetes cuando se desplaza. El enlace de conexión de un nodo móvil suele ser de tipo inalámbrico [7].

Con el servicio móvil IP se pretende facilitar que los nodos se puedan desplazar de una subred IP a otra, siendo estos servicios adecuados para la movilidad entre medios heterogéneos. Si el nodo móvil se desplaza de un segmento LAN a otro (por ejemplo, una LAN inalámbrica), conserva su dirección IP para poder recibir paquetes desde otros nodos. De hecho, se acostumbra atribuir al nodo móvil una dirección IP cuasi permanente, denominada dirección "doméstica", en una red propia. Esta dirección se administra de la misma manera que una dirección IP "permanente" proporcionada a un nodo fijo.

Cuando un nodo móvil se encuentra fuera de su red propia, se le asigna una "dirección a cargo" que indica su punto real de conexión, y se utiliza un protocolo de tunelización para evitar que los encaminadores entre la red propia y su ubicación actual conozcan su dirección doméstica. El túnel termina en la dirección a cargo del nodo móvil [8]. Esta dirección a cargo debe ser del tipo al que se puedan entregar los paquetes a través del encaminamiento convencional IP. En esa dirección a cargo se extrae el paquete original del túnel y se entrega al nodo móvil.

Con el protocolo IPv4 móvil básico, no hay encaminamiento directo de ningún nodo correspondiente a ningún nodo móvil. Los paquetes deben pasar a través de la red propia del nodo móvil y luego ser redireccionados por su agente propio, que se conoce como el problema del "encaminamiento en triángulo". Para solucionarlo, existe la capacidad de optimización de ruta que permite el encaminamiento directo de cualquier nodo correspondiente a cualquier nodo móvil [19]. En la red IPv6, el nodo IPv6 almacena la relación entre la dirección doméstica y la dirección a cargo del nodo móvil, para luego enviar todo paquete destinado al nodo móvil directamente a su dirección a cargo. Con el fin de soportar esta función, el IPv6 móvil define un protocolo IPv6 y una opción de destino [29]. Todos los nodos IPv6, ya sean móviles o fijos, soportan las comunicaciones con los nodos móviles.

Desde el punto de vista del proveedor de servicios de red, las redes futuras se diseñan para poder soportar el funcionamiento y el mantenimiento de red, garantizando niveles de QoS aceptables y satisfaciendo diversos acuerdos de nivel de servicio (SLA) negociados con los usuarios. Con el fin de estar preparadas para los futuros modelos comerciales, las redes IP deben actualizarse de tal manera que satisfagan las demandas impuestas por las aplicaciones en tiempo real y multimedia. Por ello, proporcionan diversas características como la tolerancia de fallos, la capacidad de dar prioridad al tráfico, y diferentes clases de QoS. Para garantizar que se satisfacen estos requisitos de los servicios móviles futuros se debe, en primer lugar, tener una calidad de funcionamiento extremo a extremo que sea gestionable y se pueda predecir independientemente de si los usuarios se mueven o no. En segundo lugar, se establecen las funciones de los agentes propio y visitado para el servicio móvil IP tras considerar las consecuencias que esto implica en la arquitectura. Y por último, las tecnologías de transporte actuales y futuras, incluida la óptica, deberían ser capaces de soportar las exigencias futuras del mundo móvil.

En la red MPLS, una vez que se ha clasificado un paquete según criterios de calidad de servicio, los encaminadores de ahí en adelante no efectúan ningún otro análisis de encabezamiento: todo el reenvío se basa en etiquetas. De esta manera, se obtienen varias ventajas respecto al reenvío de capa IP convencional. El reenvío MPLS puede ser efectuado por conmutadores capaces de verificar y reemplazar etiquetas a una velocidad y una QoS adecuadas. No es necesario analizar los encabezamientos de capa IP. Algunas veces conviene forzar los paquetes a seguir un determinado camino que ha sido escogido explícitamente cuando el paquete entra a la red o antes de ello, en lugar de hacerlo mediante el algoritmo de encaminamiento dinámico normal mientras el paquete atraviesa la red. Esto se puede realizar considerándolo como un asunto de política, o en soporte a la ingeniería de tráfico MPLS. En MPLS, se puede utilizar una etiqueta para representar este camino explícito, también conocido como túnel concebido para encaminamiento de tráfico.

Cuando se trata del servicio móvil IP, el agente propio intercepta paquetes en el enlace doméstico destinados a la dirección doméstica del nodo móvil IP, los encapsula, y los tuneliza hacia la dirección a cargo registrada del nodo móvil a través del agente visitado, quien los desencapsula y entrega al nodo móvil IP.

Gracias a esta combinación de funciones de tunelización de un agente propio y un agente visitado en el paradigma de reenvío MPLS, este nodo MPLS puede manejar al nodo móvil IP asignándole etiquetas para el establecimiento de un túnel entre los agentes propio y visitado. En este caso, tanto el agente propio como el visitado pueden estar ubicados en un nodo MPLS o conectados a él, y la tunelización entre ambos puede ser proporcionada en la capa MPLS. A fin de evitar el problema del encaminamiento en triángulo, es posible permitir en los nodos MPLS una vinculación directa mediante una etiqueta, equivalente a la optimización de encaminamiento de la capa IP, desde cualquier nodo correspondiente a cualquier nodo móvil IP.

En lo que respecta al soporte de la red MPLS, ésta puede proporcionar los túneles con QoS habilitada y fiables para el servicio móvil IP para los diversos conjuntos de requisitos de servicio. Es posible implementar las capacidades de tunelización MPLS en el nivel de capa 2 en lugar del nivel de capa 3 del protocolo IP móvil, lo que permite obtener una mayor tasa de servicio y una menor tara durante la función de tunelización. En particular, la red MPLS que soporta los servicios móviles IP posee las siguientes características:

- El concepto de flujo de esta red MPLS proporciona la capacidad de canal virtual orientado a la conexión con niveles de calidad de servicio (QoS) aceptables para el retraso y pérdida de transferencia.
- Se puede establecer un túnel de conexión directa entre el nodo móvil y el nodo correspondiente aunque el protocolo IPv4 no lo soporte. De esta manera, es posible economizar recursos y reducir la tara de procesamiento del agente propio.
- En cada nodo MPLS se puede establecer una correspondencia biunívoca entre la información almacenada (caché) de vinculación del protocolo IPv6 móvil y el cuadro de información de etiquetas MPLS, sin que sea necesario utilizar ninguna característica compleja de interfuncionamiento.
- Cuando se puedan ubicar los agentes propio y/o visitado en el nodo MPLS, se puede establecer una correspondencia entre los túneles L3 entre ambos agentes y los túneles L2 de la capa MPLS.
- No es necesario que los agentes y el nodo móviles tengan conocimiento alguno de la red troncal MPLS, es decir que los nodos IPv6 e IPv4 móviles no necesitan modificar sus procedimientos de tunelización a través de dicha red.
- La red MPLS puede proporcionar conectividad continua de extremo a extremo sin que se produzca ninguna degradación de la calidad de funcionamiento durante las funciones de traspaso (traspaso sin problemas).

Recomendación UIT-T Y.1281

Servicios móviles basados en el protocolo Internet por la red con conmutación por etiquetas multiprotocolo

1 Alcance

El alcance de esta Recomendación incluye:

- Requisitos y definiciones de servicio para los servicios IPv4 e IPv6 móviles por MPLS.
- Arquitectura de servicio para el soporte del servicio móvil IP por MPLS.
- Diversas posibilidades de tunelización LSP para el soporte de servicios móviles IP por MPLS.
- Procedimientos de aplicación para el soporte de servicios móviles IP por MPLS.

No obstante, quedan fuera del alcance de esta Recomendación:

- El protocolo de señalización y los formatos de paquete detallados para el establecimiento de túneles.
- Los procedimientos de interfuncionamiento detallados entre la red móvil IP externa y la red MPLS, incluidos los parámetros de tráfico y QoS.
- Los procedimientos de correspondencia y conversión entre los túneles IP-en-IP dentro de la red móvil IP y los túneles LSP de la red MPLS.
- La cobertura de más de un dominio administrativo MPLS.
- Los procedimientos de negociación de QoS entre los nodos móviles IP y la red MPLS.
- Los algoritmos de encaminamiento de la red MPLS con soporte de movilidad.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

2.1 Referencias normativas

UIT-T

- [1] Recomendación UIT-T Y.1310 (2000), *Transporte de protocolo de Internet por modo de transferencia asíncrono en redes públicas.*
- [2] Recomendación UIT-T Y.1311 (2002), *Redes privadas virtuales basadas en red – Arquitectura y requisitos de servicio genéricos.*
- [3] Recomendación UIT-T Y.1311.1 (2001), *Red privada virtual con protocolo Internet basada en red con arquitectura de conmutación por etiquetas multiprotocolo.*
- [4] Recomendación UIT-T Y.1241 (2001), *Soporte de servicios basados en el protocolo Internet que utilizan capacidades de transferencia de protocolo Internet.*

- [5] Recomendación UIT-T Y.1401 (2000), *Requisitos generales para el interfuncionamiento con redes basadas en el protocolo Internet*.
- [6] Recomendación UIT-T Y.1540 (2002), *Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet – Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet*.
- [7] Recomendación UIT-T Y.1541 (2002), *Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet*.

IETF

- [8] L. Andersson, et. al., "*LDP Specification*", RFC 3036, enero de 2001.
- [9] C. Perkins, "*IP Mobility Support for IPv4*", RFC 3344, agosto de 2002.
- [10] C. Perkins, "*IP Encapsulation within IP*", RFC 2003, octubre de 1996.
- [11] C. Perkins, "*Minimal Encapsulation within IP*", RFC 2004, octubre de 1996.
- [12] E. Rosen, et. al., "*Multiprotocol Label Switching Architecture*", RFC 3031, enero de 2001.
- [13] D. Awduche, et. al., "*RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels*", RFC 3209, diciembre de 2001.
- [14] B. Jamoussie, et. al., "*Constraint-Based LSP Setup using LDP*", RFC 3212, enero de 2002.
- [15] S. Kent and R. Atkinson, "*Security Architecture for the Internet Protocol*", RFC 2401, noviembre de 1998.
- [16] Thomas Narten, Erik Nordmark, "*Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)*", RFC 2461, diciembre de 1998.
- [17] F. Le Faucheur, et. al., "*Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services*", RFC 3270, mayo de 2002.
- [18] P. Ashwood-Smith, et. al., "*Generalized MPLS Signaling – CR-LDP Extensions*", RFC 3472, enero de 2003.
- [19] L. Berger, et. al., "*Generalized MPLS Signaling – RSVP-TE Extensions*", RFC 3473, enero de 2003.

2.2 Referencias informativas

- [20] W. Simpson, "*IP in IP Tunneling*", RFC 1853, octubre de 1995.
- [21] S. Hanks, et. al., "*Generic Routing Encapsulation (GRE)*", RFC 1701, octubre de 1994.
- [22] S. Deering, et. al., "*ICMP Router Discovery Messages*", RFC 1256, septiembre de 1991.
- [23] E. Crawley, et. al., "*A Framework for QoS-based Routing in the Internet*", RFC 2386, agosto de 1998.
- [24] S. Blake, et. al., "*An Architecture for Differentiated Service*", RFC 2475, diciembre de 1998.
- [25] C. de Laat, et. al., "*Generic AAA Architecture*", RFC 2903, agosto de 2000.
- [26] S. Glass, et. al., "*Mobile IP Authentication, Authorization, and Accounting Requirements*", RFC 2977, octubre de 2000.
- [27] P. Ferguson and D. Senie, "*Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing*", RFC 2267, enero de 1998.
- [28] C. Perkins and Pat R. Calhoun, "*AAA Registration Keys for Mobile IP*", <draft-ietf-mobileip-aaa-key-13.txt>, junio de 2003.

- [29] David B. Johnson, et. al., "*Mobility Support in IPv6*", <draft-ietf-mobileip-ipv6-22.txt>, junio de 2003.
- [30] Thomas D. Nadeau, et. al., "*Multiprotocol Label Switching (MPLS) Management Overview*", <draft-ietf-mpls-mgmt-overview-06.txt> junio de 2003.
- [31] G. Tsirtsis, "*Fast Handovers for Mobile IPv6*", <draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-06.txt>, marzo de 2003.
- [32] E. Gustafsson, et. al., "*Mobile IPv4 Regional Registration*", <draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-07.txt>, octubre de 2002.
- [33] Pat R. Calhoun, et. al., "*Diameter Base Protocol*", <draft-ietf-aaa-diameter-17.txt>, diciembre de 2002.
- [34] Pat R. Calhoun, et. al., "*Diameter Mobile IPv4 Application*", <draft-ietf-aaa-diameter-mobileip-14.txt>, abril de 2002.

3 Términos y definiciones

En lo que respecta a los nodos IPv4 móvil, IPv6 móvil y MPLS, en esta Recomendación se definen los siguientes términos.

3.1 descubrimiento de agente: Los agentes propio y visitado pueden anunciar su disponibilidad en todos los enlaces a los que prestan servicio (es decir, mediante un anuncio de agente). Un nodo móvil que acabe de integrarse puede enviar una petición en el enlace con el fin de saber si existe algún agente disponible (es decir, a través de una petición de agente) [9].

3.2 nodo ancla: Nodo MPLS que puede cambiar el trayecto de encaminamiento siempre que se disponga de un siguiente salto de mejor calidad en algún LSR a lo largo del LSP durante el tiempo de traspaso del nodo móvil. Este nodo ancla proporciona la ubicación de transición desde el antiguo LSP hasta el nuevo, entre las ubicaciones de los nodos correspondiente y móvil nuevo.

3.3 confirmación de vinculación: Mensaje de confirmación que se utiliza para acusar recibo de una actualización de vinculación [29].

3.4 memoria caché de vinculación: Caché de vinculaciones de movilidad de los nodos, mantenido por un nodo para que sea utilizada por los paquetes que se tunelizan hacia dichos nodos móviles [29].

3.5 actualización de vinculación: Mensaje que indica la vinculación de movilidad actual de un nodo, y en particular su dirección a cargo [22].

3.6 nodo correspondiente (CN, *correspondent node*): Nodo par al que se está comunicando el nodo móvil, que puede ser móvil o fijo [9].

3.7 dirección a cargo (CoA, *care-of address*): Punto de terminación de un túnel hacia un nodo móvil, para los paquetes reenviados a éste, siempre que se encuentre fuera de su red de base. Existen dos tipos de CoA: una "dirección a cargo de agente visitado", que es una dirección de agente visitado en la que se registra el nodo móvil, y una "dirección a cargo coubicada", que es una dirección local obtenida externamente que ha sido asociada por el nodo móvil con una de sus propias interfaces de red [9]. En IPv6, de las diversas CoA que pueda tener un nodo móvil en un momento determinado (por ejemplo, con diferentes prefijos de subred), la que se haya registrado con su agente propio se considera como la CoA "primaria" [29].

3.8 agente visitado (FA, *foreign agent*): Encaminador de una red visitada por el nodo móvil que proporciona servicios de encaminamiento a éste, mientras esté registrado. El agente visitado "destuneliza" y entrega los paquetes que fueron tunelizados por el agente propio del nodo móvil [9].

- 3.9 retransmisión de clase de equivalencia (FEC, *forwarding equivalence class*):** Grupo de paquetes IP que son retransmitidos de la misma manera (por ejemplo, por el mismo trayecto, o con el mismo tratamiento de reenvío) [12].
- 3.10 agente visitado de pasarela (GFA, *gateway foreign agent*):** Agente visitado que posee una dirección IP que se puede encaminar públicamente [32].
- 3.11 pasarela LER/HA:** Una o varias LER/HA responsables de un dominio administrativo determinado (definido por el operador de red), en el que los nodos móviles registran sus direcciones a cargo actuales.
- 3.12 pasarela LER/FA:** Una o varias LER/FA responsables de un dominio administrativo determinado (definido por el operador de red).
- 3.13 dirección doméstica:** Una dirección IP atribuida a un nodo móvil, que se utiliza como dirección permanente de éste, y que se encuentra dentro del enlace doméstico de dicho nodo. Los mecanismos de encaminamiento IP estándar entregarán paquetes destinados a la dirección doméstica de un nodo móvil en su enlace doméstico [29].
- 3.14 agente propio (HA, *home agent*):** Encaminador en el enlace doméstico de un nodo móvil con el que éste ha registrado su dirección a cargo actual. Mientras que el nodo móvil esté fuera de su red de base, el agente propio intercepta los paquetes en el enlace básico destinados a la dirección doméstica del nodo móvil, los encapsula y los tuneliza hacia la dirección a cargo que haya sido registrada para el nodo móvil [29].
- 3.15 encapsulación IP-en-IP:** Para encapsular un datagrama IP utilizando encapsulación IP-en-IP, se inserta un encabezamiento IP externo antes del encabezamiento IP existente del datagrama [10], [11].
- 3.16 capa 2 (L2, *layer 2*):** Capa de protocolo por debajo de la capa 3 (y que por ende ofrece los servicios utilizados por la capa 3). El reenvío, siempre que sea realizado por el intercambio de etiquetas de longitud fija corta, ocurre en la capa 2 independientemente de si la etiqueta examinada es una VPI/VCI ATM, una DLCI de retransmisión de trama o una etiqueta MPLS [12].
- 3.17 capa 3 (L3, *layer 3*):** Capa de protocolo en la que el protocolo IP y sus protocolos de encaminamiento asociados utilizan una capa de enlace análoga a la de la capa 2 [12].
- 3.18 encaminador en borde de etiquetas (LER, *label edge router*):** Nodo MPLS que conecta un dominio MPLS con un nodo que está fuera del dominio, bien sea porque no funciona con MPLS, y/o porque está en un dominio diferente [12].
- 3.19 encaminador en borde de etiquetas/agente visitado (LER/FA, *label edge router/foreign agent*):** Nodo de borde MPLS que desempeña funciones de agente visitado. Se observa que en el IPv6 no es necesario tener agente visitado [LER en IPv6].
- 3.20 encaminador en borde de etiquetas/agente propio (LER/HA, *label edge router/home agent*):** Nodo de borde MPLS que desempeña funciones de agente propio.
- 3.21 trayecto con conmutación de etiquetas (LSP, *label switched path*):** Trayecto a través de uno o varios LER/LSR en un nivel de jerarquía seguido por paquetes de una FEC particular [12].
- 3.22 encaminador de conmutación de etiquetas (LSR, *label switching router*):** Nodo MPLS capaz de reenviar paquetes L3 nativos [12].
- 3.23 agente de movilidad:** Bien sea un agente visitado o uno propio [9].
- 3.24 vinculación de movilidad:** Asociación de una dirección doméstica con una dirección a cargo, junto con el tiempo de duración restante de dicha asociación [9].

3.25 dominio MPLS: Conjunto de nodos contiguos que utilizan encaminamiento y redireccionamiento MPLS y que también están en un dominio de encaminamiento o administrativo [12].

3.26 nodo móvil (MN, *mobile node*): Nodo que puede cambiar su punto de conexión de un enlace a otro, mientras sigue siendo localizable a través de su dirección doméstica [29].

3.27 nodo de egreso MPLS o LER de egreso: Nodo de borde MPLS que cumple la función de tratamiento de tráfico cuando sale de un dominio MPLS [12].

3.28 nodo de ingreso MPLS o LER de ingreso: Nodo de borde MPLS que cumple la tarea de tratamiento de tráfico cuando entra a un dominio MPLS [12].

3.29 nodo MPLS: Nodo en donde se está ejecutando MPLS (por ejemplo, LER y LSR). Un nodo MPLS tendrá conocimiento de los protocolos de control MPLS, utilizará uno o varios protocolos de encaminamiento L3, y será capaz de reenviar paquetes basados en etiquetas. Opcionalmente, también puede ser capaz de reenviar paquetes L3 nativos [12].

3.30 extensión de trayecto: Cuando un nodo móvil se desplaza y se registra con un nuevo agente visitado, los datagramas IP para el antiguo agente visitado se tunelizan hacia la nueva dirección a cargo del nodo móvil [29].

3.31 agente visitado regional (RFA, *regional foreign agent*): Agente visitado que puede ser el objetivo de una petición de registro regional [32].

3.32 optimización de camino: Facilita los medios para que cualquier nodo pueda mantener una conectividad de trayecto directo hacia el nodo móvil de destino. Cuando se envía un datagrama IP hacia el nodo móvil, si el remitente tiene un asiento en la memoria caché de vinculación con el nodo móvil, podrá tunelizar el datagrama directamente hacia su dirección a cargo [29].

3.33 registro regional: Un nodo móvil efectúa un registro local en el dominio visitado enviando una petición de registro regional a RFA/GFA, y recibiendo la respuesta de registro regional [32].

3.34 asociación de seguridad: "Conexión" simplex que permite la utilización de servicios de seguridad para el tráfico que conduce. Esos servicios se otorgan a una asociación de seguridad a través de la utilización de los protocolos de autenticación [29].

3.35 traspaso sin problemas: Cuando un nodo móvil se traslada de una dirección a cargo antigua hacia una nueva y se registra con un agente visitado, los datagramas IP interceptados por el agente propio tras el nuevo registro se tunelizan hacia la nueva dirección a cargo, mientras que aquellos que ya habían sido interceptados y tunelizados por el agente propio hacia la dirección a cargo antigua mientras el nodo móvil se desplazaba generalmente se pierden y se supone que deben ser retransmitidos por los protocolos de alto nivel, si fuera necesario. El antiguo agente visitado podría borrar el asiento en el registro de visitas para el nodo móvil tras la expiración de la duración del registro. La capacidad de transferencia sin problemas proporciona los medios para que el antiguo agente visitado sea informado con fiabilidad de la nueva vinculación de movilidad del nodo móvil, permitiendo así que los datagramas en curso hacia la antigua dirección a cargo sean reenviados hacia la nueva dirección a cargo [29].

3.36 encaminamiento en triángulo: Una situación en la cual un nodo correspondiente envía paquetes hacia un nodo móvil siguiendo un trayecto más largo que el óptimo al ser necesario su reenvío a través de un agente propio [29].

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

AP Punto de acceso (*access point*)

ARP Protocolo de resolución de dirección (*address resolution protocol*)

BA	Agrupación por comportamiento (<i>behaviour aggregate</i>)
CoA	Dirección a cargo (<i>care-of address</i>)
CN	Nodo correspondiente (<i>correspondent node</i>)
CR-LDP	Protocolo de distribución por etiqueta con restricciones (<i>constraint-based label distribution protocol</i>)
DHCP	Protocolo dinámico de configuración de anfitrión (<i>dynamic host configuration protocol</i>)
DiffServ	Servicio diferenciado (<i>differential service</i>)
DLCI	Identificador de conexión de enlace de datos (<i>data link connection identifier</i>)
DNS	Servicio de nombre de dominio (<i>domain name service</i>)
DSCP	Punto de código de servicio diferenciado (<i>diffserv code point</i>)
FA	Agente visitado (<i>foreign agent</i>)
FEC	Retransmisión de clase de equivalencia (<i>forwarding equivalence class</i>)
FIB	Retransmisión de base de información (<i>forwarding information base</i>)
GFA	Agente visitado de pasarela (<i>gateway foreign agent</i>)
HA	Agente propio (<i>home agent</i>)
ICMP	Protocolo de mensaje de control de Internet (<i>Internet control message protocol</i>)
IPv4	Protocolo Internet Versión 4 (<i>Internet protocol version 4</i>)
IPv6	Protocolo Internet Versión 6 (<i>Internet protocol version 6</i>)
L2	Capa 2 (<i>layer 2</i>)
L3	Capa 3 (<i>layer 3</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LDP	Protocolo de distribución de etiquetas (<i>label distribution protocol</i>)
LER	Encaminador en borde de etiquetas (<i>label edge router</i>)
LER/FA	Encaminador en borde de etiquetas/agente visitado (<i>label edge router/foreign agent</i>)
LER/HA	Encaminador en borde de etiquetas/agente propio (<i>label edge router/home agent</i>)
LIB	Base de información de etiquetas (<i>label information base</i>)
LSP	Trayecto conmutado por etiquetas (<i>label switched path</i>)
LSR	Encaminador de conmutación de etiquetas (<i>label switching router</i>)
MIPv4oMPLS	IPv4 móvil por MPLS (<i>mobile IPv4 over MPLS</i>)
MIPv6oMPLS	IPv6 móvil por MPLS (<i>mobile IPv6 over MPLS</i>)
MN	Nodo móvil (<i>mobile node</i>)
MPLS	Conmutación por etiquetas multiprotocolo (<i>multiprotocol label switching</i>)
NNI	Interfaz de nodo de red (<i>network node interface</i>)
PHB	Comportamiento por salto (<i>per hop behaviour</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RFA	Agente visitado regional (<i>regional foreign agent</i>)

Resv	Reservado (<i>reserved</i>)
RPV	Red privada virtual
RSVP-TE	Protocolo de reservación de recursos – ingeniería de tráfico (<i>resource reservation protocol – traffic engineering</i>)
SLA	Acuerdo de nivel de servicio (<i>service level agreement</i>)
SNMP	Protocolo simple de gestión de red (<i>simple network management protocol</i>)
TCP	Protocolo de control de transmisión (<i>transmission control protocol</i>)
TLV	Tipo, longitud y valor (<i>type, length, and value</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user network interface</i>)
VPI/VCI	Identificador de trayecto virtual/identificador de canal virtual (<i>virtual path identifier/virtual channel identifier</i>)

5 Definiciones y requisitos de servicio

5.1 Definiciones de servicio

5.1.1 Servicio MIPv4 por MPLS (MIPv4oMPLS)

Es necesario que un nodo móvil que utilice el protocolo IPv4 pueda comunicarse con otros nodos conectados a las otras partes de conexión de la red MPLS y cambiar el punto de conexión de capa de enlace en dicha red, sin que sea necesario modificar su dirección IP. Mientras cambia su punto de conexión, un nodo móvil no debe perder su capacidad de comunicarse con los demás nodos.

El servicio IPv4 móvil por MPLS está destinado a facilitar que los nodos se muevan desde un dominio MPLS a otro y, por lo tanto, es adecuado para la movilidad a través de diversos dominios MPLS. En lo que respecta a la gestión del traspaso entre dominios MPLS, hay que decir que mientras el movimiento no se presente entre puntos de conexión de diferentes dominios MPLS, los mecanismos de movilidad de la capa 2 (es decir, el traspaso a nivel de capa de enlace) pueden ofrecer una convergencia más rápida y una menor tara que aquéllos pertinentes al IP móvil. El servicio MobileIPv4 por MPLS permite que haya LSP entre diferentes subredes IP móviles.

En las aplicaciones del MPLS relativas a la ingeniería de tráfico, conviene establecer un trayecto explícitamente encaminado desde el LER de ingreso hasta el de egreso. Asimismo, conviene aplicar la reservación de recursos a lo largo de dicho LSP.

5.1.2 Servicio MIPv6 por MPLS (MIPv6oMPLS)

En el IPv6 móvil, se incorpora la optimización de ruta como parte fundamental del protocolo. Esta capacidad permite el encaminamiento directo desde cualquier nodo correspondiente hasta cualquier nodo móvil, sin que sea necesario pasar a través de la red propia del nodo móvil ni que su agente propio reenvíe el tráfico, y por consiguiente elimina el problema del "encaminamiento en triángulo" propio del protocolo móvil IPv4. Estas funciones de registro y optimización de ruta se realizan mediante un mismo protocolo en lugar de utilizar dos separados como en el IPv4 móvil. Es posible proporcionar segura y efectivamente estas funciones en la red MPLS. Se pueden establecer dos LSP del nodo móvil al agente propio (para registro) y al nodo correspondiente (para optimización de ruta), respectivamente.

Mientras un nodo móvil se encuentre fuera de su red propia, su agente propio intercepta todo paquete que llegue a ésta, utilizando el procedimiento de verificación de vecinos de IPv6 similar al utilizado por IPv4 móvil. Esta característica permite mejorar la robustez del protocolo IP móvil y lo

hace independiente de cualquier capa de enlace particular, lo que no ocurre con el protocolo IPv4 (que utiliza ARP).

Cuando el nodo móvil se encuentra fuera de su red propia, registra su dirección a cargo con su agente propio. La asociación entre la dirección a cargo y la dirección propia se denomina "vínculo" del nodo móvil. El nodo móvil ejecuta su registro de vinculación enviando un mensaje "actualización de vinculación" al agente propio. De esta manera se puede verificar si un nodo móvil está disponible en su dirección propia o en su dirección a cargo. Al enviar un paquete a cualquier destino IPv6, un nodo verifica si existe alguna vinculación cache con una entrada a la dirección de destino del paquete, en cuyo caso utiliza un nuevo tipo de encabezamiento de encaminamiento IPv6. Es posible fijar el LSP entre el nodo correspondiente y la dirección a cargo del nodo móvil junto con su vinculación cache mediante la reservación del ancho de banda necesario.

5.2 Requisitos de servicio

5.2.1 Requisitos generales

Para soportar los servicios IPv4 e IPv6 móviles, la red MPLS satisface los siguientes requisitos generales:

- La ubicación de los nodos móviles se registra en la pasarela LER/HA.
- El LER o el LER/FA mantiene la información de los nodos móviles como el punto extremo de túnel LSP, en el que se efectúa la encapsulación o desencapsulación de los paquetes con la información de encabezamiento de etiqueta.
- Se puede añadir una función de filtrado en el LER de ingreso [27] para proporcionar mayor seguridad.
- Se suministra un trayecto con conmutación de etiquetas que tenga el nivel solicitado de QoS, si lo hubiere, entre los LER de ingreso y egreso.
- Se requiere una interrupción mínima de servicio durante el tiempo de traspaso, y se debe mantener el nivel de QoS negociado en esta operación.

5.2.2 Requisitos de MIPv4oMPLS

• Requisitos de conectividad

Es necesario que un nodo móvil sea capaz también de comunicarse con otros nodos tras cambiar su punto de conexión de capa de enlace a la red MPLS, incluso sin haber cambiado su dirección IP doméstica. Durante el traspaso, se logra la conectividad sin interrupciones mediante la obtención de la dirección a cargo del nodo móvil en la ubicación visitada.

• Requisitos para el descubrimiento de agente

Agentes móviles (es decir, agentes propios y visitados) anuncian su presencia a través de mensajes de anuncio de agente. Facultativamente, un nodo móvil puede solicitar el anuncio de un agente de los agentes móviles conectados localmente.

• Requisitos para la gestión y registro de ubicación

Cuando un nodo móvil detecta que está ubicado en una ubicación visitada, obtiene una dirección a cargo y hace funcionar sus servicios móviles registrándose con su agente propio. Tras retornar a su ubicación propia, anula dicho registro y el nodo MPLS actualiza el cuadro caché de etiquetas correspondiente.

• Requisitos de encaminamiento

No se imponen requisitos adicionales de encaminamiento a la red MPLS. Siempre que un nodo móvil se encuentre fuera de su ubicación de base, es posible utilizar optimización de ruta mediante una conexión directa de un LSP entre el nodo móvil y el nodo correspondiente, de tal manera que se evite el encaminamiento en triángulo.

- *Requisitos de seguridad*

El entorno de redes móviles puede ser bien diferente del de redes fijas. En muchos casos, los nodos móviles se pueden conectar a la red a través de enlaces inalámbricos, en cuyo caso los LSP, son muy vulnerables a las escuchas ilícitas pasivas, a los ataques por reproducción activos y a otros ataques activos.

Es necesario que tanto los agentes propios como los nodos móviles puedan realizar el proceso de autenticación.

5.2.3 Requisitos de MIPv6oMPLS

- *Requisitos del protocolo IPv6 móvil*

Siempre que se encuentre fuera de su red propia, se asocia a un nodo IPv6 móvil con una dirección a cargo coubicada, que proporciona información acerca de la ubicación actual del nodo móvil. Los paquetes IPv6 dirigidos a la dirección doméstica del nodo se encaminan transparentemente hacia su dirección a cargo coubicada.

- *Requisitos de optimización de camino (o actualización de vínculos)*

Gracias al protocolo IPv6 móvil los nodos IPv6 pueden almacenar en la memoria cache la vinculación de sus direcciones doméstica y a cargo, permitiendo así que se envíen los paquetes destinados al nodo móvil directamente a su dirección a cargo. Los LSP se establecen directamente entre el nodo móvil y el nodo correspondiente gracias a la información de vinculación cache.

6 Arquitectura de servicio

6.1 Generalidades

6.1.1 Introducción

La red troncal MPLS puede constituirse en la red IP móvil a gran escala. Es posible que un nodo móvil se comunique con cualquier otro nodo fijo o móvil a través del encaminador en borde de etiquetas (LER, *label edge router*), que es capaz de reenviar los paquetes IP gracias a un proceso de encapsulamiento. El paquete que tiene codificación de etiqueta viaja a través de una determinada ruta en la red MPLS gracias a que se utiliza una etiqueta para representar la ruta explícita, la cual se codifica tras una clasificación pertinente que depende de la calidad de servicio (QoS, *quality of service*). Define la señalización MPLS basada en normas (por ejemplo, el protocolo de distribución de etiquetas) para soportar el interfuncionamiento entre equipos de distintos fabricantes. De esta manera, la red MPLS ofrece beneficios importantes a una red IP orientada a la conexión.

La lógica de reenvío de la red MPLS se basa en el algoritmo de transposición de etiquetas. El encabezamiento MPLS permite que cualquier tecnología de capa de enlace transporte una etiqueta MPLS, permitiendo así que se pueda beneficiar de la transposición de etiquetas en un LSP.

A diferencia de los encaminadores normales, el LSR de la MPLS establece un trayecto entre los puntos extremos de una conexión en una red y envía los paquetes por dicho trayecto. Este LSP es aún una conexión virtual, que comparte el ancho de banda del circuito físico. En contraposición al encaminamiento sin conexión, los LSR pueden definir los parámetros de una conexión virtual, incluidos la velocidad y prioridad permitidas, algo que es fundamental a la capacidad de los LSR para gestionar el ancho de banda y la QoS. El encabezamiento MPLS cumple los objetivos originales de la identificación de flujo. El MPLS hace posible que a partir de la etiqueta se infiera completa o parcialmente la precedencia o clase de servicio, en cuyo caso se puede decir que la etiqueta representa la combinación de una FEC, una precedencia y/o una clase de servicio.

En el entorno DiffServ todos los paquetes IP que pasan por un enlace y requieren el mismo comportamiento DiffServ se denominan agrupación por comportamiento (BA, *behaviour aggregate*). Los paquetes se clasifican y marcan en el nodo de ingreso del entorno DiffServ con un

punto de código de servicio diferenciado (DSCP, *diffserv code point*), que corresponde a su agrupación de agrupamiento. En cada nodo de tránsito, se utiliza el DSCP para escoger el comportamiento por salto (PHB, *per hop behaviour*) que determina cómo se efectúa la programación y, en algunos casos, la probabilidad de descarte de cada paquete. Esto permite a la red MPLS seleccionar la correspondencia entre las BA del DiffServ y los trayectos conmutados por etiquetas (LSP, *label switched paths*), de tal manera que se puedan cumplir los objetivos de DiffServ, ingeniería de tráfico y protección dentro de una determinada red.

Para poder prestar el servicio móvil, es necesario que en la red MPLS haya tanto un agente visitado como uno propio. Al combinar o mezclar las funciones de ambos agentes en el nodo MPLS, esta red puede hacerse cargo de un nodo móvil. Los agentes propio y/o visitado se pueden ubicar en los nodos MPLS que se denominan LER/HA y LER/FA. Los paquetes interceptados por el LER/HA se encapsulan mediante una etiqueta y se tunelizan hacia la ubicación actual del nodo móvil vía un LER/FA. Se utiliza el LSP entre el agente propio y el visitado como túnel con calidad de servicio. Ambos protocolos de señalización MPLS, el CR-LDP y el RSVP-TE, se pueden utilizar para establecer dicho túnel entre los agentes móviles (es decir, el propio y el visitado) a través de la red MPLS. Los túneles IP-en-IP entre ambos agentes se fusionan en uno o varios LSP en la red MPLS [10], [11]. A fin de evitar el problema del encaminamiento en triángulo tan propio del protocolo IPv4 móvil nativo, se puede establecer un LSP directo desde cualquier nodo correspondiente hasta cualquier nodo móvil. Si un nodo móvil se desplaza hacia una región vecina, se extienden los LSP existentes sin que sea necesario interrumpir el servicio ya que es posible aplicar un traspaso progresivo. Asimismo, se pueden utilizar los procedimientos de reencaminamiento de trayecto para evitar dicho problema y disponer de un camino más corto de conexión.

Existen cuatro tipos de tunelización LSP útiles para establecer el LSP entre el nodo correspondiente y el nodo móvil, a saber:

- En el escenario 1 (tunelización IPv4 basada en MPLS), se aplican los servicios del IPv4 móvil básico por la red MPLS estableciendo el LSP entre el nodo correspondiente y el nodo móvil. Se trata de una ampliación natural del protocolo IPv4 móvil existente a través del agente propio. El LER de ingreso intercepta los paquetes entrantes que han de ser reenviados hacia el nodo móvil a través del LER/HA y el LER/FA de egreso. En este caso, son necesarios dos LSP entre el LER de ingreso y el LER/HA, y entre el LER/HA y el LER/FA de egreso, respectivamente.
- En el escenario 2 (optimización de ruta del IPv4 móvil basado en la red MPLS) se aplica la optimización de ruta a través de la red MPLS a fin de evitar el problema de encaminamiento en triángulo del protocolo IPv4 móvil. Se utiliza un LSP directo entre el LER de ingreso y el LER/FA de egreso sin que sea necesario el encaminamiento a través del agente propio.
- En el escenario 3 (actualización de vinculación de IPv6 móvil basado en MPLS) se aplica el procedimiento de actualización de vinculación del protocolo IPv6 móvil para almacenar en caché la información de vinculación de la dirección doméstica del nodo móvil con su dirección a cargo correspondiente. En este caso no se necesitan los agentes visitados, tal como ocurre con el IPv4 móvil. Los LSP entre el LER de ingreso y el LER de egreso entregan transparentemente los paquetes al nodo móvil.
- En el escenario 4 (tunelización IP móvil jerárquica basada en MPLS) se aplica el protocolo IPv4 o IPv6 móvil jerárquico por la red MPLS. Los agentes móviles pertinentes se ubican en los nodos MPLS jerárquicos. En este caso se efectúa el registro regional localmente, por ejemplo, FA regional y FA de pasarela. De haber traspaso, ambos FA asumen el papel de nodo ancla para el reencaminamiento LSP en una zona visitada.

En 6.3 se proporcionan más detalles al respecto.

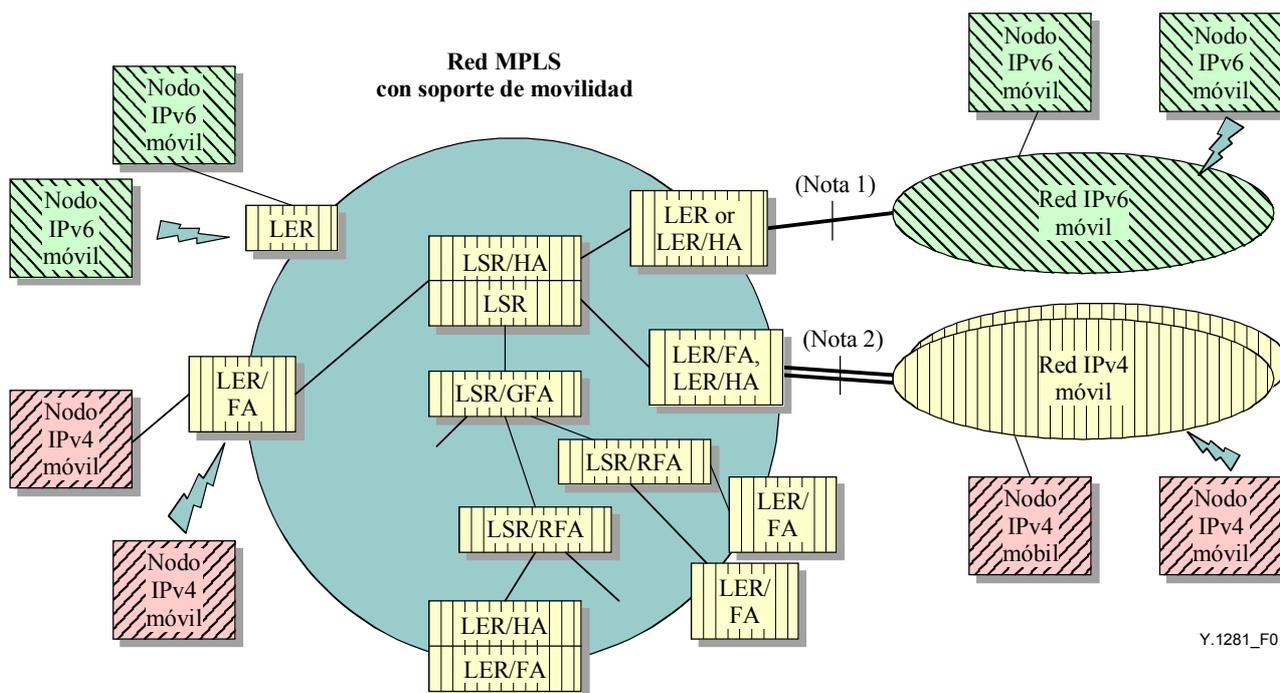
6.1.2 Hipótesis

- Se trata de un solo dominio administrativo MPLS. Las redes MPLS entre dominios que conectan diferentes operadores de red están fuera del alcance de esta Recomendación.
- No existen otros requisitos en la red MPLS para el soporte de las características de los protocolos IPv4 e IPv6 móviles, como por ejemplo descubrimiento de agente y gestión de ubicación.
- Todos los nodos móviles están conectados directamente a los LER/FA. Si una o varias redes IP móviles están conectadas a un LER/FA en el que varios HA y FA constan de una sola red IP móvil, se simulan los enlaces al LER/FA como una interfaz directa desde un nodo móvil. En este caso, el LER/FA puede ser un encaminador de pasarela externo del nodo de la red IP móvil conectada para efectuar la comunicación con el mundo exterior.
- A fin de poder identificar los nodos móviles visitantes, los LER funcionan como agente visitado. En el caso del IPv6 móvil por MLPS, puede ocurrir también que el LER cumpla la función de filtrado al ingreso. El agente propio puede estar ubicado en los nodos LER o LSR dependiendo de la cobertura de la dirección doméstica del IP móvil.
- El proceso de reenvío en la red MPLS se basa en el datagrama de tráfico IP (el tráfico UDP) así como en el tráfico IP del tipo tren (el tráfico TCP).
- Tanto el LER/HA como el LER/FA deben soportar las asociaciones de seguridad.

6.2 Arquitectura de referencia

En la figura 1 se presenta el modelo de referencia de la red MPLS necesario para soportar los servicios IPv4 e IPv6 móviles.

En esta figura, el HA está ubicado en el LER o en el LSR, mientras que el FA está ubicado solamente en el LER. Además, el GFA y el RFA en la red MLPS jerárquica están ubicados en el LSR. No obstante, no existe FA para el caso de la red IPv6.



NOTA 1 – Esta interfaz emula los nodos IPv6 móviles. El LER, que funciona como un encaminador de pasarela de frontera, se encarga de la red IPv6 móvil conectada.

NOTA 2 – Esta interfaz emula los nodos IPv4 móviles. El LER, que funciona como un encaminador de pasarela de frontera, se encarga de la red IPv4 móvil conectada.

Figura 1/Y.1281 – Arquitectura de referencia de la red MPLS con soporte de movilidad

NOTA – El interfuncionamiento entre las redes IP móviles y la red MPLS está fuera del alcance de esta Recomendación. En el apéndice I se presentan las arquitecturas de referencia para IPv6 e IPv4 móviles.

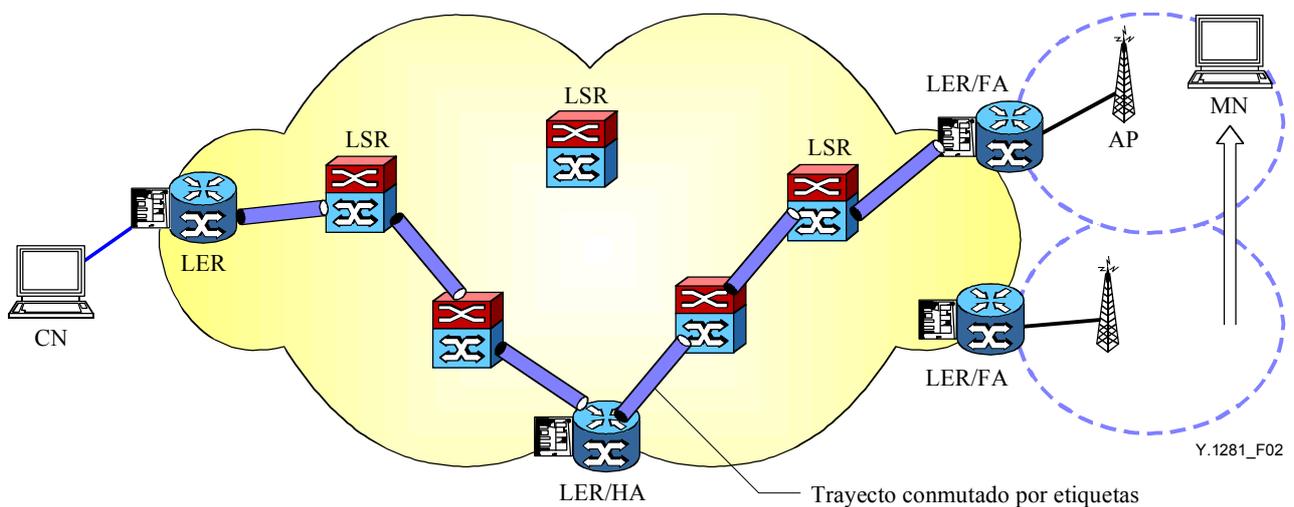
6.3 Casos de tunelización LSP

6.3.1 Tunelización IPv4 móvil basada en MPLS

Se trata del mecanismo de tunelización MPLS necesario para soportar el servicio IPv4 móvil. Mientras que el nodo móvil se mueve hacia una zona externa, el LER/HA intercepta los paquetes que tienen la dirección IP doméstica del nodo móvil y los redirige hacia el LER/FA de la zona que está visitando el nodo móvil. El LSP proporciona los túneles de la capa 2 sin que haya necesidad de encapsulación IP-en-IP [10], [11]. Se observa que el túnel IP-en-IP utiliza las capacidades de reenvío de la capa 3. El LER de ingreso reenvía los paquetes IP hacia el agente propio en el LER/FA de egreso del nodo móvil visitado. Todo el proceso de reenvío se efectúa en la capa MPLS.

Como el encabezamiento de etiqueta es mucho menor que el de la encapsulación IP, también se reduce la tara de tunelización desde el agente propio hacia el visitado. Más aún, se podría establecer un LSP que satisfaga los requisitos de calidad de servicio (QoS) e ingeniería de tráfico, con CR-LDP o RSVP-TE.

En la figura 2 se muestra el escenario de tunelización del IPv4 móvil basado en MPLS, en el que un LER/HA intercepta los paquetes y los reenvía hacia el nodo móvil.



- LER Encaminador en borde de etiquetas
- LSR Encaminador de conmutación de etiquetas
- HA Agente propio
- FA Agente visitado
- MN Nodo móvil
- AP Punto de acceso
- CN Nodo correspondiente

Figura 2/Y.1281 – Escenario de tunelización IPv4 móvil basado en MPLS

En este escenario, se pueden ubicar todos los agentes propios y visitados en los LER. Es posible establecer los LSP de la misma manera que se establecen "túneles" entre los agentes propio y visitado. Además, para el IPv4 móvil éstos pueden ser los trayectos IP/QoS-habilitada gracias a la utilización de encaminamiento y señalización con restricciones.

6.3.2 Escenario de optimización de camino con IPv4 móvil basado en MPLS

En este escenario, se recalculan los trayectos de reenvío de datos desde el LER de ingreso hasta el LER de egreso tras el procedimiento de descubrimiento. Cuando el trayecto de encaminamiento sea mucho más largo que el trayecto óptimo después del traspaso, se activa el procedimiento de optimización de ruta. Este último se aplica solamente dentro de la red MPLS, en el cual los puntos de extremo de tunelización son el LER de ingreso y el LER/FA de egreso. Se han de actualizar los asientos de reenvío de etiqueta tanto en el LER de ingreso como en el LER de egreso tras haber efectuado la optimización de ruta. No es necesario actualizar el caché de vinculación del nodo correspondiente. Los trayectos de reenvío desde el LER de ingreso se conectan al LER/FA de egreso, resolviendo así el problema del encaminamiento en triángulo. El LER de ingreso determina el trayecto de reenvío mediante un proceso de consulta, a fin de encontrar los puntos extremos de destino del túnel, es decir, el LER/FA de destino. Los paquetes entrantes en el LER de ingreso buscan el LSP de salida en el cuadro de información de etiquetas del LER, es decir: cuando se encuentra el asiento de reenvío de etiqueta adecuado, se envían los paquetes hacia el LER de egreso utilizando el trayecto explícito de encaminamiento. De lo contrario, se envían los paquetes al LER de egreso utilizando el trayecto encaminado explícitamente. Si no se encuentra el asiento, los paquetes se envían al agente propio empleando el trayecto encaminado salto por salto.

En la figura 3 se muestra el escenario de optimización de ruta de IPv4 móvil basado en MPLS.

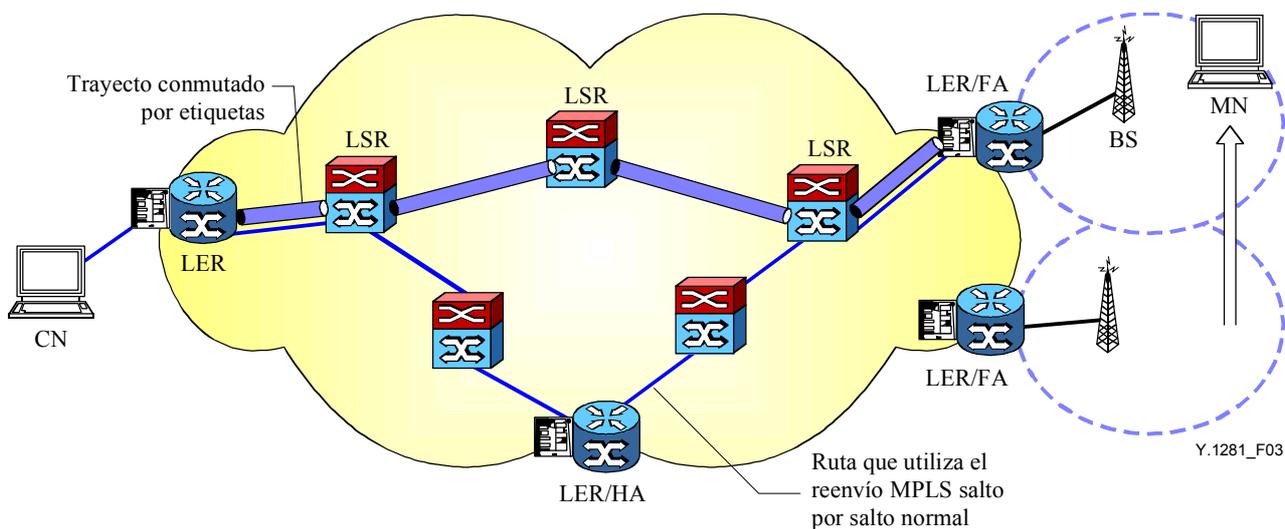


Figura 3/Y.1281 – Escenario de optimización de ruta de IPv4 móvil basado en MPLS

6.3.3 Escenario de actualización de vinculación de IPv6 móvil basado en MPLS

En este escenario, se establece el trayecto de reenvío directo desde el LER de ingreso hasta el LER de egreso tras el procedimiento de actualización de vinculación IPv6, como ocurre en el escenario de la optimización de encaminamiento IPv4 móvil, salvo que, en primer lugar, el procedimiento de actualización de vinculación del IPv6 móvil es una parte fundamental del funcionamiento del protocolo, mientras que la optimización de ruta en el IPv4 móvil es un conjunto facultativo de extensiones en dicho protocolo. En el IPv6 móvil, el procedimiento de registro y el de optimización de ruta se efectúan mediante una sola entidad de protocolo. De otra parte, no hay LER/FA en el IPv6 puesto que los nodos IPv6 móviles sólo utilizan la dirección a cargo coubicada. En su lugar, el LER efectúa el filtrado de ingreso [27]. Un nodo móvil IPv6 utiliza su dirección a cargo como la dirección fuente en el encabezamiento de los paquetes IP que envía, permitiendo así que éstos pasen a través de los encaminadores de filtrado de ingreso. Al utilizar la dirección a cargo como dirección fuente en cada encabezamiento IPv6 se simplifica el encaminamiento, permitiendo así establecer trayectos conmutados por etiquetas hacia un nodo móvil.

En la figura 4 se muestra el escenario de actualización de vinculación de IPv6 móvil basado en MPLS.

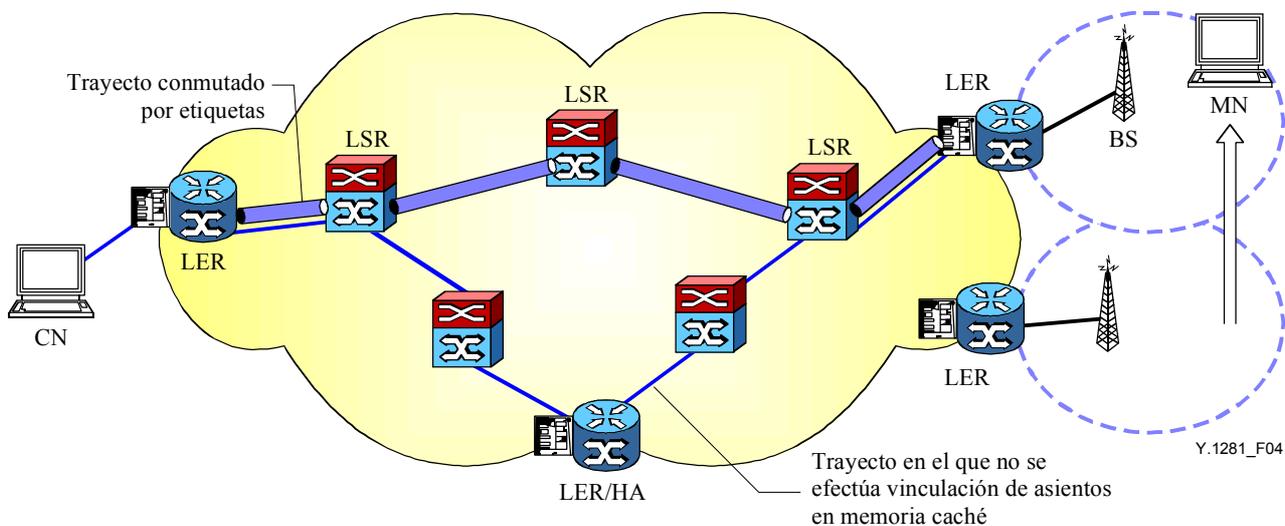


Figura 4/Y.1281 – Escenario de actualización de vinculación de IPv6 móvil basado en MPLS

6.3.4 Escenario de tunelización de IP móvil jerárquico basado en MPLS

En este escenario, se trata de los servicios móviles IPv4 o IPv6 por la red MPLS jerárquica. Se supone que hay varios agentes visitados, como el agente visitado de pasarela (GFA, *gateway foreign agent*) y el agente visitado regional (RFA, *regional foreign agent*) jerarquizados y que pueden ubicarse en los LER o en los LSR. Dichos agentes visitados soportan el registro regional con asociaciones de seguridad. Obsérvese que siempre que el nodo móvil se desplace a una subred adyacente, se debe actualizar su ubicación en el agente propio. Se establecen o extienden los trayectos conmutados por etiquetas desde el agente propio hasta el nuevo agente visitado.

A medida que se incrementa el tamaño de la red, puede ocurrir que la latencia de traspaso sea importante. La tunelización móvil jerárquica permite que un nodo móvil efectúe el registro localmente, a fin de reducir la cantidad de mensajes de registro que se envían al agente propio. De esta manera disminuye el retardo de señalización que se presenta mientras el nodo móvil se desplaza hacia el nuevo agente visitado y, por ende, se mejora el funcionamiento durante el tiempo de traspaso.

En esta arquitectura de red, los agentes de movilidad jerárquica permiten una gestión de ubicación sin problemas al tiempo que se mantienen las sesiones en curso y se maximiza el flujo de datos. Los agentes visitados manejan los movimientos locales de los nodos móviles dentro del dominio.

En la figura 5 se presenta el escenario de la tunelización de IP móvil jerárquico.

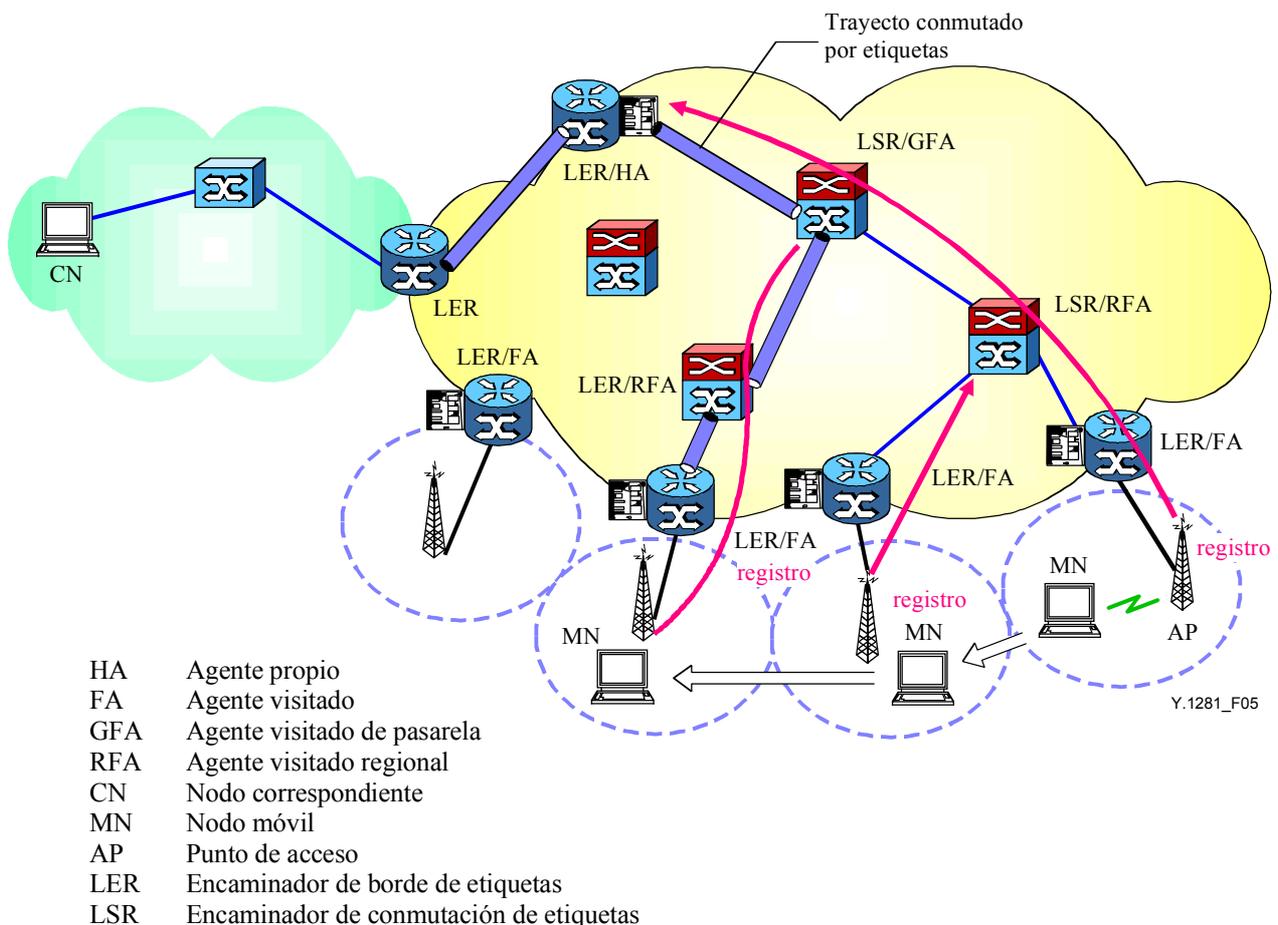


Figura 5/Y.1281 – Escenario de tunelización en IP móvil jerárquico basado en MPLS

7 Procedimientos de aplicación para el soporte de movilidad

7.1 Hipótesis generales

El soporte de la movilidad en la red MPLS se centra en los procedimientos de control como registro, establecimiento de LSP y extensión de LSP para el traspaso, etc.

Se necesitan los túneles LSP a fin de poder enviar paquetes del IP móvil a través de la red MPLS. Se utilizan los protocolos de señalización CR-LDP o RSVP-TE MPLS para establecer dichos túneles con los niveles de QoS adecuados. Las ubicaciones de los agentes propio y visitado se pueden encontrar mediante los procedimientos de registro y descubrimiento de agente del protocolo IP móvil.

Los trayectos conmutados por etiquetas entre los LER de ingreso y egreso se establecen con señalización CR-LDP o RSVP-TE.

Según el tipo de aplicación, los LSP bidireccionales presentan algunas ventajas en lo que respecta a una menor latencia de establecimiento y una menor cantidad de mensajes requeridos durante este proceso.

7.2 Procedimientos de tunelización LSP

7.2.1 Procedimientos del IPv4 móvil basado en MPLS

En este escenario, puede haber túneles LSP:

- entre el LER de ingreso y el agente propio;
- entre el agente propio y el LER/FA de egreso.

En la figura 6 se presentan los procedimientos utilizados para el servicio IPv4 móvil en el escenario de tunelización MPLS.

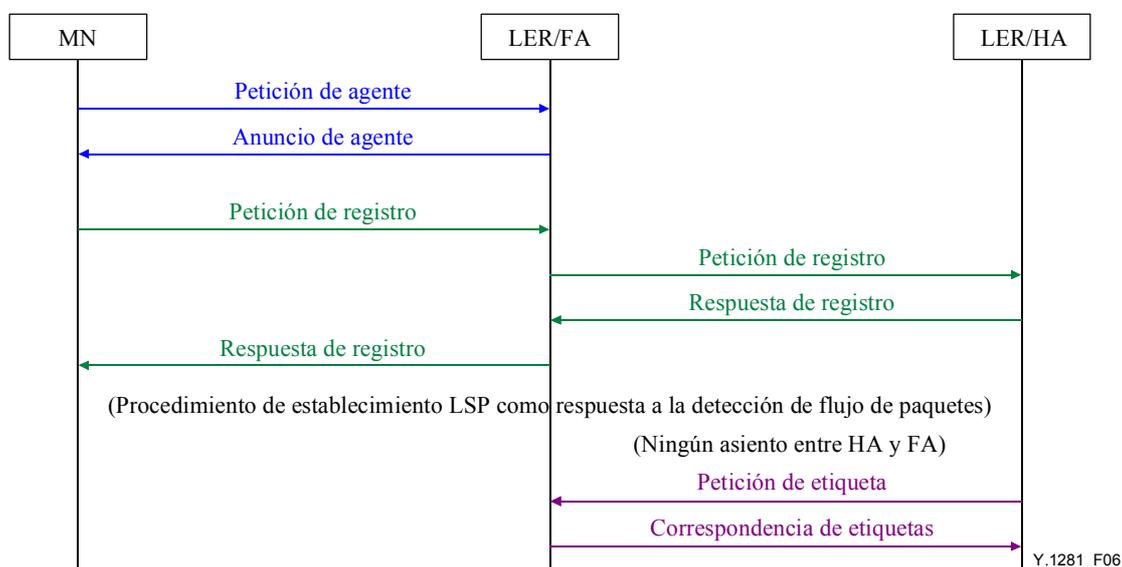


Figura 6/Y.1281 – Procedimientos para el servicio IPv4 móvil en el escenario de tunelización MPLS

En este escenario, el nodo móvil determina si está en una ubicación propia o visitada al recibir el mensaje de anuncio de agente difundido por los agentes de movilidad. Si se trata de una ubicación visitada, el nodo móvil adquiere una dirección temporal a cargo del agente visitado. Como el agente visitado está en un LER de borde, analizará el mensaje de petición de registro entrante y actualizará su cuadro de información de etiqueta con el valor de la dirección doméstica del nodo móvil.

Basándose en este cuadro, el agente visitado reenvía el mensaje de petición de registro hacia el agente propio.

El mensaje de petición de registro se reenvía hacia el agente propio mediante un encaminamiento salto por salto. Al recibirlo y enterarse de la dirección a cargo del nodo móvil, el agente propio envía un mensaje de respuesta de registro al nodo móvil vía el agente visitado. Luego, de no haber un LSP entre el agente propio y el agente visitado (no es necesaria ninguna acción si ya la hay), el agente propio envía un mensaje de petición de etiqueta/trayecto al agente visitado. Éste responde con un mensaje correspondencia de etiqueta/Resv, que al llegar al agente propio hace que se establezca el LSP. De esta manera, el agente propio puede retransmitir los paquetes destinados a la dirección doméstica del nodo móvil hacia su ubicación actual en la red visitada.

Si un agente visitado recibe paquetes en el LSP, guarda el número de puerto entrante, el valor de etiqueta y la dirección IP del nodo correspondiente del paquete y, entonces, envía los paquetes del usuario a través del LSP del nodo móvil al nodo correspondiente.

Los paquetes que van desde el nodo correspondiente hacia el nodo móvil se direccionan hacia la dirección doméstica de este último. Si el nodo móvil se encuentra en una red visitada, el agente propio intercepta los paquetes. Este último utiliza el valor de la etiqueta entrante como un índice para examinar su cuadro de información de etiquetas; inserta el valor de etiqueta en dicho cuadro en el paquete y lo envía a través del puerto indicado en el cuadro. Si el nodo móvil se encuentra aún en su red propia, no habrá ningún asiento disponible en el cuadro.

7.2.2 Procedimientos de optimización de camino IPv4 móvil basado en MPLS

Este escenario se utiliza para resolver el problema del IPv4 móvil: el encaminamiento en triángulo de todos los trayectos a través del agente propio. El trayecto de reenvío del LER de ingreso se conecta al LER/FA de egreso sin que sea necesario visitar el agente propio. En este caso, se recalculan los trayectos de reenvío de datos desde el LER de ingreso hasta el LER de egreso mediante el procedimiento de descubrimiento de caminos. El proceso de optimización de rutas se aplica solamente en la red MPLS, en la que los puntos extremos de tunelización son el LER de ingreso y el LER/FA de egreso. Siempre que un nodo correspondiente envíe paquetes a un nodo móvil ubicado en la zona visitada, el LER de ingreso tendrá que escoger el trayecto de reenvío pertinente con arreglo a la información de encaminamiento.

En este escenario, pueden existir túneles LSP:

- entre el LER de ingreso y el LER/FA de egreso;
- entre el antiguo y el nuevo agente visitado (solamente para el caso de extensión del LSP).

En la figura 7 se presentan los procedimientos de optimización de ruta para el escenario de servicio IPv4 móvil por tunelización MPLS.

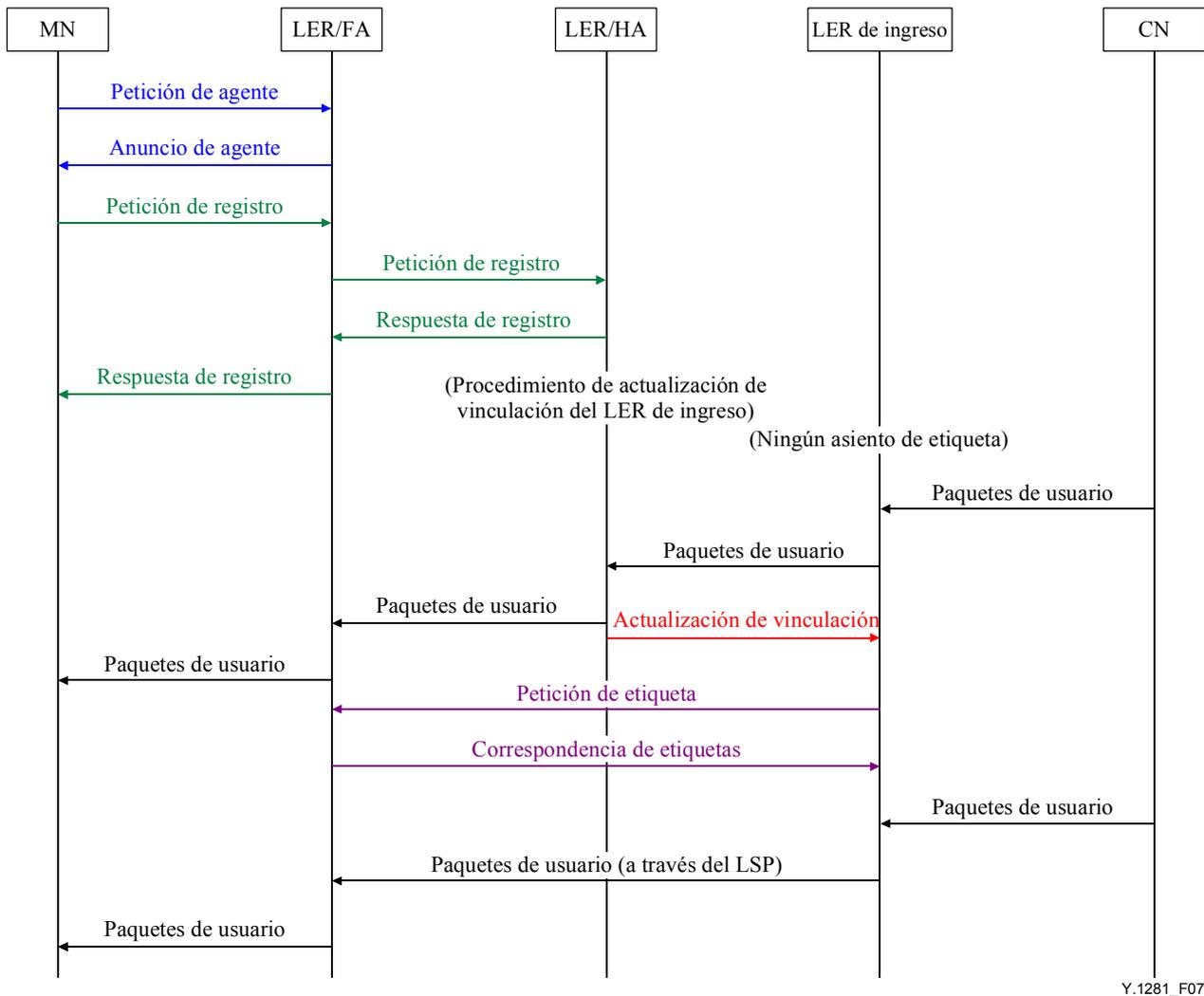


Figura 7/Y.1281 – Procedimientos de optimización de ruta para el escenario de servicio IPv4 móvil por tunelización MPLS

Cuando un agente propio del nodo móvil intercepta un paquete proveniente de la red propia y lo envía por un túnel hasta el nodo móvil, envía también un mensaje de actualización de vinculación al LER de ingreso del nodo correspondiente, informándole de la vinculación de movilidad actual del nodo móvil. Se puede definir el procedimiento de actualización de vinculación del IPv4 móvil de la misma manera que en el IPv6 móvil [29]. Tal como ocurre con un mensaje de actualización de vinculación enviado por el agente propio del nodo móvil, el LER de ingreso mantiene una memoria caché de vinculación a fin de optimizar la comunicación del nodo móvil con los nodos correspondientes. Un LER de ingreso puede crear o actualizar un asiento caché de vinculación relativa a un nodo móvil solamente cuando haya recibido y autenticado la vinculación de movilidad de dicho nodo. Cada vinculación en el asiento caché tiene una duración asociada, que se especifica en el mensaje de actualización de vinculación: tras la expiración del periodo de tiempo correspondiente, se borra la vinculación de la memoria caché.

Cuando el agente visitado recibe un paquete, si existe un asiento caché de vinculación para el nodo móvil de destino y no hay asiento en la lista de visitantes para dicho nodo, concluye que el asiento caché de vinculación ha expirado. En este caso, envía un mensaje de alerta de vinculación al agente propio del nodo móvil, aconsejándole enviar un mensaje de actualización de vinculación al LER de ingreso que tunelizó dicho paquete.

7.2.3 Procedimientos de actualización de vinculación de IPv6 móvil basado en el MPLS

Este escenario es prácticamente el mismo que el de la optimización de encaminamiento de IPv4 móvil, descrito anteriormente, con la única diferencia de que el IPv6 móvil no utiliza "agentes visitados" puesto que se utilizan algunas de sus características tales como el descubrimiento de vecino y la autoconfiguración de dirección para identificar al nodo móvil en la ubicación visitada. Se aplica el procedimiento de actualización de vinculación a los nodos IPv6 a fin de ocultar la vinculación de una dirección propia con la dirección a cargo del nodo móvil. El LER de ingreso tiene una capacidad de filtrado de ingreso de IPv6 móvil y establece el LSP entre sí mismo y el LER de egreso para entregar de modo transparente los paquetes al nodo móvil [27].

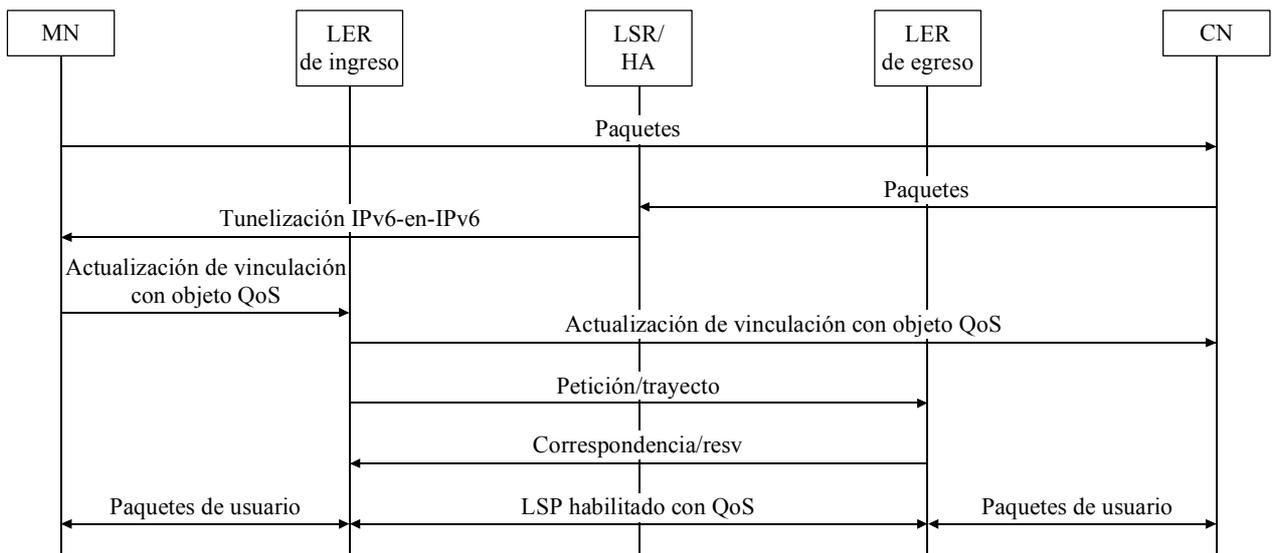
Cuando el nodo móvil envía paquetes a cualquier otro nodo correspondiente, lo hace directamente hacia el destino. Fija la dirección de origen de este paquete a la dirección a cargo e incluye la opción de destino 'dirección doméstica'. El nodo correspondiente debe, entonces, procesar la opción de dirección doméstica al enviar paquetes utilizando el mismo valor de dirección doméstica contenido en la opción dirección doméstica de los paquetes recibidos.

Para evitar el problema del encaminamiento en triángulo, un nodo móvil envía una actualización de vinculación con un objeto QoS a un nodo correspondiente. El LER que recibe el mensaje de actualización de vinculación decide si debe iniciar un mensaje de petición/trayecto. El LSP recién establecido se constituye en el túnel que pueden atravesar los paquetes. El nodo correspondiente IPv6 que recibe el mensaje de actualización de vinculación puede entonces enviar paquetes directamente al nodo móvil.

En este escenario, puede haber túneles LSP:

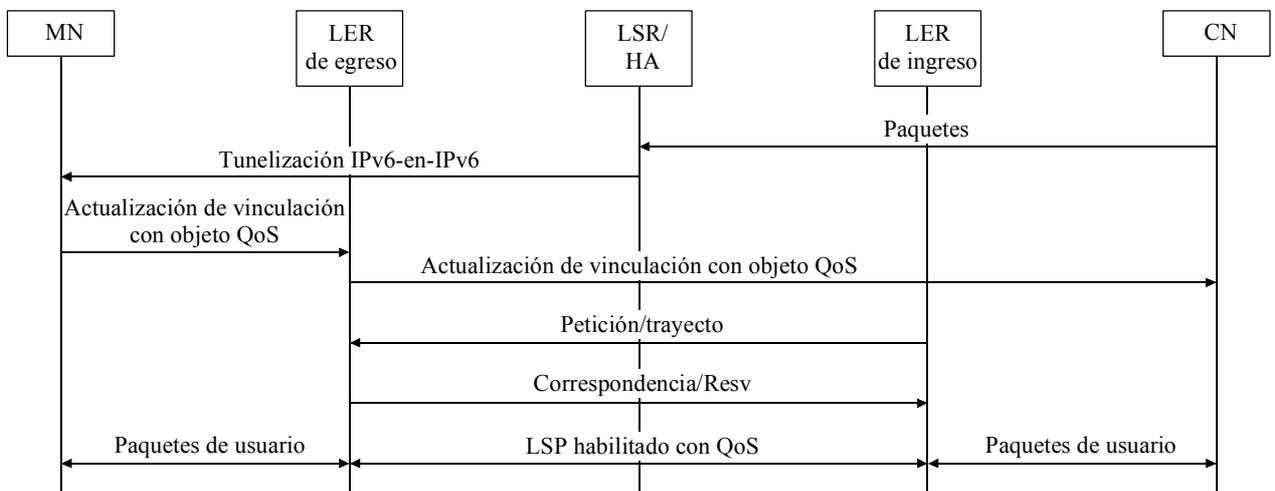
- entre el LER de ingreso y el de egreso.

En la figura 8 se presentan los procedimientos para el escenario de servicio IPv6 móvil por tunelización MPLS.



a) El nodo móvil inicia la transmisión de datos

Y.1281_F08a



b) El CN inicia la transmisión de datos

Y.1281_F08b

Figura 8/Y.1281 – Procedimientos para el escenario de servicio IPv6 móvil por tunelización MPLS

En este escenario, se supone que el nodo móvil ya ha efectuado el descubrimiento del encaminador por defecto, la autoconfiguración de dirección y el registro, conforme a los procedimientos del IPv6 móvil. Antes de enviar un paquete al nodo móvil, el nodo correspondiente debe buscar en su memoria cache de vinculación un asiento con la dirección de destino del paquete (es decir, la dirección doméstica del nodo móvil). De existir dicho asiento, utilizará un encabezamiento de encaminamiento para encaminar el paquete hacia el nodo móvil a través de la dirección a cargo en el asiento. De lo contrario, el agente propio del nodo móvil interceptará el paquete y lo enviará por el túnel (utilizando encapsulación IPv6-en-IPv6) hacia la dirección a cargo actual del nodo móvil. Cuando éste recibe el paquete con dicha encapsulación, envía el mensaje de actualización de vínculo. Cuando sea el LER de egreso el que deba recibir el mensaje referido, iniciará el procedimiento de señalización para establecer el LSP entre los LER de ingreso y egreso.

7.2.4 Procedimientos del IP móvil jerárquico basado en MPLS

Se trata de procedimientos de los servicios IPv4 e IPv6 móviles por tunelización MPLS jerárquica, en los que se distribuyen en la red MPLS de manera jerárquica varios agentes visitados, tales como

el GFA y el RFA. Se identifican las ubicaciones de esos agentes visitados mediante el procedimiento de registro con el agente propio.

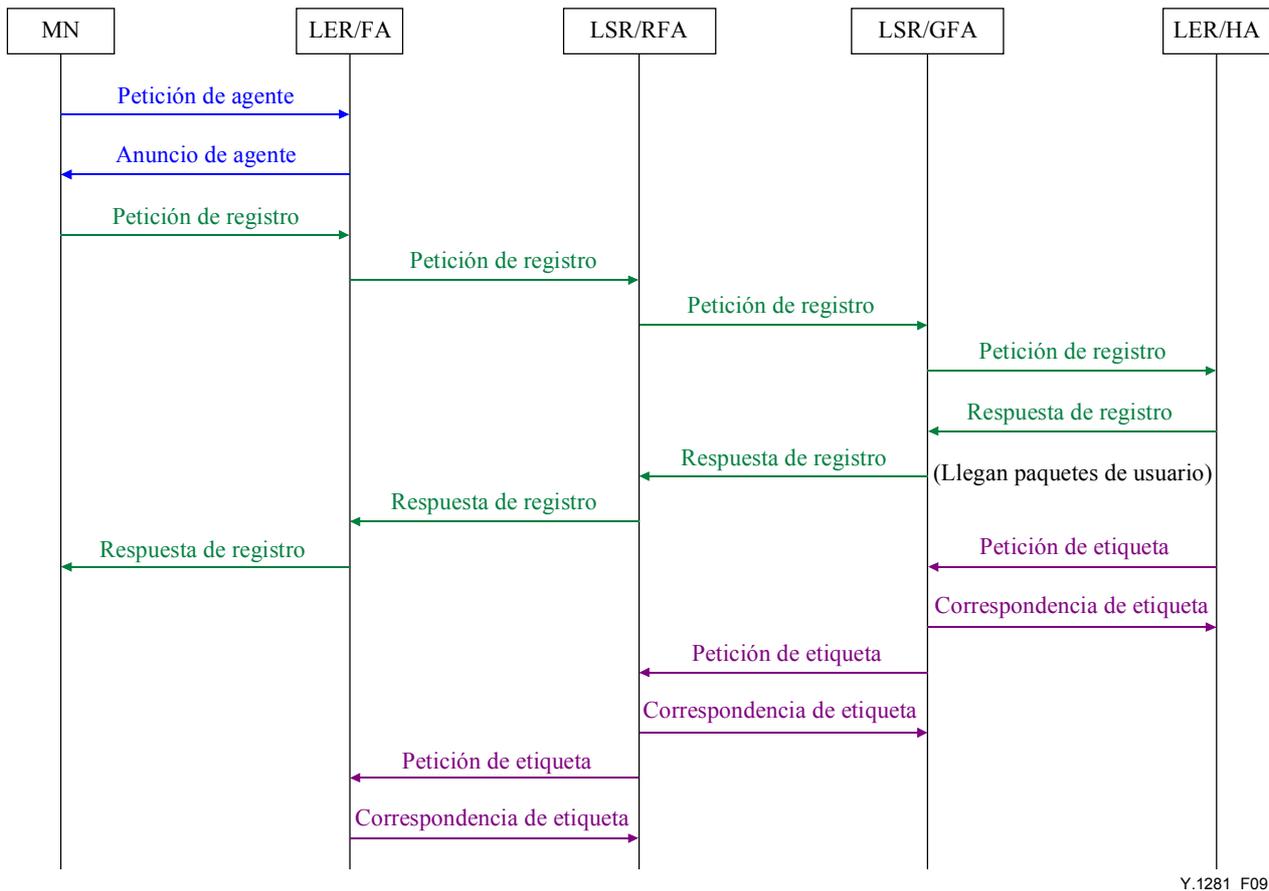
En este escenario, puede haber túneles LSP:

- entre el LER de ingreso y el agente propio;
- entre el agente propio y el GFA;
- entre el GFA y el RFA;
- entre el RFA y el LER/FA de egreso.

El LER/FA de egreso notifica en el mensaje de anuncio de agente las ubicaciones de los agentes visitados jerárquicos en orden jerárquico, entre su propia dirección (en primer lugar) y la dirección GFA (en último lugar). Si el nodo móvil determina que se trata de una ubicación visitada, envía un mensaje de petición de registro, que es recibido por el LER/FA más cercano al nodo móvil, analizado y retransmitido al próximo LSR/RFA en la jerarquía hacia el LSR/GFA. Tras recibir el mensaje de petición de registro, el próximo LSR/RFA añade un asiento en la lista de visitantes que contiene las direcciones propia y a cargo del nodo móvil incluidas en dicho mensaje. Se repite este procedimiento hasta que se llega al LSR/GFA. Cuando este último recibe el mensaje de petición de registro, oculta la información relativa al próximo LSR/RFA de nivel inferior en la jerarquía. Luego, retransmite el mensaje al agente propio. El LSR/GFA mantiene un asiento en la lista de visitantes por cada registro pendiente o actual. El mensaje de petición de registro se reenvía al agente propio salto por salto utilizando el encaminamiento IP normal.

Cuando el agente propio recibe el mensaje de petición de registro y la dirección a cargo GFA dentro del paquete, envía una respuesta de registro al GFA, quien a su vez puede reconocer que dicho mensaje proviene del nodo móvil registrado específico. El GFA puede determinar el LER/FA de egreso del nodo móvil leyendo la información en el asiento del nodo móvil correspondiente al mensaje de respuesta de registro recibido, tras lo cual el GFA envía un mensaje de respuesta de registro al RFA. Este procedimiento se repite en cada FA en la jerarquía, hasta que el mensaje de respuesta de registro llegue al LER/FA de egreso, quien verifica la información oculta y pasa el mensaje al nodo móvil.

En la figura 9 se muestran los procedimientos del escenario de servicio móvil IPv4 e IPv6 por tunelización MPLS jerárquica.



Y.1281_F09

Figura 9/Y.1281 – Procedimientos en el escenario de servicio móvil IPv4 o IPv6 por tunelización MPLS jerárquica

Cuando un agente propio envía paquetes al nodo móvil, también envía un mensaje petición de etiqueta/trayecto al GFA con la dirección a cargo del nodo móvil. El GFA responde con un mensaje correspondencia de etiqueta/Resv al agente propio, atribuye etiquetas y mantiene la dirección propia de dicho nodo y la vinculación de las etiquetas asociadas de todos los nodos móviles registrados. Tras llegar el mensaje de correspondencia de etiqueta/Resv al agente propio, se establece el LSP. En la figura 9 se muestran los procedimientos de registro y de establecimiento de LSP. Luego, el agente propio actualiza su cuadro de información de etiquetas, que incluye las direcciones propia y a cargo del nodo móvil, y fija los asientos de la etiqueta y el puerto salientes. De esta manera, el agente propio puede retransmitir los paquetes destinados a la dirección propia del nodo móvil hacia su GFA en la red visitada. Finalmente, el agente propio envía los paquetes al GFA a través del LSP.

Cuando el GFA recibe los paquetes etiquetados, puede reconocer si la respuesta de registro proviene del nodo móvil específico que está registrado. Luego, puede encontrar el RFA de nivel inferior del nodo móvil registrado leyendo la información presente en el asiento del nodo móvil correspondiente a los paquetes recibidos. El LSR/GFA envía un mensaje petición de etiqueta/trayecto al próximo LSR/RFA (en la jerarquía) con la dirección a cargo de dicho nodo. El LSR/RFA responde con un mensaje de correspondencia de etiqueta/Resv al agente propio, actualiza el cuadro de información de vinculación y atribuye una etiqueta a todos los nodos móviles registrados. Cuando este mensaje llega al LSR/GFA, el LSP podría haber sido establecido.

7.3 Descubrimiento de agente

El procedimiento de descubrimiento de agente incluye tanto el anuncio como la petición de agente. En la red MPLS se utilizan los mismos procedimientos de descubrimiento del IP móvil, puesto que los agentes móviles están ubicados en nodos MPLS. Estos agentes anuncian su presencia mediante

mensajes de anuncio de agente. Un nodo móvil también puede solicitar un mensaje de anuncio de agente de cualquier agente móvil conectado localmente enviando una petición de agente. Cuando el anuncio de agente es recibido por un nodo móvil, éste determina si se encuentra en su ubicación propia o visitada.

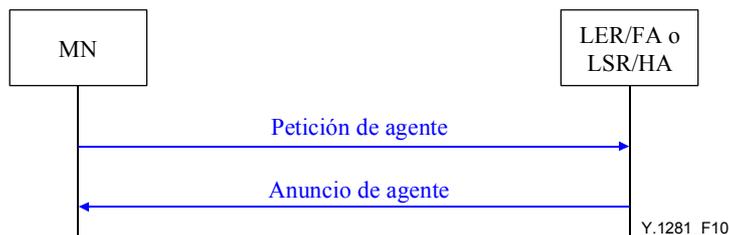


Figura 10/Y.1281 – Descubrimiento de agente de nodo móvil por la red MPLS

7.4 Procedimientos de reencaminamiento LSP durante el proceso de traspaso

Cuando un nodo móvil se mueve de una ubicación visitada a otra, se repite el proceso de registro entre el agente propio y el nuevo agente visitado. Se cambia el LSP existente al nuevo agente visitado. Pueden tener lugar los siguientes procedimientos de reencaminamiento LSP (optimización de ruta) en la red MPLS:

- extensión de LSP
- optimización de LSP.

El procedimiento de reencaminamiento durante el traspaso puede decidirse basándose en dos fines:

- a) reducir la latencia o interrupción debida al traspaso;
- b) disminuir la tara de señalización. Un nodo móvil que tenga más de una dirección a cargo puede facilitar un "traspaso sin problemas" al moverse desde una ubicación visitada a otra. El LSP puede soportar la capacidad de traspaso sin problemas y proporcionar un trayecto con QoS para la dirección a cargo del nodo móvil.

Aunque la mayoría de los abonados no estén comunicándose activamente durante la mayor parte del tiempo, se puede suponer que el IP inalámbrico está activo constantemente, listo para entrar en servicio y que es posible conectarse a él a través del Internet inalámbrico. Un nodo móvil está esencialmente en un estado de reposo pero conectado siempre a la infraestructura de red. El procedimiento de establecimiento del LSP solamente permite que los canales activos sean los que atraviesen un LSP con una QoS garantizada, evitando así que se utilice innecesariamente ancho de banda LSP. Es decir, sólo se establece un LSP entre el LER de ingreso y el de egreso, lo que constituye un método eficaz para economizar ancho de banda en la red MPLS y reducir el retraso extremo a extremo.

7.4.1 Extensión de LSP

Cuando un nodo móvil se mueve desde una ubicación visitada a otra, los nuevos paquetes IP que sean interceptados por el agente propio se tunelizan hacia el nuevo agente visitado del nodo móvil (es decir hacia el nuevo LER de egreso), pero aquellos paquetes que ya hayan sido transmitidos e interceptados por el agente propio y tunelizados hacia el antiguo agente visitado (es decir, el antiguo LER de egreso) probablemente se perderán. Gracias a la optimización de ruta se puede notificar con certitud al agente visitado previo del nodo móvil de la nueva información de actualización de vinculación del nodo móvil, permitiendo así que los paquetes que ya están en ruta hacia el antiguo agente visitado puedan ser reenviados hacia el nuevo.

Tras recibir un mensaje de actualización de vinculación proveniente del nuevo agente visitado notificando la nueva ubicación del nodo móvil, el antiguo agente visitado examina su retransmisión

de base de información (FIB, *forwarding information base*) a fin de poder encontrar una etiqueta para alcanzar la nueva ubicación del nodo móvil. De haber una etiqueta en la FIB para dicho nodo móvil, el antiguo agente visitado establece un LSP hacia el nuevo. Por tanto, se extiende el LSP que existe entre el LER de ingreso y el antiguo agente visitado hacia el nuevo agente visitado.

Tras un intercambio de señalización entre los agentes nuevo y antiguo visitados, se puede extender el LSP existente hacia este último. Durante dicho periodo, el antiguo agente visitado puede almacenar en una memoria tampón todos los paquetes que entran al nodo móvil y que salen del mismo. Una vez que se haya establecido el LSP, se envían los paquetes por el nuevo trayecto hacia el nodo móvil. Todo paquete destinado a dicho nodo que llegue al antiguo agente visitado puede entonces ser retunelizado hacia el nuevo agente visitado del nodo móvil a través del LSP extendido. Cuando no se disponga de una etiqueta para llegar a la nueva ubicación del nodo móvil, se enviarán los paquetes al nuevo agente visitado utilizando el encaminamiento salto por salto.

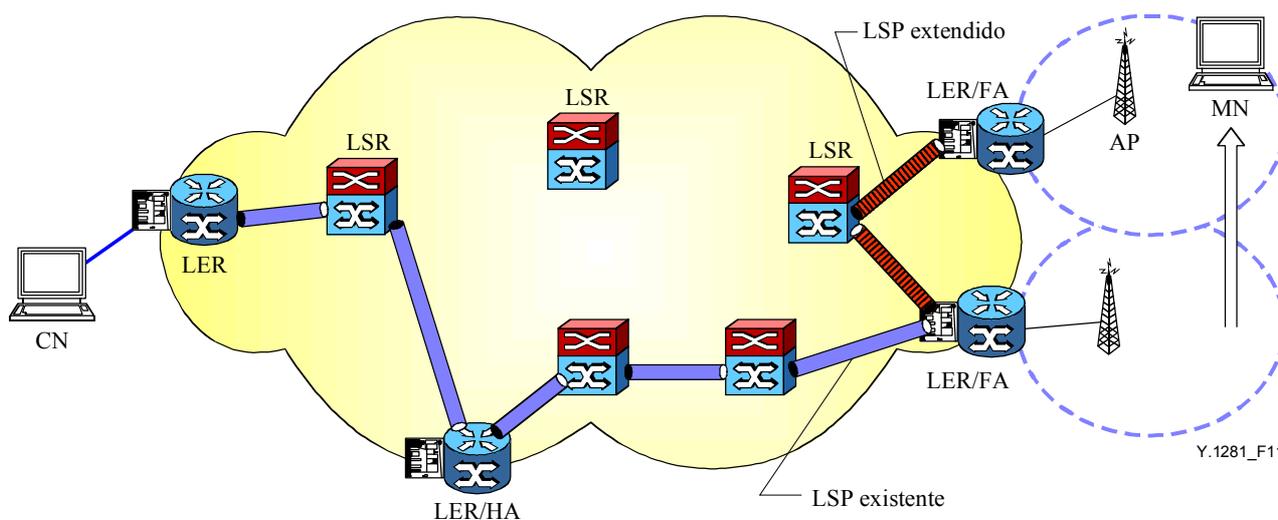
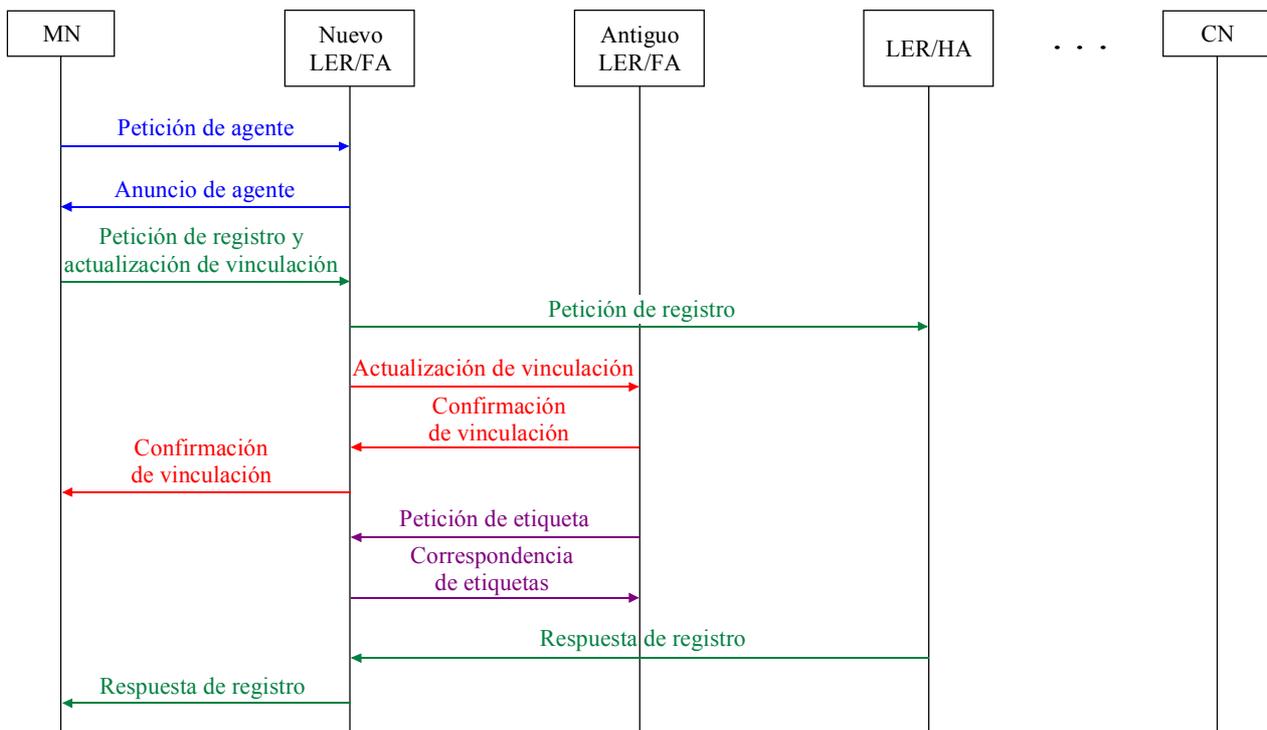


Figura 11/Y.1281 – Extensión de LSP para el servicio IP móvil durante el proceso de traspaso

Siempre que un nodo móvil se desplace hacia una subred adyacente, se extiende el LSP que existe entre el LER de ingreso y el antiguo agente visitado hacia el nuevo agente visitado. Cuando el LER de ingreso recibe un mensaje de actualización de vinculación como respuesta a un mensaje de aviso o petición de vinculación, se da cuenta de que un nodo móvil de destino emigra hacia el nuevo agente visitado. No obstante, no siempre que un nodo móvil de destino emigre, el LER de ingreso establece un nuevo LSP hacia el agente visitado. La extensión LSP se efectuará entre el antiguo y el nuevo agente visitado sin que sea necesaria la intervención del LER de ingreso.



Y.1281_F12

Figura 12/Y.1281 – Esquema de la secuencia de mensajes para la extensión del LSP

Los procedimientos de extensión del LSP de la figura 12 son:

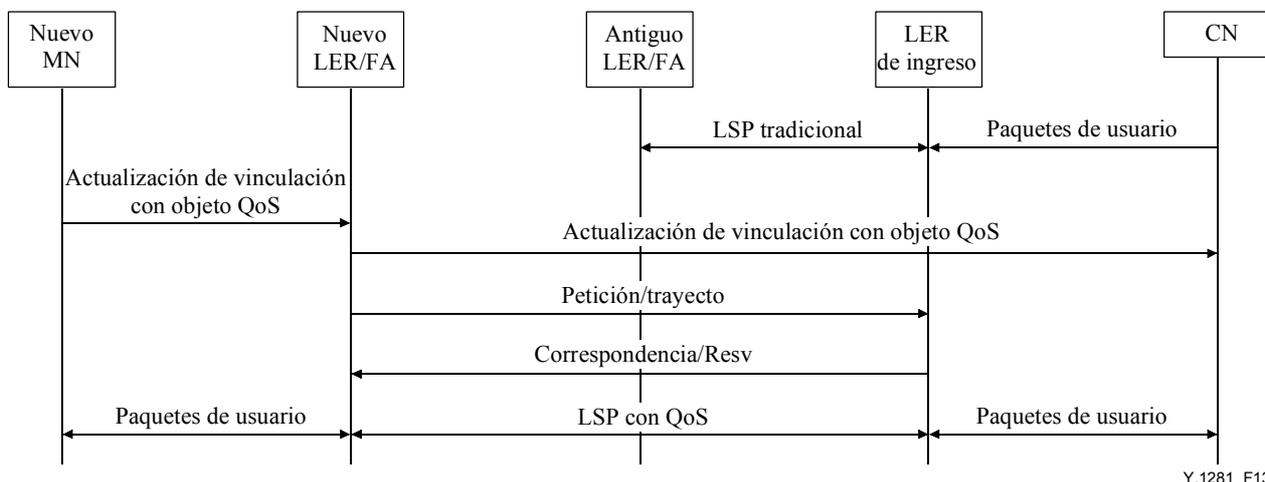
- Un nodo móvil se desplaza hacia un nuevo agente visitado y le envía mensajes de petición de registro y actualización de vinculación.
- El nuevo agente visitado envía un mensaje de petición de registro al agente propio y uno de actualización de vinculación al antiguo agente visitado.
- Cuando el antiguo agente visitado recibe el mensaje de actualización de vinculación, responde mediante un mensaje de confirmación de vinculación hacia el nodo móvil a través del nuevo agente visitado. También puede enviar un mensaje de petición de etiqueta al nuevo agente visitado.
- Tras la recepción del mensaje correspondencia de etiquetas/Resv por el antiguo agente visitado, se establece un LSP entre él y el nuevo agente visitado.
- El agente propio responde entonces a la petición de registro previa mediante un mensaje de respuesta de registro.

7.4.2 Optimización del LSP

Durante el proceso traspaso o después de él, el nodo móvil o el LER/FA pueden solicitar la optimización del LSP. La iniciación de la optimización de ruta puede deberse a algunos factores tales como la degradación de la calidad de funcionamiento o a la necesidad de optimizar los recursos. La política de decisión para dicha optimización del LSP está fuera del alcance de esta Recomendación.

Cuando la calidad de funcionamiento del túnel LSP se degrade temporalmente tras el traspaso, los LER de ingreso o egreso activan el restablecimiento del LSP. Luego, se puede optimizar la ruta entre el LER de ingreso y el nuevo agente visitado. Se desactiva el antiguo LSP y se establece un nuevo trayecto. Si se detecta degradación de la calidad de funcionamiento, los LER de ingreso o egreso inician el mensaje de restablecimiento del LSP. Se dejan en estudio los detalles relativos a la medición y valoración de la degradación de la calidad de funcionamiento.

Puede ser útil que un nodo móvil tenga más de una dirección a cargo, con el fin de mejorar el traspaso sin problemas cuando se desplaza de un enlace inalámbrico a otro. Si cada nodo móvil se conecta a Internet mediante un enlace inalámbrico independiente, es posible que el nodo móvil siga conectado a ambos enlaces mientras se encuentre en la zona de solapamiento entre ambos. En este caso, podría obtener una nueva dirección a cargo en el nuevo enlace antes de salir de la cobertura de transmisión del antiguo y desconectarse del antiguo enlace. El nodo móvil puede entonces aceptar paquetes en su antigua dirección a cargo mientras actualiza su agente propio y la memoria caché de los LER del CN, notificándoles su nueva dirección a cargo (CoA) en el nuevo enlace.



Y.1281_F13

Figura 13/Y.1281 – Procedimiento de optimización del LSP

Cuando un nodo móvil recibe una nueva CoA mientras se sigue comunicando con el nodo correspondiente a través del LSP tradicional, envía un mensaje de actualización de vinculación junto con el objeto QoS al nodo correspondiente para la optimización de ruta. El LER del nodo móvil que recibe el mensaje de actualización de vinculación inicia los mensajes de petición y de trayecto. Luego, el nodo IPv6 correspondiente que recibe el mensaje de actualización de vinculación puede enviar paquetes directamente hacia el nodo móvil mientras que los paquetes que ya se encontraban en camino han atravesado el LSP tradicional, que soporta el traspaso sin problemas tanto por el LSP tradicional como por el nuevo LSP con QoS garantizada establecido. Después de un determinado tiempo, se libera el antiguo LSP pues ya no se transmiten más datos a través de él.

7.4.3 Optimización del LSP para MPLS jerárquico

Cuando se presenta un traspaso, durante el registro regional IPv4 móvil un nodo móvil compara los vectores nuevo y antiguo de las direcciones a cargo, escoge el agente visitado de menor nivel que aparezca en ambos vectores, y envía un mensaje de petición de registro regional al agente visitado original (ancha), que puede ser un LSR/RFA o un LSR/GFA. No es necesario informar a ningún agente de nivel superior acerca de este movimiento puesto que el otro extremo de su túnel de LSP de reenvío sigue apuntando hacia la ubicación actual del nodo móvil.

Se reenvía hacia el LSR/GFA un mensaje de petición de registro a través de uno o varios LSR/RFA intermedios. Cuando éste llega al primer LER/FA, el agente visitado verifica en su lista de visitantes si el nodo móvil ya está registrado y, si no es el caso, verifica a cuál próximo LSR/RFA de nivel superior debe retransmitir el mensaje de petición de registro. El próximo LER/FA o LSR/RFA consulta en su lista de visitantes si el nodo móvil ya está registrado y, de no ser el caso, lo retransmite al próximo LSR/RFA de nivel superior en la jerarquía hacia el LSR/GFA. Este proceso se repite en cada LSR/RFA de la jerarquía, hasta que un LSR/RFA reconozca el nodo móvil. Cuando este último esté registrado con el LSR/RFA pertinente, transmitirá la respuesta de registro hacia el LSR/RFA de nivel inferior. Si el nodo móvil ya está registrado con este LSR/RFA,

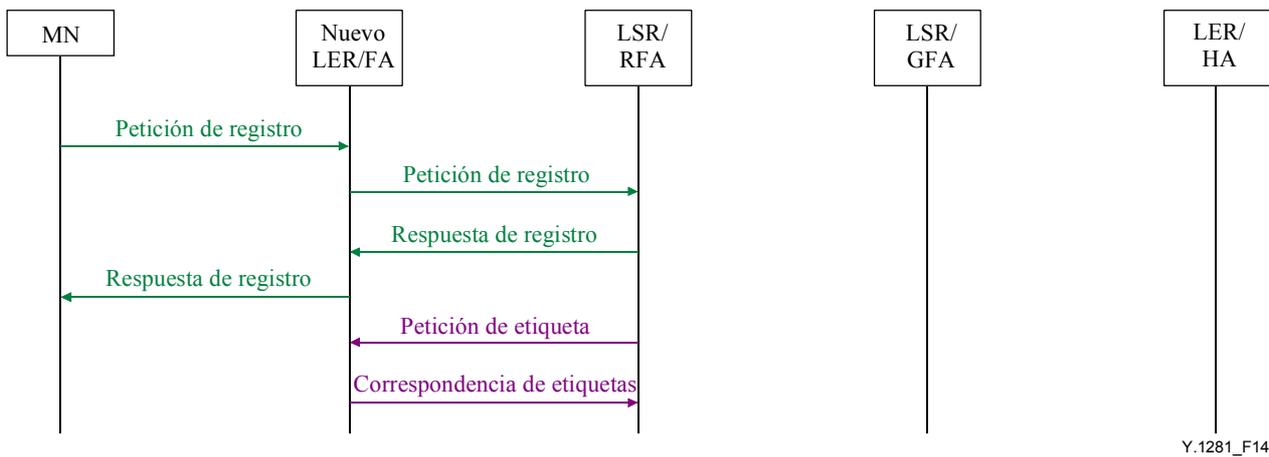
transmitirá el mensaje de respuesta de registro hacia el LSR/RFA de nivel inferior. Una vez que lo reciba, el LSR/RFA podrá ser capaz de indicar el mensaje de respuesta de registro de tal manera que el paquete se asocie con el nodo móvil correspondiente. El LSR/RFA lee la información de ubicación del asiento relativo al nodo móvil que es equivalente al mensaje de respuesta de registro recibido, y lo reconoce como aquel registrado de nivel inferior. El LSR/RFA envía el mensaje de respuesta de registro al LSR/RFA de nivel inferior. Esta secuencia se repite hasta que se llegue al nuevo LER/FA al que se ha desplazado el nodo móvil.

De haber un LSP establecido entre el nodo móvil y el LSR/RFA de anclaje, se enviará un mensaje de petición de etiqueta/trayecto al próximo LSR/RFA de nivel inferior en la jerarquía. Éste responde con un mensaje de correspondencia de etiqueta/Resv al nivel superior. Los agentes visitados deberían mantener la información del cuadro de vinculación de una etiqueta y de la dirección doméstica de un nodo móvil. En general, es necesario atribuir una etiqueta para los nodos móviles registrados con un agente visitado y mantener el cuadro de vinculación de la dirección doméstica y de la etiqueta del nodo móvil. Cuando llega un mensaje de correspondencia de etiqueta/Resv proveniente del LSR/RFA de nivel inferior a un LSR/RFA de nivel superior, el LSP habría sido establecido. Tras la recepción de la etiqueta en el LSR/RFA proveniente de aquél de nivel inferior, es necesario modificar el asiento de la etiqueta del nodo móvil asociado en el cuadro de información de etiquetas. El valor de la etiqueta entrante del asiento de etiqueta sigue siendo el valor de etiqueta recibido desde el LSR/RFA de nivel superior, mientras que se cambia el valor de etiqueta saliente a uno nuevo adquirido desde el nuevo LSR/RFA de nivel inferior a través del procedimiento de registro regional. El LSR/RFA envía entonces un mensaje de petición de etiqueta/trayecto al próximo LSR/RFA que incluye la dirección a cargo del nodo móvil. Cuando el mensaje correspondencia de etiqueta/Resv llega al LSR/RFA, quiere decir que se ha establecido el LSP.

Esta secuencia se repite hasta que se llega al nuevo agente visitado de la red a la que se ha desplazado el nodo móvil. De esta manera, se establece el LSP entre los agentes visitado original ancla y el nuevo. Este método de restablecimiento parcial de LSP permite reducir el tiempo de establecimiento debido a que se mantiene el LSP desde el agente propio hasta el agente visitado ancla mientras se establece uno nuevo desde el agente visitado ancla hasta el nuevo agente visitado.

El paquete es entregado desde el agente propio hasta un nuevo agente visitado a través del LSP mediante un intercambio de etiquetas. Un nuevo agente visitado recibe el paquete y examina su cuadro de formación de etiquetas. Puesto que se trata del punto de egreso del LSP desde el agente propio hasta un nuevo agente visitado, éste retira el encabezamiento suplementario de etiqueta y envía los paquetes a la capa IP. Finalmente, un nuevo agente visitado que actúa como encaminador de pasarela de borde dentro del dominio local correspondiente reenvía el paquete hasta el nodo móvil basándose en la tabla de encaminamiento que se acaba de añadir. Un nodo móvil recibe los paquetes enviados por el nodo correspondiente.

En la figura 14 se muestra un ejemplo de registro regional y el procedimiento de optimización LSP para el servicio IP móvil por MPLS jerárquico, cuando el nodo móvil se mueve hacia un nuevo LER/FA.



Y.1281_F14

Figura 14/Y.1281 – Procedimiento de optimización del LSP en el IP móvil por MPLS jerárquico durante el proceso de traspaso

En la red IPv4 móvil jerárquica basada en MPLS se necesita además borrar la información de registro en el antiguo agente visitado y en el LSR/RFA de nivel superior, y liberar el LSP. Si no se anulan los registros de antiguas ubicaciones, puede ocurrir que los túneles no sean redirigidos correctamente cuando regrese un nodo móvil hacia un agente visitado previo. Para evitar situaciones transitorias no deseadas durante la supresión del antiguo LSP, se puede recomendar utilizar en el agente visitado ancla preferencias de reencaminamiento de los LSP correspondientes.

El LSR/RFA ancla envía una actualización de vinculación cuyo tiempo de vida sea cero y un mensaje de liberación de etiqueta a la dirección a cargo previa que se haya registrado para el nodo móvil. Todo agente visitado que reciba el mensaje de actualización de vinculación suprime el nodo móvil de su lista de visitantes. Además, se libera el LSP que se ha asignado entre los agentes visitados de nivel superior. Se pasan los mensajes de actualización de vinculación y liberación de etiqueta hacia los agentes visitados nuevo y antiguo, respectivamente. Los antiguos agentes visitados en la jerarquía que reciban esta notificación suprimen el nodo móvil de su lista de visitantes. Un LSP que esté establecido hacia un antiguo agente visitado se libera tras la recepción de los mensajes de liberación de etiqueta.

8 Consideraciones relativas a la QoS

Degradación de servicio de QoS

Durante el traspaso, puede ocurrir una degradación de la QoS cuando los paquetes enviados por el nodo móvil o destinados a él llegan al nodo intermedio sin la información acerca de sus requisitos de asignación de QoS. Dicha degradación de QoS debe minimizarse.

Se consideran dos posibles métodos para minimizarla, a saber: mediante la utilización de LSP multidifusión: en este método, un nodo ancla establece los LSP hacia el LER/FA actual y todos los LER/FA en los alrededores del LER/FA de servicio. Cuando los paquetes destinados al nodo móvil llegan al nodo ancla, éste efectúa una multidifusión de los paquetes hacia todo el grupo multidifusión en el nodo móvil (MN). Cuando éste se desplace hacia una de las ubicaciones vecinas, los paquetes estarán disponibles inmediatamente.

El otro método es el que utiliza un túnel LSP bidireccional entre el nuevo LER/FA y el antiguo. En este caso, el LER/FA establece un LSP bidireccional hacia el LER/FA vecino antes del traspaso. Si el nodo móvil se desplaza hacia la subred vecina, los paquetes que le son destinados se pueden enviar a través del túnel LSP bidireccional entre los LER/FA.

Correspondencia de QoS con la red MPLS

En una red MPLS, se puede establecer un LSP mediante los protocolos pertinentes de señalización. En el LER de ingreso, cada paquete recibe una etiqueta y es transmitido en sentido hacia el destino. En todos los LER o LSR a lo largo del LSP, se utilizan las etiquetas para reenviar el paquete hasta el salto próximo que pueda ajustarse mejor a los requisitos del servicio diferenciado (DiffServ) y de ingeniería de tráfico.

En un dominio DiffServ, se clasifican y se marcan todos los paquetes con un punto de código DiffServ (DSCP). En cada LSR, se utiliza el DSCP para escoger el comportamiento por salto. El encabezamiento suplementario de MPLS puede transportar la información del PHB [17]. Si se establece el LSP con reservación de ancho de banda, los LSR realizan el control de admisión del LSP señalado por los recursos DiffServ disponibles (por ejemplo, a través de configuración, SNMP o de protocolos de política). Asimismo, los LSR ejecutan el ajuste de los recursos DiffServ asociados con las clases de servicio pertinentes.

Las clases de QoS de red se definen en las Recomendaciones UIT-T Y.1540 [6] e Y.1541 [7], donde también se especifican los objetivos provisorios de calidad de funcionamiento para el IP en términos de los parámetros de calidad de funcionamiento de la red. Se supone que las clases deben ser la base para el acuerdo de nivel de servicio (SLA) entre los proveedores de red, y entre los usuarios finales y sus proveedores de red. Los objetivos de calidad de funcionamiento y QoS para la red MPLS no han sido aún definidos. La correspondencia detallada de QoS entre la QoS de IP y la de MPLS está fuera del alcance de esta Recomendación.

9 Aspectos de gestión

Se trata el soporte de la siguiente información de gestión:

- información de registro de las direcciones doméstica y a cargo;
- coherencia y verificación de la información de registro en el HA y el FA, incluyendo GFA y RFA;
- información para la adición, supresión y cambio del LSP;
- información de calidad de funcionamiento y estadísticas relativas al LSP que incluyan la situación de traspaso;
- información acerca de la degradación de servicio durante el tiempo de traspaso;
- información de clases de servicio y parámetros QoS;
- información relativa al fallo, configuración, atribución de cuentas y seguridad, etc., de que se trate.

10 Aspectos de seguridad

Los aspectos de seguridad descritos en esta cláusula se centran en lo relativo a la red MPLS. En el nodo MPLS de ingreso, se aplica una seguridad de nivel de red para el filtrado del acceso, especialmente para la autenticación.

En un entorno móvil, los nodos móviles se conectan a la red a través de enlaces inalámbricos. Los LSP conectados a dichos enlaces son especialmente vulnerables a los ataques.

Los agentes propios deben ser capaces de realizar la autenticación del nodo móvil. Con los protocolos IPv4 e IPv6 móviles se pueden soportar los procedimientos pertinentes de autenticación [9] y [29].

Los nodos móviles, los agentes propios, los agentes visitados y los nodos correspondientes pueden funcionar con seguridad gracias a las asociaciones de seguridad pertinentes entre ellos mismos. Los

procedimientos detallados para la asociación de seguridad quedan fuera del alcance de esta Recomendación.

En la red MPLS, se pueden mantener los LSP con un soporte de seguridad especialmente durante el tiempo de traspaso (extensión u optimización de LSP). En la figura 15 se muestra un ejemplo de asociación de seguridad entre un nodo móvil, FA, HA, y un nodo correspondiente durante el proceso de traspaso cuando hay una extensión de LSP (se puede asociar con seguridad el túnel con conmutación de etiqueta reencaminado tanto en el caso de extensión como en el de optimización de LSP). En este caso, se necesitan tres asociaciones de seguridad (SA, *security association*) además del nodo correspondiente y la SA del LER/HA. Estas SA de nivel de red se combinan algunas veces con el protocolo IPsec en el nivel de aplicación entre el nodo correspondiente y el nodo móvil, así como con la opción de datos de autorización de vinculación IPv6, en los casos en que se utilice el IPv6. La utilización de asociaciones de seguridad para la señalización MPLS (por ejemplo, LDP/CR-LDP o RSVP-TE) queda en estudio.

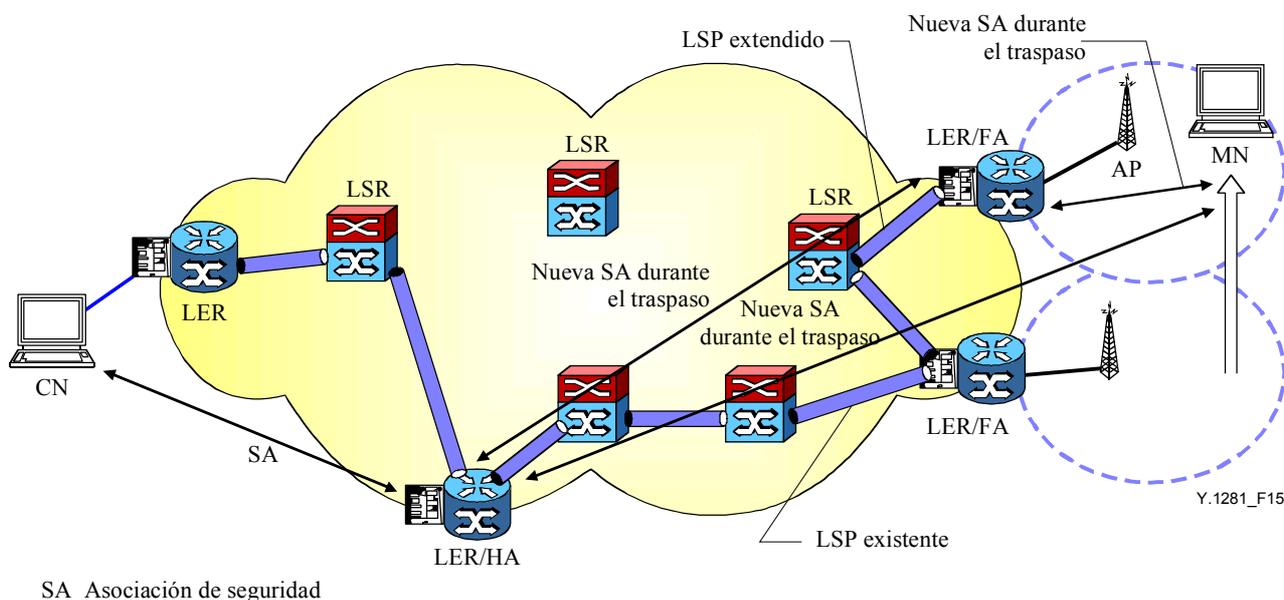


Figura 15/Y.1281 – Ejemplo de asociaciones de seguridad para el servicio IP móvil por MPLS durante el proceso de traspaso con extensión de LSP

También se pueden aplicar constructivos de seguridad de la red privada virtual (RPV) a los servicios IP móviles por MPLS. Otros aspectos de seguridad como aquellos específicos a la aplicación o al protocolo IP móvil quedan fuera del alcance de esta Recomendación.

11 Aspectos de encaminamiento

El encaminamiento por la red MPLS depende de las ubicaciones de los agentes propio y visitado, así como de las correspondientes a los LER y LSR.

En la red MPLS, puede ocurrir que el camino de reenvío para cada flujo tenga diferentes niveles de servicio conforme a la clasificación de flujo. [El trayecto de encaminamiento se calcula conforme a la retransmisión de clase de equivalencia (FEC, *forwarding equivalence class*)]. Un LSP debe cumplir con los diversos requisitos de flujo de QoS.

Quedan en estudio los algoritmos detallados de encaminamiento de la red MPLS con soporte de movilidad.

Según la acción de encaminamiento que se emplee, se entregan los paquetes al nodo móvil de destino a través de trayectos encaminados salto por salto o de trayectos encaminados explícitamente.

12 Aspectos relativos a la escalabilidad

En general, el nivel de escalabilidad de los servicios IP móviles por MPLS depende directamente de la escalabilidad de la propia red MPLS. La cobertura de un LER único (con HA y/o FA) depende de la cobertura de las diversas o únicas redes IP móviles conectadas o bien de la única red IP móvil conectada.

Se puede lograr una mejora de la escalabilidad cuando se distribuyen etiquetas para los túneles entre los agentes móviles y el nodo móvil a través de la red MPLS. Es posible obtener una flexibilidad en la atribución de etiquetas si se permutan, ponen en una pila, mezclan, y agrupan éstas.

La optimización de ruta entre todos los nodos móviles y los correspondientes se puede implementar en un dominio MPLS completo. La arquitectura de red MPLS jerárquica puede soportar la optimización de ruta a gran escala mediante la reducción de la tara de señalización relativa a la gestión de movilidad.

13 Aspectos relativos a la migración del IPv4 móvil por MPLS al IPv6 móvil por MPLS

De hecho, la red MPLS reenvía los paquetes basados en etiquetas en lugar de hacerlo basándose en el propio encabezamiento IP. Desde el punto de vista de transferencia de datos, la red MPLS puede procesar tanto los paquetes IPv4 como los IPv6 simultáneamente sin que sea necesario reemplazar algún elemento de red. Es posible lograr la transparencia de información en la capa MPLS independientemente de los protocolos de capa 3 (es decir IPv4 o IPv6).

No obstante, desde el punto de vista de control y gestión, la señalización MPLS existente que utiliza el IPv4 ha de evolucionar hacia un funcionamiento con la señalización MPLS basada en el IPv6 o funcionar simultáneamente con él. Las funciones de encaminamiento y gestión de la red MPLS que funciona con el protocolo Ipv4 (por ejemplo, ICMP, DNS y DHCP, etc.) también deben migrar hacia aquellas correspondientes al protocolo IPv6.

14 Interfuncionamiento con redes IP móviles

Puesto que poseen funciones de agente propio y visitado, el LER/FA y el LER/HA conectados a una red IP móvil determinada cumplen una función de encaminador de pasarela de borde para el dominio IP móvil correspondiente.

Cuando haya varios HA y FA en la red móvil IP, puede ser necesario utilizar la tunelización IP-en-IP entre el nodo móvil y el (los) LER correspondiente(s). Si el LER/FA (HA) es el único FA (HA) que existe para un determinado dominio IP móvil, no es necesario que haya un túnel IP-en-IP en el dominio IP móvil.

Obsérvese que los diferentes casos de tunelización que utilizan LSP se aplican solamente dentro de la red MPLS. Para ellos no se requiere ninguna modificación de los protocolos IP móviles existentes.

Se deberían definir procedimientos de interfuncionamiento pertinentes siempre que se convierta la tunelización IP-en-IP al LSP adecuado a través de la red MPLS. Además, es necesario soportar la correspondencia de QoS y la configuración de ancho de banda de los flujos IP móvil específicos.

Los detalles de las funciones y procedimientos de interfuncionamiento están fuera del alcance de la presente Recomendación.

Apéndice I

Arquitecturas de referencia para las redes IPv4 e IPv6 móviles

NOTA – Las especificaciones detalladas de interfaz para los puntos de referencia UNIW, UNIX, UNiy, UNiz, NNIx y NNiy quedan en estudio. Éstas no hacen referencia a ninguna Recomendación existente del UIT-T introducida en este apéndice.

I.1 Arquitectura de referencia de la red IPv4 móvil

Se supone que la arquitectura de referencia de la red IPv4 móvil se basará en los aspectos relativos a la red pública. Desde este punto de vista, es posible que la red en las instalaciones del cliente se confunda con la red pública. En la figura I.1 se presenta la arquitectura de referencia para la red IPv4 móvil. Se pueden definir los puntos de referencia UNIW, UNIX, UNiy, y UNiz como las interfaces de usuario. También es posible definir los puntos de referencia NNIx y NNiy como interfaces entre los nodos y la red. A fin de poder soportar el servicio móvil, se pueden descomponer las funciones en las interfaces de referencia NNI en funciones de plano de usuario (plano U), plano de control (plano C) y plano de gestión (plano M).

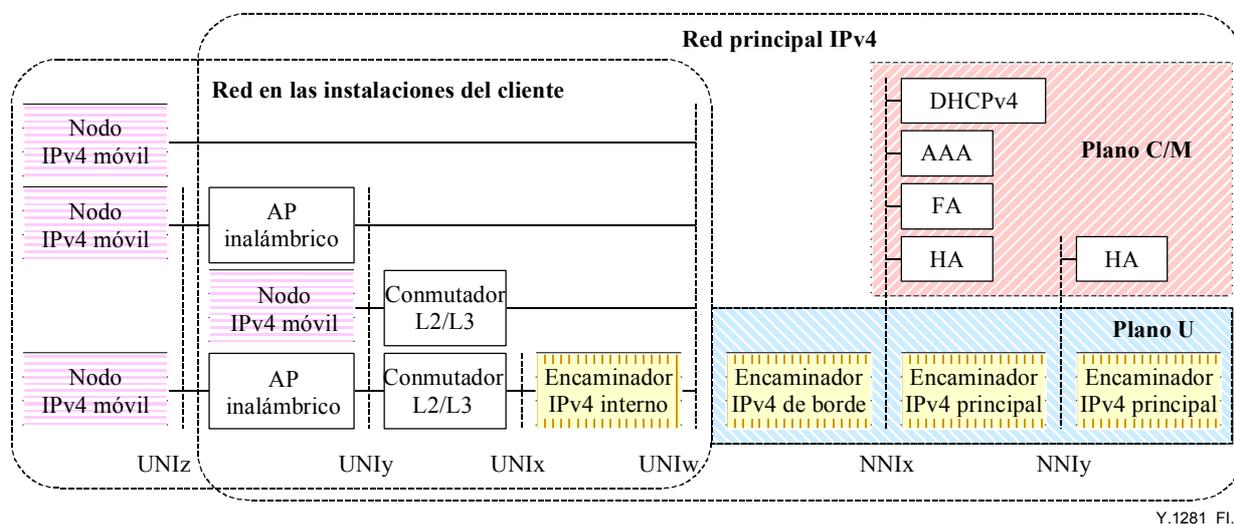
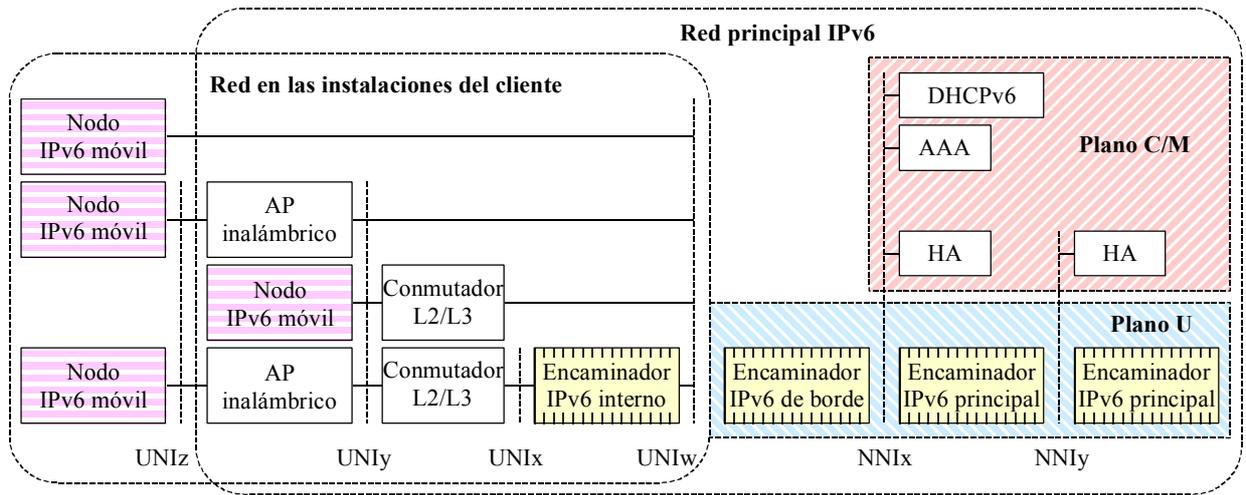


Figura I.1/Y.1281 – Arquitectura de referencia de la red IPv4 móvil

I.2 Arquitectura de referencia de la red IPv6 móvil

El modelo de referencia de esta red es similar al de la red IPv4 móvil. Obsérvese que no hay función FA en el punto de referencia NNI (plano C/M).



Y.1281_FI.2

Figura I.2/Y.1281 – Arquitectura de referencia de la red IPv6 móvil

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación