



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

TESIS DOCTORAL

Arquitectura de red de acceso móvil de cuarta generación: Mobile-IP RAN

Autor:

Alberto Montilla Bravo

Directores:

Dr. José Ignacio Moreno

Dr. Ignacio Soto

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

Leganés, julio 2009

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

TESIS DOCTORAL

ARQUITECTURA DE RED DE ACCESO MÓVIL DE CUARTA
GENERACIÓN: MOBILE-IP RAN

Autor

Alberto J. Montilla Bravo

Ingeniero Electrónico

Directores

José Ignacio Moreno Novella

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Ignacio Soto Campos

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

2009

TESIS DOCTORAL

ARQUITECTURA DE RED DE ACCESO MÓVIL DE CUARTA GENERACIÓN: MOBILE-IP RAN

Autor: Alberto Montilla Bravo

Directores: Dr. José Ignacio Moreno
Dr. Ignacio Soto

Firma del Tribunal Calificador:

Firma

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Calificación:

Leganés, de de 2009

*A Mariale, Alberto y Alejandro,
las razones de esta tesis
y de todo lo demás en mi vida*

Resumen

Esta tesis aborda el problema de las arquitecturas de acceso radio, en el ámbito de las redes móviles de cuarta generación definidas en entornos de movilidad IP. Uno de los principales beneficios del uso estas propuestas es la simplificación de la red móvil, haciéndola menos dependiente de la tecnología de acceso radio, y por ende permitiendo el uso de una red troncal común a las diferentes tecnologías radio existentes. En estas redes, la movilidad del terminal, la infraestructura de red y la seguridad son los aspectos más importantes que se han tomado en consideración en su diseño.

A pesar de los avances en la investigación y estandarización de los mecanismos de movilidad basados en IP, existen aún limitaciones en la funcionalidad ofrecida por las redes de acceso radio propuestas. Estas limitaciones se refieren a servicios de la red de acceso radio, que no son específicos al nivel de red (IP), pero que deben ofrecerse por la red para el correcto funcionamiento de los servicios generales de la red móvil, e incluyen los servicios de gestión de los recursos radio, movilidad (handover), sincronización de usuario y red, descubrimiento de servicios y cálculo de la posición del móvil.

El objetivo principal de esta tesis es la definición de una red de acceso radio basada en IP móvil que integre las principales funciones de las redes de acceso móvil de tercera generación y aquellas consideradas de cuarta generación. Esta nueva arquitectura permite compartir la infraestructura de acceso radio entre las distintas tecnologías radio existentes, simplificando la red y los costos asociados. Asimismo, los proveedores de servicios móviles podrán incorporar de forma integrada nuevas tecnologías radio, sin necesidad de añadir más infraestructura que la equivalente a las estaciones base.

Las aportaciones principales de esta tesis, dentro del objetivo general, se pueden resumir de la siguiente manera. En primer lugar, se definen los requisitos que debe cumplir la red de acceso móvil de cuarta generación, en cuanto a los servicios de red y usuario proporcionados.

La segunda aportación, y considerada la aportación principal, es la definición de una arquitectura de red de acceso basada en IPv6 móvil, denominada Mobile-IP RAN, que incluye la definición de los elementos de red que la componen, así como sus interfaces y protocolos, que permite ofrecer los servicios de acceso a la red, movilidad de usuario, transferencia de datos, sincronización y localización de usuarios. Como parte de la arquitectura, se define, a través de diagramas de secuencia de mensajes, el comportamiento dinámico de las principales funciones proporcionadas por la red de acceso propuesta.

Por último, se lleva a cabo la evaluación de los modelos de movilidad, de determinación de la posición (como parte del servicio de localización de usuario) y de sincronización propuestos, analizando sus parámetros fundamentales que permitan optimizar el desempeño de estos modelos, así como su aplicabilidad en las distintas redes de acceso radio.

Abstract

This thesis approaches the architecture of radio access networks in the context of fourth generation mobile networks, these being defined in IP mobility environments. One of the main benefits of these proposals is the simplification of the mobile network, now less dependent of the radio access technologies, and allowing the use of a common core network for all existing radio technologies. On these proposals, user mobility, network infrastructure and security are main aspects considered on the design.

In spite of the advances on research and standardization of the IP-based mobility mechanisms, there are still limitations in the features offered by the proposed radio access networks. These limitations refers to radio access network service features, not specific to the (IP) network layer, but necessary for the correct operation of the general network and user services, that includes radio resource management, mobility (e.g. handover), network and user synchronization, service discovery and user position calculation.

The main objective of this thesis is the definition of a radio access network architecture based on Mobile IPv6 that integrates the main features of the third-generation mobile access networks and those of the fourth generation. This architecture allows the use of the radio access infrastructure among the different existing radio access technologies, simplifying the network and its associated costs. Moreover, with this architecture, mobile service providers may incorporate new radio technologies in a seamless way, without adding more infrastructure than the base stations.

The main contributions of this work can be summarized as follows. First, we define the requirements of the fourth-generation radio access networks related to the network and user services provided.

Second, and considered the main contribution of this thesis, is the definition of a Mobile-IPv6 based radio access network architecture, named Mobile-IP RAN, that includes the definition of its network elements, as well as its network interfaces and protocols, that allow services including network access, user mobility, user data transfer, synchronization and location services. As part of the architecture, and through the use of Message Sequence Charts, we define the dynamic behavior of the main features offered by the proposed access network.

Last, we perform the evaluation of the proposed mobility, position determination and synchronization models, analyzing their main parameters as well as their applicability in different radio access networks.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos aquellos que colaboraron con su ayuda a materializar esta tesis, en especial a:

Los profesores José Ignacio Moreno e Ignacio Soto, mis directores de tesis. Sin sus conocimientos, ayuda y un gran apoyo, la realización de esta tesis habría sido imposible.

A las empresas Motorola España y Cisco Systems Spain, por apoyarme en mis estudios de doctorado y en la culminación de esta tesis. Quiero agradecer en especial a José Miguel Torres, Mani Iyer y a Ron Lewis por su comprensión en mi dedicación al doctorado y a esta tesis.

A mis compañeros del 3GPP, en especial a Babul Miah de Alcatel-Lucent y Phillippe Godin de Nortel Networks, de su apoyo e interés aprendí la necesidad de seguir mirando al futuro.

A la Fundación Gran Mariscal de Ayacucho y a la Universidad del Zulia, por financiar los inicios de mis estudios de doctorado.

A Papá, Mamá, Mamá Ina, Jesús, Catire, Elba y Fernando. Su apoyo espiritual ha sido imprescindible en esta tesis.

A mis amigos, que no sólo me ayudaron, sino que me empujaron durante la realización de esta tesis: Alejandro, Bella, César, Franco, Freddy, Marcos, los tres Nachos, Neo, Nilda, Olguita, Ray, Ricardo y Rita, y algunos otros que seguro se me olvidan en este momento. Han sido una fuerza moral.

Y a mi familia, porque a ellos les he robado el tiempo que he dedicado a mis estudios de doctorado, y a esta tesis.

Contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
AGRADECIMIENTOS.....	11
CONTENIDO.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	17
LISTA DE TABLAS	20
CAPÍTULO 1.....	21
MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	21
1.1 INTRODUCCIÓN.....	21
1.2 ENTORNO DE LA TESIS DOCTORAL.....	22
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.3.1 <i>Problemas de las arquitecturas IP móvil en las redes de acceso radio</i>	24
1.4 OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL.....	26
1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	27
CAPÍTULO 2.....	29
ESTADO DEL ARTE	29
2.1 INTRODUCCIÓN.....	29
2.2 REDES DE ACCESO RADIO 3G.....	30
2.2.1 <i>Evolución de la arquitectura UMTS (E-UTRAN) – Release 8</i>	32
2.2.2 <i>Evolución de la arquitectura de red en cdma2000</i>	37
2.2.3 <i>Sincronización en redes 3G</i>	40
2.3 ARQUITECTURA IP MÓVIL	43
2.3.1 <i>Movilidad jerárquica en Mobile-IPv6 [HMIPv6]</i>	45
2.3.2 <i>Handover en Mobile-IPv6</i>	47
2.3.3 <i>Transferencia de contextos en Mobile-IPv6</i>	49
2.3.4 <i>Protocolos para la gestión de Paging a nivel IP</i>	52
2.3.5 <i>Análisis de la problemática de la movilidad local IP</i>	52
2.3.6 <i>Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6]</i>	53
2.4 TRABAJOS RELACIONADOS	55
2.4.1 <i>DAIDALOS</i>	55
2.4.2 <i>WINE GLASS</i>	58
2.4.3 <i>MIND</i>	61
2.4.4 <i>Moby Dick</i>	63
2.4.5 <i>CAUTION ++</i>	65
2.4.6 <i>Otros trabajos de interés</i>	67
2.5 CONCLUSIONES - PUNTOS ABIERTOS EN EL ESTADO DEL ARTE.....	72
CAPÍTULO 3.....	75
REQUISITOS DE LA RED DE ACCESO 4G.....	75
3.1 INTRODUCCIÓN.....	75
3.1.1 <i>Entorno de Mobile-IP RAN: Escenario de red 4G</i>	75
3.2 REQUISITOS GENERALES.....	76
3.3 MOVILIDAD DE USUARIO	78
3.3.1 <i>Registro</i>	79
3.3.2 <i>Paging</i>	79
3.3.3 <i>Actualizaciones de localización de usuario</i>	79
3.3.4 <i>Handover</i>	80
3.3.5 <i>Soft-handover</i>	80

3.4	SINCRONIZACIÓN DE RED Y DE USUARIO	81
3.5	TRANSFERENCIA DE DATOS DE USUARIO.....	81
3.6	LOCALIZACIÓN DE USUARIO	82
3.7	QoS: CALIDAD DE SERVICIO	82
3.8	AAA	83
3.9	SEGURIDAD.....	83
3.10	DESCUBRIMIENTO DE SERVICIOS	84
3.11	CONCLUSIONES.....	84
CAPÍTULO 4.....		87
ARQUITECTURA MOBILE-IP RAN		87
4.1	INTRODUCCIÓN.....	87
4.2	ARQUITECTURA DE RED: MOBILE-IP RAN COMO RED DE ACCESO RADIO COMÚN 4G	87
4.3	NODOS DE MOBILE-IP RAN	92
4.3.1	<i>Gestor de Movilidad Regional (RMM)</i>	92
4.3.2	<i>Pasarela de Acceso Regional (RAG)</i>	93
4.3.3	<i>Gestor de Recursos Regionales (RRM)</i>	96
4.3.4	<i>Entidad de Determinación de la Posición (PDE)</i>	97
4.3.5	<i>Cliente AAA Regional (RA3c)</i>	98
4.3.6	<i>Gestor de Calidad de Servicio Regional (RQoSb)</i>	99
4.4	INTERFACES DE MOBILE-IP RAN	100
4.4.1	<i>Interfaces del RAG</i>	101
4.4.2	<i>Interfaz entre el RMM y el móvil (iRMM)</i>	104
4.4.3	<i>Interfaz AAA en Mobile-IP RAN (iRA3)</i>	104
4.4.4	<i>Interfaz de calidad de servicios en Mobile-IP RAN (iQoS)</i>	105
4.4.5	<i>Interfaces de gestión de los recursos radio</i>	105
4.4.6	<i>Interfaz de descubrimiento de servicios (ISD)</i>	107
4.4.7	<i>Interfaces del servicio de posicionamiento</i>	107
4.4.8	<i>Interfaces de la red troncal</i>	108
4.4.9	<i>Configuración y cambios a los protocolos existentes para el soporte de Mobile-IP RAN</i>	109
4.5	MODELO AAA EN MOBILE-IP RAN	123
4.5.1	<i>Funciones de los elementos de red Mobile-IP RAN en los procedimientos AAA</i>	123
4.5.2	<i>Identificadores del usuario móvil en Mobile-IP RAN para las funciones AAA</i>	124
4.5.3	<i>Adaptación de la arquitectura Moby Dick para Mobile-IP RAN</i>	125
4.5.4	<i>Escenarios</i>	125
4.6	MODELO DE CALIDAD DE SERVICIO EN MOBILE-IP RAN	128
4.6.1	<i>Perfil de usuario – Calidad de servicio</i>	129
4.6.2	<i>Arquitectura de calidad de servicio en Mobile-IP RAN</i>	130
4.6.3	<i>Escenarios</i>	132
4.7	MODELO DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS RADIO EN MOBILE-IP RAN	138
4.7.1	<i>Arquitectura de Gestión de los Recursos Radio en Mobile-IP RAN</i>	139
4.7.2	<i>Procedimientos</i>	140
4.8	DIRECCIONAMIENTO EN MOBILE-IP RAN.....	143
4.9	MOVILIDAD EN MOBILE-IP RAN	144
4.9.1	<i>Modelo de Movilidad</i>	144
4.9.2	<i>Registro en Mobile-IP RAN</i>	145
4.9.3	<i>Actualización de localización en Mobile-IP RAN</i>	146
4.9.4	<i>Paging (Aviso) en Mobile-IP RAN</i>	148
4.9.5	<i>Handover en Mobile-IP RAN</i>	154
4.9.6	<i>Soft-handover en Mobile-IP RAN</i>	172
4.10	SINCRONIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN.....	179
4.10.1	<i>Sincronización de red</i>	180
4.10.2	<i>Sincronización de la interfaz radio</i>	183
4.10.3	<i>Sincronización entre RAGs</i>	183
4.10.4	<i>Sincronización de tramas</i>	184
4.11	DESCUBRIMIENTO DE SERVICIOS EN MOBILE-IP RAN	187
4.11.1	<i>Arquitectura de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN</i>	188
4.11.2	<i>Protocolo de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN</i>	190

4.11.3	<i>Escenarios de descubrimiento de servicios</i>	191
4.12	SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN: DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DEL MÓVIL	193
4.12.1	<i>Arquitectura LBS</i>	193
4.12.2	<i>Escenarios</i>	198
4.12.3	<i>Comparación con la arquitectura LCS de 3G</i>	200
4.13	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD EN MOBILE-IP RAN	202
4.13.1	<i>Funciones de seguridad en Mobile-IP RAN</i>	203
4.13.2	<i>Análisis de los principales ataques de seguridad en la red Mobile-IP RAN</i>	203
4.14	CONCLUSIONES	207
CAPÍTULO 5		211
ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN MOBILE-IP RAN		211
5.1	INTRODUCCIÓN	211
5.2	MODELO DE TRANSICIONES EN MOBILE-IP RAN	211
5.3	ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO DE LOS ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN	213
5.4	CONCLUSIONES	220
CAPÍTULO 6		223
ANÁLISIS DEL SERVICIO DE DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MOBILE-IP RAN		223
6.1	INTRODUCCIÓN	223
6.2	CARGA DE SEÑALIZACIÓN EN LA INTERFAZ RADIO	223
6.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	224
6.3.1	<i>Carga de señalización en GSM</i>	224
6.3.2	<i>Carga de señalización en UMTS</i>	226
6.3.3	<i>Carga de señalización en 802.11g</i>	228
6.4	CONCLUSIONES	229
CAPÍTULO 7		231
ANÁLISIS DEL MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN		231
7.1	INTRODUCCIÓN	231
7.2	MODELO DE RED	232
7.2.1	<i>Recepción y transmisión de tramas radio en el RAG</i>	233
7.2.2	<i>Modelo de carga de tráfico de usuario en la interfaz iRAG_{SHO}</i>	234
7.2.3	<i>Modelo de sincronización de tramas</i>	235
7.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	238
7.3.1	<i>Retardo del procedimiento de sincronización de tramas (DSync)</i>	238
7.3.2	<i>Carga del procedimiento de sincronización de tramas</i>	239
7.3.3	<i>Procedimiento de sincronización de tramas</i>	241
7.4	CONCLUSIONES	248
CAPÍTULO 8		251
CONCLUSIONES		251
8.1	INTRODUCCIÓN	251
8.2	RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO	251
8.3	CONTRIBUCIONES DE LA TESIS	257
8.4	VÍAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	260
APÉNDICE A		263
CAMBIOS EN EL MENSAJE DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA UMTS		263
INTRODUCCIÓN	263	
ACCIONES AL RECIBIR EL BLOQUE MAESTRO Y LOS BLOQUES DE ASIGNACIÓN	263	
ACCIONES AL RECIBIR EL BLOQUE	264	
CONTENIDO DEL BLOQUE	264	
DEFINICIÓN ASN.1 DEL BLOQUE Y SUS ELEMENTOS	265	
APÉNDICE B		267

MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO DE LOS ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN	267
ACRÓNIMOS.....	275
BIBLIOGRAFÍA	293

Lista de Figuras

FIGURA 1 ARQUITECTURA DE RED UTRAN	30
FIGURA 2 ARQUITECTURA RAN CDMA2000.....	31
FIGURA 3 ARQUITECTURA E-UTRAN	34
FIGURA 4 DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES EN LA E-UTRAN.....	35
FIGURA 5 ESTADOS DEL PROTOCOLO RRC EN E-UTRAN	36
FIGURA 6 ARQUITECTURA DE RED WIRELESS-IP NETWORK DE CDMA2000	37
FIGURA 7 NIVELES DE MOVILIDAD PARA LOS SERVICIOS DE TRANSMISIÓN DE PAQUETES IP EN CDMA2000	38
FIGURA 8 MODELO DE RED DE ACCESO CDMA2000 UMB.....	39
FIGURA 9 NIVELES DE MOVILIDAD EN LA RED DE ACCESO CDMA2000 UMB	40
FIGURA 10 DESPLAZAMIENTO DE CÓDIGOS PN ENTRE CÉLULAS	41
FIGURA 11 ALINEAMIENTO DE TIEMPO DE TRANSMISIÓN – INTERFAZ A3	42
FIGURA 12 SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS DURANTE UN SOFT-HANDOVER EN UMTS FDD [TS25402]	44
FIGURA 13 ARQUITECTURA DE MOVILIDAD JERÁRQUICA IP	45
FIGURA 14 COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE HMIPv6	46
FIGURA 15 COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL PROCEDIMIENTO DE HANDOVER EN [FHIPv6].....	48
FIGURA 16 ARQUITECTURA [802.21] MOSTRANDO LOS SERVICIOS DE EVENTO, COMANDO E INFORMACIÓN.....	49
FIGURA 17 FUNCIONAMIENTO DE [CARD] CON [HMIPv6] Y [FHIPv6]	50
FIGURA 18 MÉTODO PREDICTIVO DE TRANSFERENCIA DE CONTEXTO	51
FIGURA 19 ARQUITECTURA PROXY MOBILE-IPv6 [PMIPv6].....	54
FIGURA 20 ACCESO DEL MÓVIL AL DOMINIO PROXY MOBILE-IPv6 [PMIPv6]	55
FIGURA 21 ARQUITECTURA GENERAL DE DAIDALOS [BIJWAARD2005].....	57
FIGURA 22 RED DE PARTIDA WINE GLASS.....	59
FIGURA 23 ARQUITECTURA INTEGRADA IP MÓVIL DE WINEGLASS	60
FIGURA 24 ARQUITECTURA DE RED BRAIN/MIND.....	63
FIGURA 25 MODELO CONCEPTUAL MOBY DICK.....	64
FIGURA 26 PILA DE PROTOCOLOS PARA SOPORTE UMTS	65
FIGURA 27 ARQUITECTURA DE RED CAUTION++	66
FIGURA 28 HANDOVER INICIADO POR EL MÓVIL EN [JUNG2005].....	69
FIGURA 29 RED DE ACCESO IP MÓVIL CON ACCESO MULTI-TECNOLOGÍA RADIO.	76
FIGURA 30 ARQUITECTURA MOBILE-IP RAN	90
FIGURA 31 ARQUITECTURA DEL RMM	93
FIGURA 32 ARQUITECTURA DEL RAG	94
FIGURA 33 ARQUITECTURA DEL GESTOR REGIONAL DE RECURSOS (RRM)	96
FIGURA 34 ARQUITECTURA DEL PDE.....	98
FIGURA 35 ARQUITECTURA DEL RA3C.....	99
FIGURA 36 ARQUITECTURA DEL RQoSB	100
FIGURA 37 INTERFACES LÓGICAS DE LA RED MOBILE-IP RAN	101
FIGURA 38 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ IRAG _M	102
FIGURA 39 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ IRAG _R	102
FIGURA 40 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ IRAG _H	103
FIGURA 41 PILA DE PROTOCOLOS INTERFAZ IRAG _{SHO}	104
FIGURA 42 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ IRMM.....	104
FIGURA 43 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ IRA3	105
FIGURA 44 PILA DE PROTOCOLOS EN LA INTERFAZ IQoS	105
FIGURA 45 PILA DE PROTOCOLOS EN LAS INTERFACES IRRM E IRRMC	105
FIGURA 46 PILA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ ISD	107
FIGURA 47 PILA DE PROTOCOLOS INTERFACES ILM E IRAGL.....	107
FIGURA 48 OPCIÓN MAP DE [HMIPv6] CON EL BIT M DE MOBILE-IP RAN.....	110
FIGURA 49 OPCIÓN DE PAGING EN EL MENSAJE ROUTER ADVERTISEMENT	110
FIGURA 50 NUEVO BIT R EN EL MENSAJE LOCAL BINDING UPDATE INDICANDO EL SOPORTE DE MOBILE-IP RAN	111
FIGURA 51 FORMATO DEL MENSAJE PAGING EN MOBILE-IP RAN	111
FIGURA 52 FORMATO DEL MENSAJE PAGING RESPONSE EN MOBILE-IP RAN	112
FIGURA 53 OBJETO COPS DE INFORMACIÓN ESPECÍFICA PARA LA CONFIGURACIÓN DE ENRUTADORES EN MOBILE-IP RAN	112
FIGURA 54 OBJETO COPS DE INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE RECURSOS DE USUARIO (CLIENT QoS DATA).....	113

FIGURA 55 FORMATO DEL MENSAJE [FHMIPv6] RT SOL PREN MOBILE-IP RAN	114
FIGURA 56 FORMATO DEL MENSAJE [FHMIPv6] PROXY ROUTER ADVERTISEMENT EN MOBILE-IP RAN	114
FIGURA 57 FORMATO DEL MENSAJE [FHMIPv6] HANDOVER INITIATE EN MOBILE-IP RAN	114
FIGURA 58 FORMATO DEL NUEVO MENSAJE [FHMIPv6] HANDOVER CANCEL (HC).....	116
FIGURA 59 MENSAJE CONTEXT TRANSFER DATA (CTD) PARA LA FUNCIONALIDAD DE HANDOVER Y SOFT-HANDOVER.....	118
FIGURA 60 MENSAJE CONTEXT TRANSFER DATA REPLY (CTDR) PARA FUNCIONALIDAD DE HANDOVER Y SOFT-HANDOVER	119
FIGURA 61 MENSAJE CONTEXT TRANSFER CANCEL (CTC) PARA LA FUNCIONALIDAD DE HANDOVER Y SOFT-HANDOVER	119
FIGURA 62 FORMATO GENÉRICO DE TRAMA EN LA INTERFAZ IRAG _{SHO}	120
FIGURA 63 FORMATO DE TRAMAS DE USUARIO SOBRE LA INTERFAZ IRAG _{SHO}	121
FIGURA 64 FORMATO DE LA TRAMA DE CONTROL DL SYNCH.....	122
FIGURA 65 FORMATO DE TRAMA DE CONTROL UL SYNCH	122
FIGURA 66 ARQUITECTURA AAA EN MOBILE-IP RAN	123
FIGURA 67 PROCEDIMIENTO DE AUTENTICACIÓN Y AUTORIZACIÓN	126
FIGURA 68 PROCEDIMIENTO DE TASACIÓN EN MOBILE-IP RAN	127
FIGURA 69 ARQUITECTURA DE CALIDAD DE SERVICIO EN MOBILE-IP RAN.....	131
FIGURA 70 PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN DE SERVICIO – INICIADO POR EL MÓVIL.....	133
FIGURA 71 PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN DE SERVICIO – INICIADO POR LA RED	135
FIGURA 72 PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN DE SERVICIO INICIADO POR EL MÓVIL, CON PRECEDENCIA.....	136
FIGURA 73 PROCEDIMIENTO DE RESERVA DE RECURSOS DURANTE EL HANDOVER EN MOBILE-IP RAN	138
FIGURA 74 MODELO DE GESTIÓN DE RECURSOS RADIO, UTILIZANDO UMTS Y WLAN	139
FIGURA 75 ARQUITECTURA DE GESTIÓN DE RECURSOS RADIO EN MOBILE-IP RAN.....	140
FIGURA 76 PROCEDIMIENTO DE CONFIGURACIÓN DE ALGORITMOS RRM.....	141
FIGURA 77 PROCEDIMIENTO DE REPORTE DE MEDIDAS DE RECURSOS RADIO.....	142
FIGURA 78 PROCEDIMIENTO DE ASISTENCIA.....	142
FIGURA 79 PROCEDIMIENTO DE COMANDO DE GESTIÓN DE RECURSOS	143
FIGURA 80 FORMATO DE DIRECCIÓN CoA EN MOBILE-IP RAN.....	143
FIGURA 81 TRANSICIONES ENTRE LOS ESTADOS DE MOVILIDAD RADIO (RED Y MÓVIL).....	144
FIGURA 82 PROCEDIMIENTO DE REGISTRO EN MOBILE-IP RAN	146
FIGURA 83 ESCENARIO DE ACTUALIZACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN	147
FIGURA 84 SEÑALIZACIÓN DE INICIO DE PAGING EN UN RAG UMTS	150
FIGURA 85 ESCENARIO DE PAGING EN MOBILE-IP RAN, MÓVIL EN ESTADO DISPONIBLE-AHORRO RAG	151
FIGURA 86 ESCENARIO DE PAGING EN MOBILE-IP RAN, MÓVIL EN ESTADO DISPONIBLE-AHORRO RMM.....	152
FIGURA 87 ESCENARIO DE PAGING EN MOBILE-IP RAN, MÓVIL EN ESTADO LIBRE	153
FIGURA 88 ESCENARIOS DE HANDOVER EN MOBILE-IP RAN.....	154
FIGURA 89 PROCEDIMIENTO GENÉRICO DE HANDOVER EN MOBILE-IP RAN	156
FIGURA 90 HANDOVER INICIADO POR EL MÓVIL.....	157
FIGURA 91 INICIO DE HANDOVER POR LA RED MOBILE-IP RAN	158
FIGURA 92 PREPARACIÓN DEL HANDOVER EN MOBILE-IP RAN, CASO INTRA-RAG	160
FIGURA 93 PREPARACIÓN DEL HANDOVER EN MOBILE-IP RAN, CASO INTRA-RMM E INTER-RMM	162
FIGURA 94 EJECUCIÓN DEL HANDOVER, CASO INTRA-RAG	164
FIGURA 95 LIBERACIÓN DE RECURSOS DE HANDOVER EN MOBILE-IP RAN.....	166
FIGURA 96 FALLO DEL HANDOVER EN MOBILE-IP RAN	167
FIGURA 97 EJECUCIÓN DEL HANDOVER, CASOS INTRA-RMM E INTER-RMM.....	168
FIGURA 98 PROCEDIMIENTO DE HANDOVER, CASO INTRA-RAN	170
FIGURA 99 ESCENARIO DE HANDOVER INTRA-RMM DESDE UN RAG CDMA2000 A UNO WIMAX.....	171
FIGURA 100 ESCENARIO DE HANDOVER INTER-RMM ENTRE DOS RAGS UMTS.....	172
FIGURA 101 ARQUITECTURA DE SOFT-HANDOVER EN MOBILE-IP RAN	173
FIGURA 102 PROCEDIMIENTO SOFT-HANDOVER PARA AÑADIR UNA CÉLULA AL GRUPO ACTIVO	174
FIGURA 103 PROCEDIMIENTO SOFT-HANDOVER PARA ELIMINAR UNA CÉLULA DEL GRUPO ACTIVO	176
FIGURA 104 PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE CÉLULA PRINCIPAL DEL GRUPO ACTIVO CON CAMBIO DEL RAG DE ANCLAJE....	179
FIGURA 105 MODELO SIMPLIFICADO DE SINCRONIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN.....	181
FIGURA 106 OPCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE SISTEMA EN MOBILE-IP RAN.....	182
FIGURA 107 SEÑAL DE REFERENCIA (DE RELOJ) DE SINCRONISMO ENTRE RAGS PARA SINCRONIZACIÓN ESTRICTA	183
FIGURA 108 PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS ENTRE RAGS EN SOFT-HANDOVER.....	185
FIGURA 109 PROCEDIMIENTO DE AJUSTE DE TEMPORIZACIÓN UTILIZANDO LA TRAMA DE DATOS DE SUBIDA	186
FIGURA 110 PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE IDA Y VUELTA ENTRE RAGS	186
FIGURA 111 ARQUITECTURA DE DESCUBRIMIENTO DE SERVICIOS EN MOBILE-IP RAN	188
FIGURA 112 PROCEDIMIENTO DE REGISTRO DE SERVICIOS EN MOBILE-IP RAN.....	191
FIGURA 113 PROCEDIMIENTO DE DESCUBRIMIENTO DE SERVICIOS DE MEDIDAS LMU EN MOBILE-IP RAN.....	192

FIGURA 114 PROCEDIMIENTO DE MAPEO DE SERVICIOS MOBILE-IP RAN EN EL RAG	193
FIGURA 115 ARQUITECTURA LBS EN MOBILE-IP RAN.....	194
FIGURA 116 PETICIÓN LCS ORIGINADA POR LA RED, MÓVIL INACTIVO	198
FIGURA 117 PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS DE POSICIONAMIENTO	199
FIGURA 118 PETICIÓN LCS INICIADA POR EL MÓVIL	200
FIGURA 119 FUNCIONES DE SEGURIDAD EN MOBILE-IP RAN	203
FIGURA 120 ESTADOS DE MOVILIDAD DE LA RED TRONCAL 4G.....	212
FIGURA 121 ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN DENTRO DE UNA RED GENÉRICA 4G.....	212
FIGURA 122 PROBABILIDAD DE ESTADOS GENERALES DE MOVILIDAD RESPECTO A T_{RAG}	214
FIGURA 123 PROBABILIDADES DE ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN RESPECTO AL TIEMPO DE INACTIVIDAD T_{RAG}	215
FIGURA 124 PROBABILIDAD DE ESTADOS GENERALES DE MOVILIDAD RESPECTO A λ_{RAG}	216
FIGURA 125 PROBABILIDADES DE ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN RESPECTO A λ_{RAG}	216
FIGURA 126 PROBABILIDAD DE ESTADOS GENERALES DE MOVILIDAD RESPECTO A λ_{sa}	217
FIGURA 127 PROBABILIDADES DE ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN RESPECTO A λ_{sa}	218
FIGURA 128 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=T_{RAG}$	219
FIGURA 129 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=2T_{RAG}$	219
FIGURA 130 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=3T_{RAG}$	219
FIGURA 131 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=10T_{RAG}$	219
FIGURA 132 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=50T_{RAG}$	219
FIGURA 133 PROBABILIDAD DE ESTADO PARA $T_{RMM}=100T_{RAG}$	219
FIGURA 134 PROB. DE ESTADO SI $\lambda_{RMM} = \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 135 PROB. DE ESTADO, $\lambda_{RMM} = 3 \times \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 136 PROB. DE ESTADO, $\lambda_{RMM} = 7 \times \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 137 PROB. DE ESTADO PARA $\lambda_{RMM} = 12 \times \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 138 PROBABILIDADES PARA $\lambda_{RMM} = 24 \times \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 139 PROBABILIDADES PARA $\lambda_{RMM} = 100 \times \lambda_{RAG}$	222
FIGURA 140 OCUPACIÓN DEL CANAL SDCCH-GSM –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO BÁSICO	225
FIGURA 141 OCUPACIÓN DEL CANAL SDCCH-GSM –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO AVAZADO	225
FIGURA 142 OCUPACIÓN DE DOS CANALES SDCCH-GSM – DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO BÁSICO.....	227
FIGURA 143 OCUPACIÓN DE DOS CANALES SDCCH-GSM – DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO AVAZADO.....	227
FIGURA 144 OCUPACIÓN DEL CANAL GPRS PDCH –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO BÁSICO	227
FIGURA 145 OCUPACIÓN DEL CANAL GPRS PDCH –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO AVAZADO	227
FIGURA 146 OCUPACIÓN DEL CANAL UMTS RACH/FACH –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO BÁSICO	228
FIGURA 147 OCUPACIÓN DEL CANAL UMTS RACH/FACH –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO AVAZADO	228
FIGURA 148 OCUPACIÓN DEL CANAL WLAN 802.11G –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO BÁSICO.....	229
FIGURA 149 OCUPACIÓN DEL CANAL WLAN 802.11G –DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MODO AVAZADO.....	229
FIGURA 150 MODELO DE RED UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN.....	232
FIGURA 151 MODELO DE RECEPCIÓN DE TRAMAS EN EL RAG EN SOFT-HANDOVER, DE ACUERDO CON [TS25402].....	233
FIGURA 152 RETARDO DE TRAMAS INTERFAZ IRAG _{SHO} , ESCENARIOS DE CARGA	236
FIGURA 153 RETARDO EN EL ESTABLECIMIENTO DEL CONTEXTO POR EL PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS	239
FIGURA 154 ANCHO DE BANDA DEL PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS EN LA INTERFAZ IRAG _{SHO}	241
FIGURA 155 ToA(1) PARA DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA (10 INTERVALOS DE TIEMPO).....	243
FIGURA 156 ToA(1) PARA DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA (255 INTERVALOS DE TIEMPO).....	244
FIGURA 157 TASA DE PÉRDIDAS (P) EN LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE CARGA	247
FIGURA 158 DIAGRAMA DE TRANSICIÓN ENTRE ESTADOS DE MOBILE-IP RAN	267
FIGURA 159 TRANSICIONES ENTRE ESTADOS DE REGISTRO Y ESTADOS DE MOVILIDAD	268

Lista de Tablas

TABLA 1 RESUMEN DE ÁREAS PRINCIPALES DE INVESTIGACIÓN EN LA 4G, DE [Hui2003]	22
TABLA 2 DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES EN LA E-UTRAN.....	33
TABLA 3 DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES DE RED EN MOBILE-IP RAN.....	91
TABLA 4 DEFINICIÓN GENERAL DEL BLOQUE DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA MOBILE-IP RAN PARA UMTS	95
TABLA 5 MAPEO DE FUNCIONES A LOS ELEMENTOS MOBILE-IP RAN	124
TABLA 6 ATRIBUTOS DE LAS CLASES DE SERVICIO EN MOBILE-IP RAN.....	129
TABLA 7 MAPEO DE FUNCIONES DE CALIDAD DE SERVICIOS A LOS ELEMENTOS MOBILE-IP RAN	132
TABLA 8 MAPEO DE FUNCIONES RRM A LOS ELEMENTOS DE RED MOBILE-IP RAN.....	141
TABLA 9 INICIO DE PAGING AL MÓVIL DEPENDIENDO DEL ESTADO DE MOVILIDAD	148
TABLA 10 IDENTIDADES DEL MÓVIL EN EL PAGING DE MOBILE-IP RAN	149
TABLA 11 TIPOS DE PAGING RESPECTO AL ESTADO GENERAL DE MOVILIDAD PARA DISTINTAS TECNOLOGÍAS RADIO	150
TABLA 12 SERVICIOS SOPORTADOS POR MOBILE-IP RAN Y LA RED TRONCAL CUYA UBICACIÓN DEBE SER CONOCIDA.....	187
TABLA 13 DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES EN LOS ELEMENTOS DE RED MOBILE-IP RAN.....	197
TABLA 14 DISTRIBUCIÓN DE FUNCIONES/OBJETIVOS DE SEGURIDAD EN LA RED MÓVIL.....	202
TABLA 15 PARÁMETROS DE ENTRADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO	214
TABLA 16 MENSAJES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MOBILE-IP RAN (INTERFAZ RADIO).....	224
TABLA 17 VALORES DE PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE CARGA DE LA INTERFAZ RADIO	224
TABLA 18 CANAL DE TRANSPORTE DE SEÑALIZACIÓN EN EL SISTEMA GSM.....	225
TABLA 19 CANALES DE TRANSPORTE PARA SEÑALIZACIÓN DCCH	227
TABLA 20 CARACTERÍSTICA DEL CANAL RADIO WLAN 802.11G.....	229
TABLA 21 TAMAÑO DE TRAMAS DE DATOS SOBRE LA INTERFAZ IRAG _{SHO}	234
TABLA 22 VALORES UTILIZADOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL RETARDO DEL PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS EN EL ESTABLECIMIENTO DE CONTEXTO	238
TABLA 23 VALORES UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA CARGA DEL PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN DE TRAMAS.....	240
TABLA 24 VALORES (ADICIONALES) UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE LOS ALGORITMOS DE SINCRONIZACIÓN	242
TABLA 25 VALORES DEL TIEMPO DE LLEGADA INICIAL (ToA(1)).....	242
TABLA 26 VALOR MÍNIMO, MEDIA Y VALOR MÁXIMO DEL TIEMPO DE LLEGADA (ToA).....	245
TABLA 27 VALORES DE LA TASA DE PÉRDIDAS (P) PARA LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE CARGA.....	246
TABLA 28 DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL BLOQUE DE INFORMACIÓN. FORMATO DE ACUERDO A [TS25331].....	265

CAPÍTULO 1

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Los sistemas móviles de tercera generación (3G) se han desarrollado como evolución de los sistemas existentes de segunda generación (2G) a saber, GSM y CDMA (IS-95). Los principales criterios del desarrollo de la 3G, recogidos por el proyecto de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en [IMT2000] fueron el proporcionar una interfaz radio de mayor capacidad de usuarios y que ofreciera mayores velocidades de usuario (en teoría 2 Mbps), objetivos que se lograron en la primera entrega de las especificaciones conocidas como *Release 99* en UMTS y *Release-A* en cdma2000. Desde el punto de vista de servicios, no se plantearon innovaciones importantes, lo cual incidió en la adopción inicial de la tecnología 3G por parte de los usuarios. El trabajo ha continuado dentro del 3GPP y 3GPP2 (organismos encargados de la especificación técnica de los sistemas 3G UMTS y cdma2000 respectivamente) para evolucionar los sistemas 3G, produciendo nuevas entregas (*Releases 4, 5, 6, 7 y 8 en UMTS y Releases A, B, C en cdma2000*) que incluyen mejoras sustanciales en la gestión de recursos radio proporcionando nuevos canales radio que soportan mayores velocidades: el HSPA (High Speed Packet Access); un nuevo dominio de comunicaciones multimedia sobre IP (IMS – IP Multimedia Subsystem) que abre la puerta a un nuevo escenario de servicios de tiempo real sobre el dominio de conmutación de paquetes; asimismo, se han completado la especificación de la integración de otras redes de acceso tales como LCR-TDD (*Low Chip Rate TDD*, especificado por China) y WLAN (*Wireless LAN*).

En la actualidad, tanto el 3GPP como el 3GPP2 trabajan, ya con una primera especificación pública, en la especificación de nuevos modelos de red (*LTE – Long Term Evolution* para UMTS y *UMB – Ultra Mobile Wideband* para cdma2000), con interfaces radio con más capacidad, más simples, mejor adaptados a las redes IP y con una mejor estructura de costes operacionales y de despliegue, que algunos ya denominan 4G. Esta red de acceso incorpora funcionalidades de movilidad IP, sin embargo, no existirá la integración en el acceso para las tecnologías existentes. Un ejemplo, es que la nueva red de acceso considera los accesos UTRAN y WLAN como otras redes de acceso, y su integración se realizará a nivel de la red troncal.

En paralelo a la evolución de los sistemas 3G, diversos organismos, empresas, universidades e instituciones gubernamentales comenzaron el estudio de la cuarta generación (4G), definiendo

varias áreas de interés. [Hui2003] las agrupa en tres áreas: estación móvil, sistema y servicios, tal como se muestra en la Tabla 1.

En el área de redes, el principal aspecto de la investigación en las redes 4G es la integración de distintas tecnologías radio sobre una red basada en IP, que proporcione movilidad de usuario, y que soporte la calidad de servicio requerida por las aplicaciones. [Frattasi2006] menciona la heterogeneidad en el acceso como la característica de red más importante en la 4G. Las redes de acceso móvil en la 4G constituyen el marco general en que se encuadra esta Tesis Doctoral.

Área	Descripción
Estación Móvil	
Terminales Multimedia de usuario	Diseño de un Terminal de usuario que pueda operar en varias redes inalámbricas, de forma efectiva (en coste, tamaño y usabilidad)
Descubrimiento de sistemas inalámbricos	Descubrir los sistemas inalámbricos disponibles procesando las señales de distintos sistemas (con distintos métodos de acceso)
Selección de sistemas inalámbricos	Selección del sistema de acuerdo a criterios tales como calidad de servicios, recursos de red o preferencias del usuario
Sistema	
Movilidad de terminal	Mantener actualizada la localización del Terminal en los varios sistemas. Incluye la realización de <i>handovers</i> entre la misma red y entre distintas redes, sin afectar la calidad de la comunicación.
Infraestructura de red y Calidad de servicio	Integrar distintos sistemas, basados en IP y aquellos existentes no basados en IP a través de una red IP con soporte a calidad de servicio
Seguridad	Realizar funciones de seguridad a través de un sistema de múltiples redes de acceso
Tolerancia a Fallos	Minimizar los fallos y sus impactos potenciales en las actuales redes de relación jerárquica.
Servicio	
Sistemas multi-operador	Sistemas de recolección de datos de tasación que soporten múltiples proveedores de servicios
Movilidad personal	Proporcionar transparencia a nivel de servicios, independientemente de la red de acceso

Tabla 1 Resumen de áreas principales de investigación en la 4G, de [Hui2003]

1.2 Entorno de la Tesis Doctoral

Los sistemas móviles de tercera generación (3G) ofrecen una serie de servicios multimedia en el ámbito de las comunicaciones móviles, cubriendo desde los servicios telefónicos hasta servicios de videoconferencia, acceso a Internet y soporte a diferentes medios.

Para ofrecer estos servicios, las redes 3G se basan en una arquitectura que si bien sus líneas generales fueron definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en el sistema IMT-2000 [IMT2000], derivó en distintos estándares, donde los más importantes son el sistema UMTS [TS23002, TS23101] especificado por el 3GPP (*Third Generation Partnership Group*), y el sistema cdma2000 [CS0001-C, SR005-B], especificado por el 3GPP2 (*Third Generation Partnership Group 2*). La arquitectura de ambas redes se basa en una red de acceso que proporciona las funciones necesarias para establecer y mantener la conectividad radio y una red troncal que proporciona las funciones de telecomunicación, gestión de movilidad, servicio y gestión de usuarios.

La arquitectura de las redes de acceso está basada en protocolos de acceso radio propios de cada tecnología, debido a las diferentes características de la interfaz radio (MC-CDMA en cdma2000 y WCDMA en UMTS). Sin embargo, a pesar de estas diferencias, muchas de las funciones realizadas son comunes o similares entre sí (sincronización, soft-handover, transmisión de datos de usuario, localización, etc.).

Aunque estas funciones son comunes y en muchos casos similares, el uso de protocolos de enlace, acceso, red y aplicación, que son específicos a cada tecnología radio hace que los elementos de red y el móvil sean incompatibles entre estas tecnologías. Por esto, los fabricantes de móviles e infraestructura de red radio deben diseñar estos elementos por separado, incrementando los costes y reduciendo su eficiencia operacional, y en la mayoría de los casos, limitando el enfoque de los fabricantes a una sola de estas tecnologías.

La investigación y el trabajo de especificación técnica en las redes de acceso 3G se ha enfocado fundamentalmente al desarrollo de nuevos estándares y equipos (*hardware*). Además del trabajo de especificación continua de las redes 3G, diversas instituciones y universidades han publicado trabajos para integrar las redes móviles con las tecnologías Internet. Han destacado el Mobile Wireless Internet Forum – MWIF (actualmente OMA: *Open Mobile Alliance*), que publicó una serie de informes técnicos donde especifica una arquitectura abierta basada en IP, independientemente de la tecnología de Interfaz Aire [MWIF]. Si bien la arquitectura era abierta y daba cabida a protocolos IP móvil que pudiesen adaptarse a entornos celulares, el trabajo de especificación culminó en un nivel muy general, por lo que no se proporcionaron técnicas o protocolos específicos para la implantación de esta arquitectura abierta. Proyectos Europeos como MIND [Wisely2002], Moby Dick [D0101] y WineGlass [WineGlassD16] han propuesto arquitecturas de redes denominadas 4G, enfocados en su integración en una red troncal común basada en IP móvil, pero manteniendo independencia de las redes de acceso y sus protocolos radio, por lo que la integración se ha enfocado en los protocolos de la red troncal.

De acuerdo con [Hui2003, Frattasi2006] uno de los aspectos fundamentales que se tienen en cuenta en la investigación sobre redes 4G, no se encuentra en la especificación de sistemas, sino en la integración de las tecnologías radio existentes tales como las redes móviles 2G, 3G, y otras tecnologías de acceso tales como WLAN, Bluetooth, entre otras, y proporcionar de manera integrada, esquemas de calidad de servicio, gestión de recursos y servicios de usuario. Implantar estas funcionalidades en las redes actuales (formando entonces redes 4G) presenta una serie de retos, en su arquitectura y en cada uno de sus componentes.

En la infraestructura de red, los siguientes son los aspectos más importantes en consideración:

- Movilidad del Terminal, para poder ubicar al móvil en los distintos sistemas, incluyendo los trasposos dentro del mismo sistema y entre ellos.

- Las infraestructuras de red, con soporte a calidad de servicio, que integre los servicios tradicionalmente asociados al protocolo IP con aquellos asociados a las tecnologías de conmutación de circuitos con soporte a calidad de servicio.
- Seguridad, cuya gestión se hace más compleja en un ambiente de acceso multi-tecnología.

El entorno genérico de esta tesis se ubica dentro de las infraestructuras de red, específicamente en la propuesta de una arquitectura de red de acceso radio, que denominamos Mobile-IP RAN, que dé soporte a las tecnologías radio predominantes en la 3G (UMTS y cdma2000) y las propuestas de 4G, y que proporcione los servicios de acceso a una red de conmutación IP 4G basada en tecnologías IP móvil.

Más concretamente, esta tesis se centra en la definición de la arquitectura de red de acceso móvil 4G, incluyendo la definición de los elementos de red, funciones y protocolos asociados, así como en la estimación y/o simulación de condiciones de la red propuesta que permitan determinar la validez del modelo propuesto, enfocados en la propuesta de arquitectura de movilidad, posicionamiento de usuario y sincronismo.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Problemas de las arquitecturas IP móvil en las redes de acceso radio

Los trabajos revisados en el estado del arte, si bien están enfocados a la realización de arquitecturas 4G, se centran en las arquitecturas para proporcionar servicios de usuario, tomando en cuenta la independencia de la arquitectura de acceso radio, mas no su integración. Por ejemplo Daidalos [Daidalos2004], Mobydick [D0101], MIND/BRAIN [Wisely2002], Wineglass [WineGlassD16], consideran las redes UMTS, GSM, WLAN, como redes de acceso independientes, con sus propios mecanismos de movilidad y gestión de los recursos radio. Esto, si bien desde el punto de vista del usuario, no representa mayor o menor funcionalidad, desde el punto de vista de los fabricantes de infraestructura de red o de terminales, representa una ineficiencia en torno al mantenimiento de diversas tecnologías/protocolos para proporcionar servicios similares (movilidad radio, gestión de los recursos radio, etc.).

En la red de acceso radio, a pesar de los avances de la investigación y estandarización de la movilidad IP, que incluyen la movilidad jerárquica, los traspasos rápidos y la transferencia de contexto para resolver problemas importantes con miras a la implantación de arquitecturas IP móvil en las redes 3G, como demostró el proyecto Moby Dick, existen aún limitaciones importantes, que aunque no son específicas al nivel de red, se deben tomar en cuenta a la hora de implantar el protocolo IP como base de las comunicaciones móviles, para mantener al menos los mismos servicios que proveen las redes 3G, entre los que se encuentran:

1. Gestión de recursos radio: La gestión de recursos radio en las redes 3G necesita de elementos dedicados para su realización eficiente. En las redes 3G, basadas en tecnologías CDMA, la gestión de los recursos radio es una tarea compleja de la cual se encargan todos los elementos de la red de acceso incluyendo al móvil. La gestión de los recursos radio, incluye la asignación de canales, control de potencia, gestión de códigos, etc. La gestión de los recursos radio depende exclusivamente de la tecnología, aunque organismos de especificación técnica han trabajado en la especificación de servidores

de gestión de los recursos radio multitecnología [TR25881], con vistas a integrar la gestión de diferentes tecnologías radio (por ejemplo GSM, EDGE y UMTS). En este aspecto, es importante tomar en cuenta que el enlace radio, típicamente es el cuello de botella para la transmisión de datos por lo que su gestión eficiente es de máxima importancia para optimizar los recursos utilizados. Las investigaciones de integración de IP en las redes móviles han resultado en un traslado de todas las funciones de gestión de los recursos radio a la estación base (RG en el caso de Moby Dick) lo que reduce notablemente la eficiencia en la gestión, dado que en muchos escenarios, se necesita una visión más global del entorno la cual no está presente en la estación base. Ejemplos de funcionalidades de gestión que van más allá de la estación base son el control de interferencias entre estaciones, la gestión de la carga entre estaciones, etc. La solución propuesta para las redes 4G debe permitir e incluir elementos o funciones (centralizadas o distribuidas) para las funciones de gestión de los recursos radio que necesitan una visión más amplia. Otro aspecto importante a tomar muy en cuenta en la gestión de recursos radio de las redes 4G, y mencionado en [Sachs2004] es que la gestión de los recursos radio Inter-tecnologías debe tomar en cuenta no solo la movilidad (por ejemplo para realizar un traspaso entre sistemas), sino otros aspectos como por ejemplo el tipo de servicio que el usuario tenga activo, ya que éstos podrían ser servidos por una tecnología, pero no por la otra, o que un servicio específico pueda ser servido por una red mientras otra provee soporte a otros servicios al mismo tiempo. Proyectos europeos tales como CAUTION++ [CautionD61] y AROMA [AROMAD01], han realizado propuestas para la gestión de los recursos radio en redes heterogéneas 4G.

2. Handover (Trasposos): Las redes móviles actuales especifican los trasposos a nivel IP, los cuales pueden o no apoyarse en umbrales de trasposos de capa 2 (nivel radio). Un ejemplo de este caso es el soft-handover de CDMA, donde el usuario está conectado a dos enlaces radio al mismo tiempo, y existe una función en la red que combina/selecciona las señales para mejorar la calidad del enlace (ya sea por reducción del ruido o por reducción de los errores de trama). A nivel IP existe el concepto de bicasting IP que consiste básicamente en duplicar los paquetes IP a dos destinos; sin embargo existen problemas en la aplicación del bicasting en las redes 3G ya que las tramas radio son pequeñas por naturaleza y la combinación se realiza bloque por bloque, lo cual no es posible utilizando bicasting IP, ya que la combinación (selección) se realiza a nivel de paquete IP, el cual puede contener muchos bloques, disminuyendo notablemente la eficiencia de la selección. Tomando en cuenta la importancia del mantenimiento del enlace radio, es necesario que las redes basadas en IP consideren, de igual forma que en la gestión de los recursos radio, que la funcionalidad de Soft Handover sea soportada de una forma eficiente en forma conjunta a las funcionalidades Hard Handover actualmente presentes en los protocolos IP. [Newman2004] indica además que la arquitectura actual de soft-handover incluye elementos centralizados, que deben analizar y procesar los paquetes de entrada/salida para el traspaso con un periodo de aproximadamente 10ms. El autor asevera que esta frecuencia es muy alta para cumplirse sobre una red distribuida IP, por lo cual la arquitectura actual no funcionaría en una red radio todo IP. Un aspecto importante a mencionar es que, a pesar del beneficio contrastado del soft-handover en las redes 3G, la propuesta de red LTE en UMTS, prescinde del soft-handover al no utilizarse canales dedicados sobre una nueva interfaz radio OFDM.

3. Sincronización: Debido a las características del enlace radio, la sincronización es una de las funcionalidades que deben tener más confiabilidad, ya que de ella depende el correcto funcionamiento del enlace. En especial en el caso de soft-handover, la sincronización al nivel de trama (o paquete) es necesaria para la correcta transmisión-recepción del móvil. En el caso de cdma2000, la sincronización se obtiene de una forma más sencilla ya que todas las estaciones están sincronizadas entre sí a través del uso de GPS. En UMTS, en el modo FDD, las estaciones base no están sincronizadas entre sí y la sincronización se obtiene a través de los protocolos radio. Esto representa un problema cuando los protocolos radio son sustituidos por protocolos IP, ya que no existe el concepto de trama radio dentro de la red de acceso IP, y la sincronización no es posible, lo cual limita la funcionalidad de trasposos, ajustes de sincronización radio y de trama. Es necesario que las redes de acceso móvil IP provean mecanismos a través de sus protocolos que permitan una correcta sincronización del enlace radio.
4. Descubrimiento de Servicios: En las redes móviles celulares, no existe el concepto de descubrimiento de servicios de red. En estas redes existe una configuración estática de los servicios (por ejemplo, el BSC está conectado al MSC directamente a través de un protocolo de comunicación y control), que permite al móvil no realizar la petición (por ejemplo una llamada) hacia un nodo de servicios de red (MSC), sino que la petición es enrutada al servidor (MSC) a través de una ruta por defecto. En las redes Internet móvil, el modelo de servicios estáticos de red no se adapta al entorno, ya que existe una serie de servidores de servicios (por ejemplo servidores de localización, bróker de calidad de servicios, gestores de recursos, gestores AAA) que no pueden anunciarse a sus potenciales clientes, a menos que existe una arquitectura de anuncio o descubrimiento de servicios. Actualmente la arquitectura IPv6 móvil proporciona mecanismos de anuncio de servicios para el MAP y para el HA, pero no para otros elementos de red.
5. Otras funcionalidades: La red de acceso radio IP debe dar soporte a todas las funcionalidades actualmente soportadas por las redes 3G, esto incluye el servicio de determinación de la posición, soporte a calidad de servicio, gestión de acceso, etc. Un aspecto a tomar en cuenta es la eficiencia en el soporte de estos servicios, siguiendo la premisa de utilizar protocolos basados en IP siempre que sea posible. [Newman2004] incluye otras funcionalidades, tales como el control de potencia, además de los trasposos, los cuales no están optimizados para aplicaciones de datos IP.

1.4 Objetivos de la Tesis Doctoral

El objetivo principal de la Tesis Doctoral es la aportación de una arquitectura de red de acceso radio 4G, como aporte a la solución general de arquitectura de las redes de cuarta generación, que permita la integración de las tecnologías radio fundamentales en la 3G (WCDMA y MC-CDMA) y aquellas que existen o existirán como tecnologías radio convergentes en la 4G (WLAN). En particular, esta arquitectura de acceso estará basada en la arquitectura IP móvil, tal como está definida por el IETF.

Los principales aportes, respecto al estado de arte considerado, se consideran los siguientes:

- La definición de una red de acceso radio basada en IP que integre las principales funciones de las redes de acceso móvil de la 3G y aquellas de la 4G. Estas funciones son movilidad radio, gestión de los recursos radio, transferencia de datos de usuario, sincronización y localización de usuario. Esta nueva arquitectura permitirá compartir la

infraestructura de acceso radio entre las distintas tecnologías radio, con el objeto de que los proveedores de servicios móviles incorporen de forma integrada nuevas tecnologías radio, sin necesidad de añadir más infraestructura que las estaciones transmisoras (estaciones base).

- La integración entre las tecnologías de acceso móvil 3G y 4G, que permitirá que los fabricantes de tecnologías móviles, puedan utilizar la misma infraestructura para el despliegue de redes de acceso radio con distintas interfaces radio (por ejemplo UMTS y cdma2000), diferenciándose sólo en la etapa radio.

Para conseguir este objetivo, se plantean un conjunto de objetivos específicos, que constituirán asimismo las principales contribuciones de la Tesis Doctoral:

- Determinación de los requisitos que debe cumplir la red de acceso en cuanto a movilidad, seguridad y acceso, transferencia de datos, localización de usuario, sincronización y handover. Los requisitos deben ser lo suficientemente específicos para determinar las tecnologías y servicios concretos que proporcionará la red de acceso.
- Definición de un modelo de red de acceso¹, incluyendo la definición de las funciones que la red de acceso realiza, así como la definición de las funciones de los elementos de red que la componen y sus protocolos asociados, que permitan ofrecer los servicios generales de movilidad, acceso al medio, transferencia de datos, localización de usuario², sincronización y handover.
- Definir el comportamiento dinámico de las funciones de gestión de los recursos radio (denominada Movilidad Radio), sincronización y localización de usuarios².
- Validar a través de estimaciones numéricas y de simulación, las soluciones propuestas de movilidad radio, sincronización y localización de usuarios². Los resultados de las estimaciones y simulaciones deben proporcionar valores de carga de señalización, escalabilidad, utilización de los canales radio y otros valores que permitan validar la propuesta.

1.5 Estructura de la Memoria

La memoria de esta tesis se estructura de la siguiente manera. A partir de este capítulo de Introducción, el Capítulo 2 presenta en Estado del Arte en el área de estudio de esta tesis. Se introducen las investigaciones más importantes manejadas desde los organismos de especificación técnica 3GPP, 3GPP2 e IETF; de los proyectos europeos DAIDALOS, WineGlass, MIND, Moby Dick, Caution++ y AROMA, así como las investigaciones independientes o externas más relacionadas con el ámbito de estudio.

En el Capítulo 3 se desarrolla la primera contribución de la tesis, en el que se proponen los requisitos generales y específicos que debe cumplir la red de acceso Mobile-IP RAN para el soporte de los servicios y las tecnologías radio de la 4G. Estos requisitos se dividen en las

¹ En la línea de investigación relacionada con la definición de un modelo de red de acceso, el autor realizó avances que fueron publicados en [Montilla2003].

² En la línea de investigación relacionada con la localización de usuarios en redes de acceso 4G, el autor realizó avances que fueron publicados en [Montilla2004].

siguientes áreas: generales, movilidad de usuario, sincronización de red y de usuario, transferencia de datos de usuario, localización de usuario, calidad de servicio, AAA, seguridad y descubrimiento de servicios.

En el Capítulo 4 se desarrolla la arquitectura de Mobile-IP RAN. Se describe el modelo general de la red de acceso, los nodos de la red y sus respectivas funciones detalladas. Se describen las interfaces en los diferentes planos de comunicación, el modelo general de AAA, Calidad de Servicio, y de gestión de los recursos radio. Se especifica el modelo de movilidad, sincronización y de determinación de la posición del usuario, realizando el análisis del comportamiento dinámico de los distintos elementos de red en escenarios de movilidad (registro, actualización de la localización, paging, handover y soft-handover), sincronización y servicio de determinación de la posición de usuario a través de Diagramas de Secuencia de Mensajes (*MSC – Message Sequence Chart*).

En el Capítulo 5 se presenta el análisis del modelo de movilidad en Mobile-IP RAN a través del cálculo de la probabilidad de estado estacionario para cada uno de los estados de movilidad en Mobile-IP RAN.

En el Capítulo 6 se presenta el análisis del servicio de determinación de la posición en Mobile-IP RAN a través del cálculo de la carga de señalización para el servicio de posicionamiento básico y avanzado en varias tecnologías radio: GSM, UMTS y 802.11g.

En el Capítulo 7 se presenta el análisis del mecanismo de sincronización de tramas en Mobile-IP RAN, a través del cálculo del retardo y de la carga generada por el procedimiento de sincronización, así como del tiempo de llegada y de la tasa de pérdida de tramas para distintos escenarios de carga de la interfaz entre RAGs para soft-handover ($iRAG_{SHO}$).

Finalmente, el Capítulo 8 presenta las principales conclusiones y contribuciones de la tesis doctoral, en el que también se incluyen una serie de temas posibles de investigación futura.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

La integración de redes de acceso móvil heterogéneas es uno de los ámbitos de investigación más activos en la comunidad científica que investiga sobre la 4G. Bien sea la evolución de las redes móviles 3G, o propuestas novedosas de arquitecturas de red, uno de los factores primordiales que estas propuestas toman en cuenta, es la evolución de estas redes a entornos de movilidad IP.

El objetivo del análisis del estado del arte, es determinar, dentro del ámbito de esta tesis, el estado de desarrollo de las arquitecturas de acceso radio 4G basadas en IP móvil, y cuales son las áreas específicas donde la propuesta de arquitectura de acceso radio Mobile-IP RAN realiza sus principales contribuciones al estado del arte de la tecnología.

Este capítulo, presenta y analiza el estado del arte de las arquitecturas de redes móviles 4G, comenzando con las propuestas de evolución de las redes móviles 3G, enfocado en los sistemas UMTS y cdma2000 y sus respectivas propuestas de evolución hacia la 4G. Seguidamente, se presentan los avances técnicos relacionados con la arquitectura y los protocolos de movilidad IP propuestos por el IETF (*Internet Engineering Task Force*, organismo encargado de la especificación técnica de las arquitecturas y protocolos IP) y el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), haciendo énfasis en la gestión de la movilidad local, paging, gestión de handover y la transferencia de contextos en un entorno móvil.

A continuación se presentan las propuestas de arquitectura más relevantes hechas por la comunidad científica y universitaria, destacando los proyectos DAIDALOS, Wine Glass, MIND, Moby Dick y CAUTION++.

El análisis del estado del arte se completa con la presentación de otros trabajos de investigación en arquitecturas 4G, movilidad radio, sincronización y servicios de localización, relacionados con el ámbito de esta tesis.

2.2 Redes de Acceso Radio 3G

Las tecnologías móviles 3G dominantes son cdma2000 [CS0001-C, SR005-B] y UMTS [TS23002, TS23101], basadas en las redes de acceso radio (RAN) en cdma2000 [AS0011-A] y GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) y UTRAN (UMTS Radio Access Network) en UMTS [TS25401]. La Figura 1 muestra la arquitectura básica de la red UTRAN, cuyos elementos principales son el Nodo B (estación base) y el RNC (Controlador de red radio). La Figura 2 muestra la arquitectura básica de la red de acceso radio cdma2000. De forma similar a UMTS, su arquitectura es también jerárquica, basada en Estaciones base, conectadas a controladores de estaciones base (BSC). Asimismo, ambos sistemas están conectados a los dominios de conmutación de circuitos y de paquetes a través de interfaces específicas (Iu-PS en el caso de UMTS y A10/A11 en el caso de cdma2000). La funcionalidad de soft-handover se realiza a través de la interfaces Iub e Iur en UMTS y las interfaces A_{bis}, A3/A7 en cdma2000.

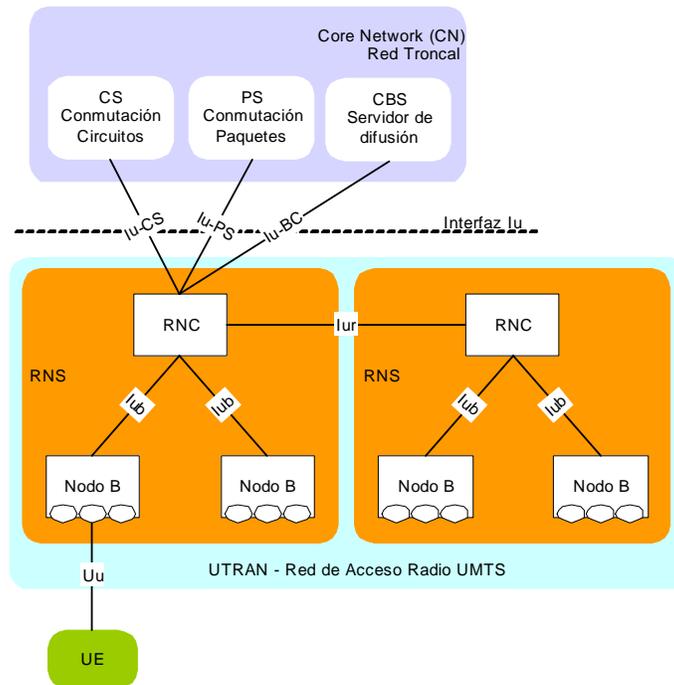


Figura 1 Arquitectura de red UTRAN

La arquitectura de estas redes está basada en protocolos de acceso radio propios de cada tecnología, debido a las diferentes características de la interfaz radio (MC-CDMA en cdma2000 y WCDMA en UMTS). Sin embargo, a pesar de estas diferencias, muchas de las funciones realizadas son comunes entre sí (sincronización, soft handover, transmisión de datos de usuario, localización, etc.).

En términos generales, las redes de acceso radio 3G realizan las siguientes funciones de red:

- Mantenimiento de conexión móvil-red troncal: La red de acceso transporta los datos de usuario y señalización entre el móvil y la red troncal. Un aspecto importante es la gestión de los recursos de la red radio para garantizar la calidad de servicio extremo a extremo requerida por el usuario.

Para esto, la red traduce los parámetros de calidad de servicios del usuario (por ejemplo tasa de bit, retardo), a parámetros de calidad de servicio del enlace radio (por ejemplo intervalos de transmisión, tamaño del bloque de radio, esquema de codificación), que la red de acceso debe cumplir para garantizar la calidad.

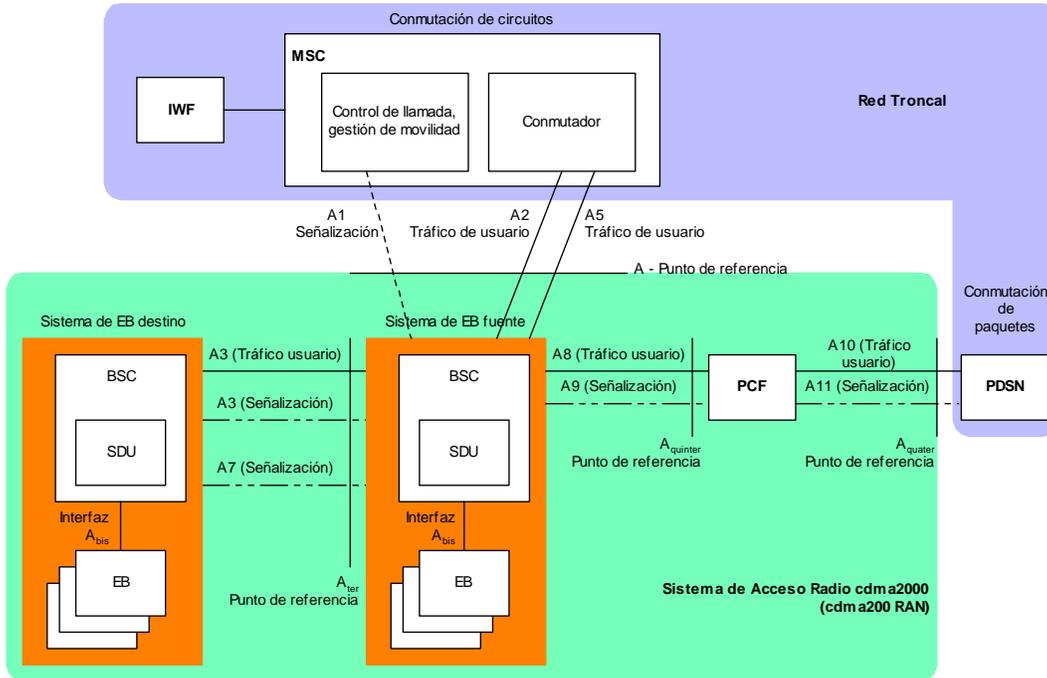


Figura 2 Arquitectura RAN cdma2000

- Control de acceso al medio: La red de acceso radio, en conjunto con el móvil realizan control de acceso de acuerdo a las reglas de la red troncal.
- Gestión de recursos radio: A través de las funciones de control de potencia, handover, gestión de la asignación de canales/códigos, la red radio asigna, y mantiene de forma óptima los recursos radio utilizados por el móvil. Estos recursos dependen principalmente de la aplicación que se utilice, ya sea voz, datos o video. Tradicionalmente, han existido canales radio dedicados y compartidos, los cuales se utilizan dependiendo del tipo de comunicación (voz/datos/video) y de los parámetros de calidad de servicio que ésta requiere. Las mejoras e introducciones de nuevos canales radio son constantes en la evolución de estas redes, con el objeto de mejorar la eficiencia espectral y la calidad de servicio. En las redes 3G los últimos canales que se han incluido en las especificaciones técnicas son aquellos que proporcionan soporte a los servicios de difusión/multidifusión (broadcast/multicast). En muchos casos [Wang2004], el soporte a estos nuevos servicios no solo involucran nuevos canales, sino cambios en la arquitectura al incluir nuevos elementos y funciones de red.
- Movilidad radio: La red radio se encarga de gestionar la movilidad, como parte de la gestión de recursos radio, cuando el móvil está conectado a la red, a través de procedimientos de registro, gestión de los estados de movilidad, paging, trasposos, de forma que el usuario se mantenga conectado y utilizando sólo los recursos necesarios de acuerdo a su perfil de movilidad y actividad.

- **Sincronización:** La red radio se encarga de sincronizar la información del usuario con el móvil, a nivel radio, y de trama. En el caso de soft-handover, la red se encarga de sincronizar la transmisión de forma que las tramas radio lleguen al móvil al mismo tiempo, permitiendo la combinación o selección. Existen de forma general dos tipos de mecanismos de sincronización, aquellos basados en una referencia de tiempo común (normalmente GPS) y aquellos sin referencia de tiempo común, que se basan en protocolos de red para lograr el sincronismo.
- **Determinación de la posición:** La red radio, en conjunto con elementos de la red específicamente diseñados para este fin, realiza medidas radio para calcular la posición del móvil, bajo petición de la red o del móvil, para proporcionar servicios de localización (LCS).

Todos estos servicios deben mantenerse en cualquier tecnología de acceso radio. Dadas las particularidades propias de cada tecnología, estas funciones están implantadas a través de distintos protocolos en cada una de las tecnologías, a pesar de poseer una gran similitud en la forma como se proveen. Esta similitud permite el planteamiento de la propuesta de homogeneizar las funcionalidades de la red radio de cualquier tecnología móvil, en una serie de protocolos comunes.

2.2.1 Evolución de la arquitectura UMTS (E-UTRAN) – Release 8

A partir de la arquitectura de red definida en la *Release 99*, y mantenida sin cambios en *Release 4*, el 3GPP comenzó con la *Release 5* la introducción de los protocolos IP como base en el transporte de red, proporcionando la posibilidad de colocar infraestructura 3G sobre redes IP, como sustituto a las redes basadas en ATM.

La arquitectura definida por la *Release 6*, incluye el subdominio IMS (*IP Multimedia Subsystem*) que añade un dominio de servicios multimedia basados en SIP (*Session Initiation Protocol*) sobre el dominio existente de conmutación de paquetes.

Como parte de la continua evolución de la red UMTS, el 3GPP comenzó el estudio, como parte de la *Release 7* (continuando en la *Release 8*), de la especificación de una nueva arquitectura de red móvil, que sería válida en los próximos 10 años, orientada a una infraestructura que soporte mayor velocidad, bajo retardo, orientada a paquetes, y que soporte varias tecnologías de acceso radio. Esta arquitectura estará basada en el dominio de conmutación de paquetes, y se asume que los servicios de tiempo real (voz y video) se ofrecerán sobre este dominio.

Los aspectos más importantes relacionados con la evolución de la red son los siguientes:

- Soporte de una variedad de redes de acceso y la selección de la red de acceso basado en las políticas de operador, preferencias del usuario, y las condiciones de la red de acceso.
- Mantenimiento de la calidad de servicio negociada a lo largo de todo el sistema, en particular entre dominios y entre redes, y calidad de servicio en el enlace radio.
- Soporte a movilidad radio, entre dominios y entre redes

Función	eNB ³	Fuera del eNB	Comentarios
Gestión de recursos radio	X		
Decisión de políticas		X	
Admisión de los recursos pedidos o rebajar la petición	X	X	El eNB puede admitir/renegociar los recursos requeridos de acuerdo a la petición de la red
Autorización de QoS basado en la suscripción/servicio		X	
Reclasificación de los paquetes de subida	X	X	En el eNB se puede realizar a través del mapeo a un canal/portadora específico
Reforzamiento de políticas de QoS en el enlace de subida	X		
Clasificación de los paquetes de bajada		X	No incluye la QoS en el enlace radio
Reforzamiento de políticas de QoS en el enlace de bajada		X	
Autenticación, autorización, manejo de claves		X	
Gestión de localización, paging, acceso radio y movilidad en modo disponible (LTE_IDLE)	X	X	La función del eNB es indicar la información de célula al móvil para la selección de PLMN/Célula
Codificación de canal, protección de integridad en el UE	SD ⁴	X	
Cifrado terminado en el móvil	SD	X	
Compresión de cabeceras IP entre el UE y la red		X	
Movilidad de acceso radio (intra-red) en modo conectado	X		
Protocolos radio (ARQ, scheduling, etc)	X		
Tasación		X	
Asignación de direcciones IP		X	
Roaming		X	
Distribución de llamadas		X	
Movilidad de acceso radio (inter-red) en modo conectado	X	X	
Movilidad de acceso radio (inter-red) en modo disponible	X	X	
Selección de la red de acceso	SD	X	
Intercepción legal de comunicaciones		X	
Posicionamiento	X	X	
Servicios multimedia de Difusión y multidifusión	X	X	

Tabla 2 Distribución de funciones en la E-UTRAN

En la red radio, los siguientes son los objetivos a conseguir con E-UTRAN [TR25813]:

- Reducir el número de canales de transporte, eliminando los canales dedicados y utilizando canales compartidos, eliminando la capa MAC-d.
- Al no existir canales dedicados, se elimina la necesidad de soft-handover

³ E-UTRAN Node B, se refiere al Nodo B que soporta la funcionalidad LTE – Long Term Evolution

⁴ SD – Sin decisión

- No se soporta el modo comprimido para las mediciones multifrecuencia
- Reducir el número de estados RRC.

De forma preliminar, el 3GPP ha acordado en [TR23882] la siguiente división de funciones entre la red troncal evolucionada y las redes de acceso evolucionadas o existentes.

2.2.1.1 Arquitectura E-UTRAN

La arquitectura E-UTRAN consiste en Nodos B evolucionados (eNBs) que proveen las funciones del enlace radio (RLC/MAC/L1) y el plano de control (RRC) hacia el móvil. Los eNBs se comunican con las pasarelas de acceso E-UTRAN (aGW) a través de la interfaz S1, y se interconectan a través de la interfaz X2. La Figura 3 muestra la arquitectura E-UTRAN y sus interfaces.

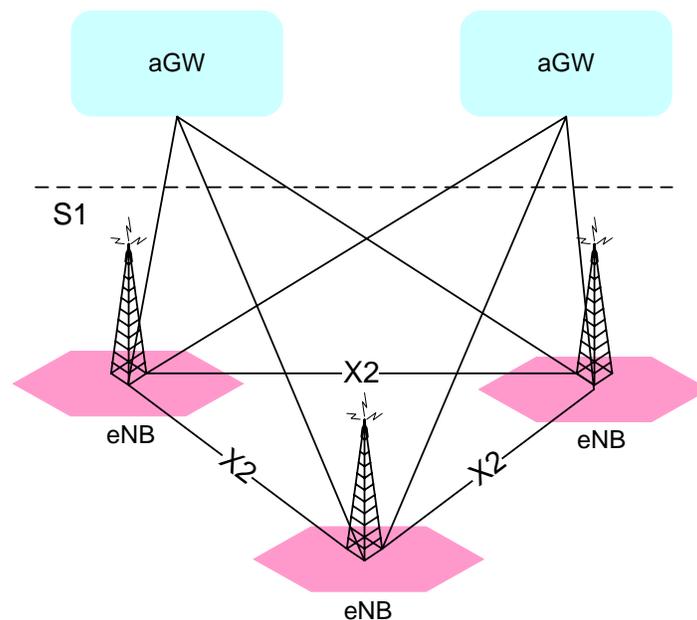


Figura 3 Arquitectura E-UTRAN

Las funciones acordadas en [TS25813] para el Nodo B mejorado (eNB) son:

- Selección de la pasarela de acceso (aGW) al momento de acceder a la red
- Enrutamiento al aGW durante la activación RRC
- Arreglo y transmisión de los mensajes de paging
- Arreglo y transmisión de los mensajes información del sistema en el canal de difusión BCCH.
- Asignación dinámica de recursos al móvil en los enlaces ascendente y descendente
- Configuración y provisionamiento de las medidas eNB
- Control de la portadora radio
- Control de admisión radio

- Control de la movilidad de la conexión en el estado LTE_ACTIVE (Activo).

Las funciones acordadas en [TS25813] para la pasarela de acceso E-UTRAN (aGW) son:

- Creación de mensajes de Paging.
- Gestión del estado LTE_IDLE (Disponible).
- Cifrado del plano de usuario
- Terminación del protocolo PDCP
- Control de la portadora SAE⁵.
- Cifrado y protección de integridad de la señalización de red.

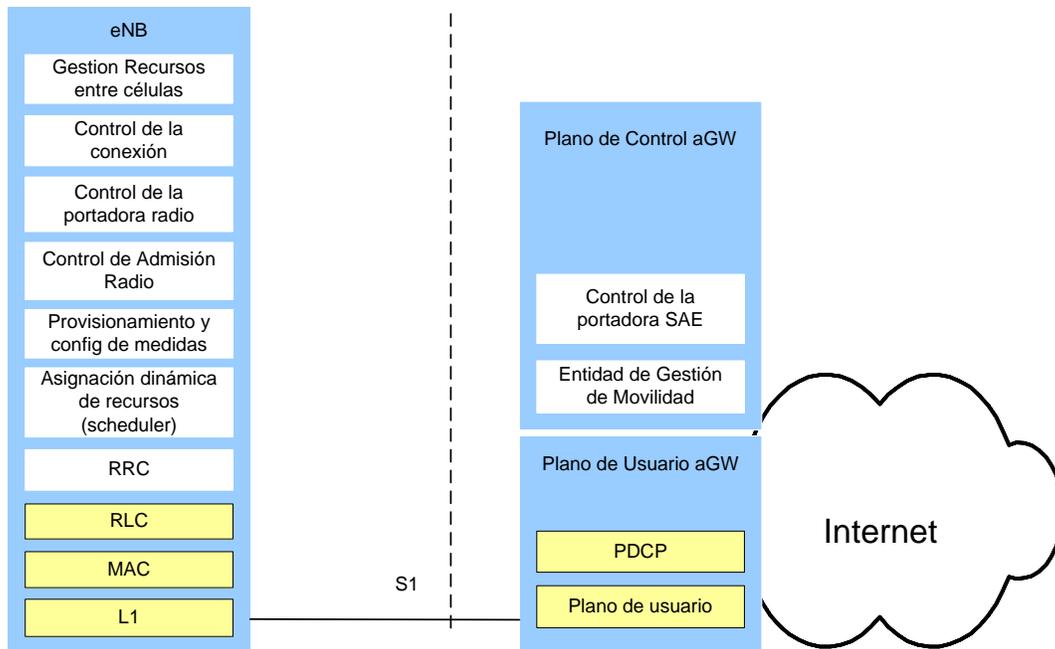


Figura 4 Distribución de funciones en la E-UTRAN

2.2.1.2 Movilidad Radio en E-UTRAN

Como parte del principio de simplificación de la red, el 3GPP ha simplificado los estados de movilidad y su asociación con los estados RRC. La Figura 5 describe brevemente los estados de movilidad SAE y su relación con los estados RRC propuestos.

Los estados de movilidad general SAE utilizan los siguientes estados:

- LTE_DETACHED: No existe un contexto/entidad RRC

⁵ SAE – System Architecture Evolution (Evolución de la Arquitectura del Sistema).

- LTE_IDLE: Existe en el estado RRC_IDLE (disponible). En este estado se almacena alguna información en el móvil y en la red: Dirección IP, asociaciones de seguridad (claves, etc.), información de capacidad del móvil, portadoras radio.
- LTE_ACTIVE: Existe en el estado RRC_CONNECTED (Conectado o Activo).

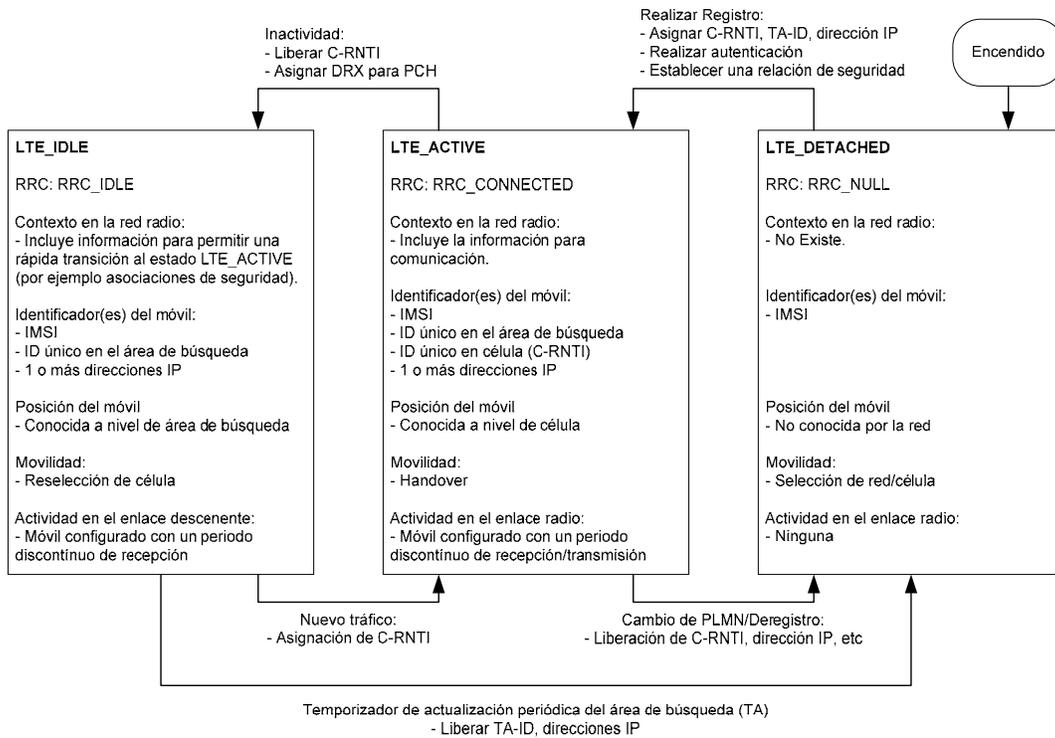


Figura 5 Estados del protocolo RRC en E-UTRAN

Los estados RRC en E-UTRAN [TR25813] se han simplificado a los siguientes:

- RRC_IDLE: En el estado RRC_IDLE
 - Se adquiere la información del sistema a través de los canales de difusión
 - Movilidad a través de la reelección de célula
 - El móvil es contactado a través del paging
 - El móvil tiene un identificador que es único en el área de búsqueda (TA).
 - No existe un contexto almacenado en el eNB.
- RRC_CONNECTED: En el estado RRC_CONNECTED
 - El móvil tiene una conexión RRC establecida
 - El móvil tiene un contexto en la E-UTRAN
 - La red radio conoce la célula en la que se encuentra el móvil
 - La red puede transmitir y recibir información del móvil

- Movilidad controlada por la red (Handover)
- Medidas de vecinos

2.2.2 Evolución de la arquitectura de red en cdma2000

2.2.2.1 Estándar de red IP móvil (Wireless-IP Network)

El estándar cdma2000 Wireless IP Network [XS0011-1, XS0011-3] introduce la gestión de movilidad basada en IP, y en IP móvil ([MIPv4] y [MIPv6]), para extender la movilidad del usuario entre nodos PDSN. Esta especificación de los servicios de datos en cdma2000, define un servicio básico conocido como *Simple IP* que permite la movilidad de usuario dentro de un nodo PDSN. La utilización de [MIPv4] y [MIPv6] extiende la movilidad entre PDSN al añadir un nodo Home Agent como elemento de mayor jerarquía de movilidad. La Figura 6 muestra la arquitectura del estándar cdma2000 Wireless-IP Network.

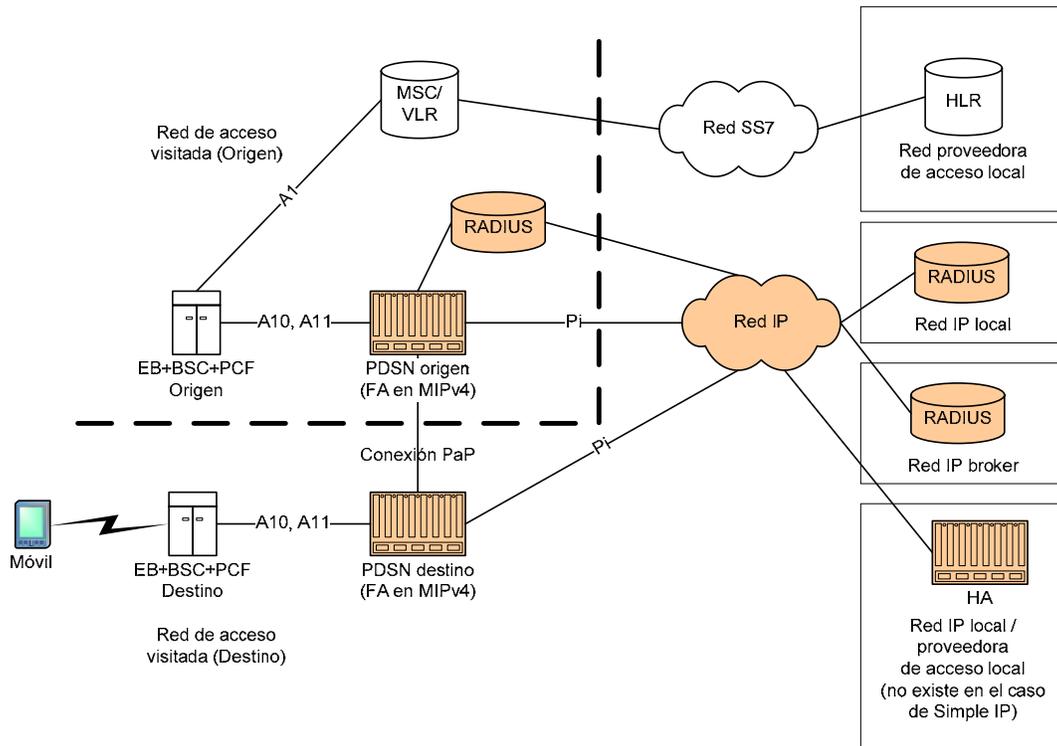


Figura 6 Arquitectura de red Wireless-IP Network de cdma2000

Para la movilidad dentro del dominio de conmutación de paquetes basado en IP, se gestiona la movilidad a través de [MIPv4] o [MIPv6] que proporciona los mecanismos generales de movilidad. Asimismo, la movilidad radio en estado conectado (al estar registrado con el nodo PDSN) se realiza a través del handover, cuyos procedimientos específicos dependen del estado del móvil (activo o durmiente). Alternativamente, es posible que se ofrezca el servicio *Simple IP*, que es un servicio móvil basado en IP (asignada por el PDSN) pero sin movilidad. La Figura 7 muestra los diferentes niveles de movilidad para los servicios de datos conmutados por paquetes IP en el sistema cdma2000, así como las interfaces involucradas.

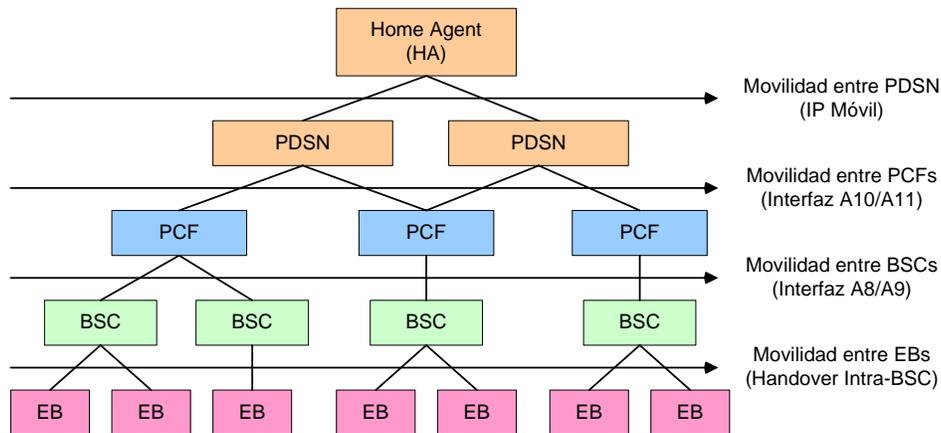


Figura 7 Niveles de movilidad para los servicios de transmisión de paquetes IP en cdma2000

La movilidad radio en los servicios de transmisión de paquetes IP en cdma2000 sigue dependiendo de la red troncal. La transición de la instancia de servicios de paquetes de datos del estado activo al estado durmiente, la realiza la red de acceso a través de la expiración del temporizador RAN PDIT. El valor de este temporizador se provisiona en la red troncal (servidor RADIUS) y se proporciona a la red de acceso a través del PDSN, durante la fase de autenticación.

2.2.2.2 Ultra Mobile Broadband (UMB)

Ultra Mobile Broadband (UMB – Servicio móvil de banda ancha ultra) consiste en una nueva arquitectura de red de acceso radio que se conecta a la red troncal IP de cdma2000. La Figura 8 muestra la arquitectura de la red de acceso UMB. La red de acceso UMB coexiste en la red troncal IP de cdma2000 con otras tecnologías de acceso móvil, integrándose con la pasarela de acceso (AGW – Access Gateway).

Al igual que en E-UTRAN, UMB tiene una nueva interfaz aire basada en acceso OFDM, que implementa múltiples antenas y que proporciona velocidades potenciales de hasta 275 Mbps en el enlace descendente y 75 Mbps en el enlace ascendente.

La red de acceso UMB es una entidad funcional, que tiene una instancia de enrutamiento (ANRI – Access Network Route Instance) para comunicarse con el móvil, proporcionando el soporte de señalización y de datos de usuario. Se incorpora el concepto de túneles entre las instancias de enrutamiento, para asegurar que la instancia que tenga el control del móvil (ya sea el controlador de red SRNC o la estación base evolucionada eBS) puedan comunicarse con el móvil a través de otros elementos de la red UMB.

2.2.2.2.1 Pasarela de Acceso (AGW – Access Gateway)

La pasarela de acceso UMB (AGW) provee el punto de conectividad IP al móvil para el acceso a la red troncal de conmutación de paquetes. Como tal, el AGW es un enrutador de acceso para los móviles. El AGW puede consistir en un plano de control para el manejo de la señalización y un plano de usuario para el manejo de los datos de usuario. Estos planos pueden tener direcciones IP diferentes. El plano de control termina la señalización de la interfaz Proxy Mobile

IPv6 [PMIPv6], y la interfaz AAA. El plano de usuario termina la interfaz de los datos de comunicación del usuario en [PMIPv6].

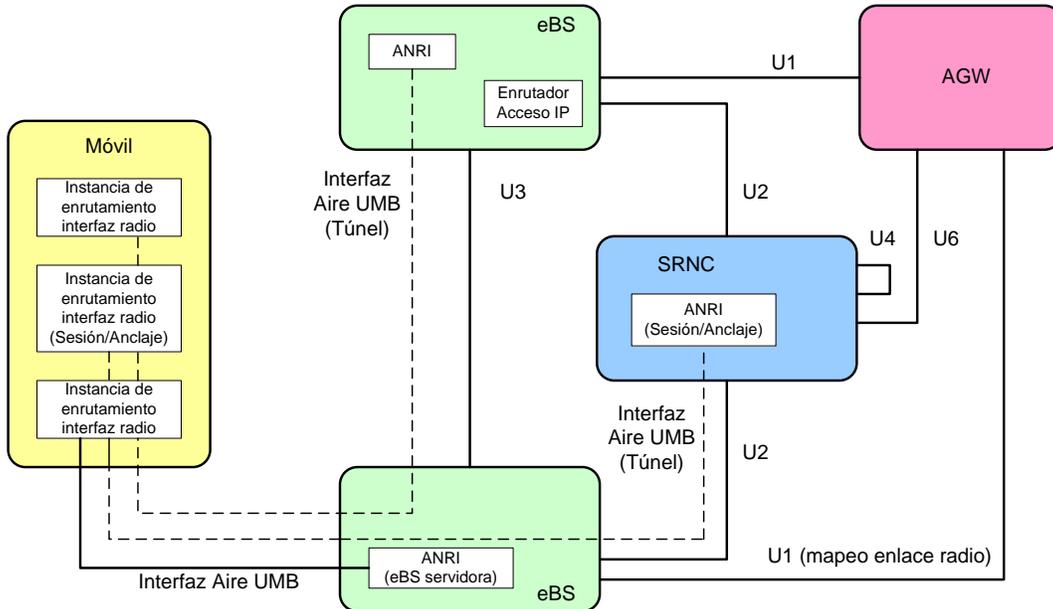


Figura 8 Modelo de red de acceso cdma2000 UMB

2.2.2.2 Estación Base evolucionada (eBS – Evolved Base Station)

La estación base evolucionada (eBS) es la estación base en la red de acceso UMB, que soporta la comunicación radio con el móvil.

Las funciones de la eBS incluyen:

- Transmisión/recepción de paquetes en la interfaz radio
- Cifrado de paquetes a nivel del protocolo de enlace radio (RLP) en la interfaz radio
- Planificación de la transmisión de datos para su transmisión en la interfaz radio
- Aplicación de políticas de calidad de servicio en la interfaz radio
- Compresión de cabeceras

2.2.2.3 Controlador de sesión de red (SRNC – Session Reference Network Controller)

El controlador de sesión de red (SRNC) es responsable de mantener la sesión con el móvil (y su referencia) en la red de acceso UMB. El SRNC también es responsable de la gestión de la movilidad del móvil en estado IDLE (disponible) y proporcionar las funciones de control de paging cuando el móvil se encuentra en ese estado. El SRNC tiene una ANRI de anclaje de la sesión para cada móvil que gestiona. El SRNC realiza la selección del AGW a nombre del móvil y puede asumir la función de punto de conectividad IP para establecer el mapeo de señalización cuando

el móvil está en estado disponible. Asimismo, el SRNC es el elemento de autenticación en el acceso.

2.2.2.2.4 Movilidad en UMB

La Figura 9 muestra los diferentes niveles de movilidad en la red cdma2000 con acceso UMB.

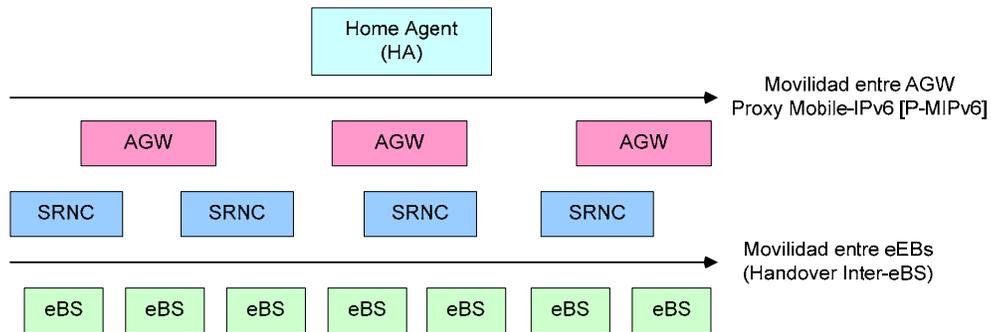


Figura 9 Niveles de movilidad en la red de acceso cdma2000 UMB

- La movilidad entre eBSs y entre SRNCs está basada en procedimientos radio (handover) y de señalización dentro de la red UMB y definidos por sus especificaciones de interfaz.
- La movilidad entre AGW se basa en Proxy Mobile IPv6 [PMIPv6].

2.2.3 Sincronización en redes 3G

2.2.3.1 cdma2000

Una de las funciones más críticas del sistema cdma2000 es el mantenimiento de la sincronización de la red y usuarios. Cada sistema (típicamente en el MSC), posee una función de mantenimiento de la sincronización, que provee una referencia para la sincronización.

En el sistema cdma2000 la sincronización se logra teniendo a las estaciones base sincronizadas entre sí y con el MSC (*Mobile Switching Center* – Centro de Conmutación Móvil) a través del uso de un “tiempo del sistema” CDMA. Todas las transmisiones de las estaciones base (EB) están referenciadas a este tiempo del sistema común (válido en todo el sistema CDMA) que utiliza el sistema de posicionamiento global GPS (*Global Positioning System*), y que se relaciona de una forma síncrona con el tiempo coordinado universal (UTC). Este tiempo debe estar alineado de una forma fija con los códigos PN (*Pseudo Noise* – Seudo ruido) utilizados en todas las EB el sistema CDMA (dos códigos PN cortos, con período de 26.66 ms, y un código PN largo que tiene un período de 41 días).

La sincronización estricta (la desviación del tiempo del piloto debe ser menor de 3 μ s), se debe a que todas las EB transmiten a la misma frecuencia y utilizando los mismos códigos cortos para ensanchar las señales en el enlace descendente. Las señales se distinguen en el móvil porque cada EB tiene un desplazamiento propio de los códigos PN, tal como muestra la Figura 10.

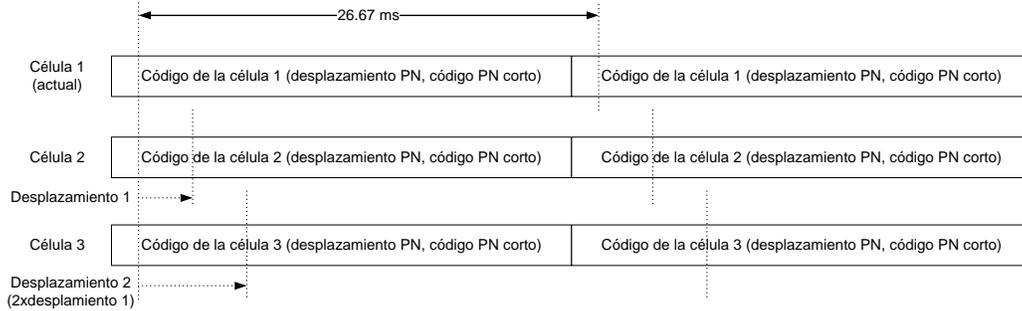


Figura 10 Desplazamiento de códigos PN entre células

2.2.3.1.1 Sincronización de usuario

Aunque las EB están sincronizadas entre sí, debido a que están todas sincronizadas al GPS, los móviles reciben las señales de las estaciones base con una combinación diferente de retardos de propagación ya que el móvil está ubicado a una distancia diferente de cada EB. La referencia del tiempo del sistema para cada móvil se establece cuando éste adquiere la señal de la estación base, leyendo la información de sistema en el canal de sincronización. El mensaje contiene información que permite al móvil sincronizar su código PN largo y su referencia de tiempo con la de la EB, pero retrasada, debido al retardo de propagación EB-móvil. Utilizando esta versión “retrasada” del tiempo del sistema, el móvil transmite en el canal ascendente, y su señal es recibida por la EB con un retardo adicional.

La EB utiliza el mensaje *A3-Propagation Measurement Delay Report* para indicar a la EB vecina/SDU (*Selection Distribution Unit – Unidad de selección y distribución*) del retardo de propagación del móvil al momento de la adquisición y en cualquier otro momento en que el retardo aumente más de dos chips del código PN.

2.2.3.1.2 Sincronización de la red en soft-handover

En el caso de soft-handover en el que la MSC/SDU se comunica en el enlace descendente con dos EB, se debe calcular el tiempo de transmisión de las tramas para que:

- Tomando en cuenta el retardo de la transmisión en los enlaces MSC/SDU-EB, los mensajes de datos lleguen con suficiente tiempo para ser transmitidas por el interfaz aire, y;
- El tiempo de almacenamiento de la trama radio en la EB, antes de ser transmitida por el interfaz aire, se minimice con el objeto de reducir los requisitos de memoria de datos en la EB.

Para lograr este proceso, conocido como alineamiento de tiempos entre la EB, los mensajes de datos descendentes *A3-CEData Forward* contienen el “Tiempo del Sistema” en el que la trama debe ser enviada por la interfaz aire. Al recibir el mensaje *A3-CEData Forward*, la EB calcula el tiempo entre el Tiempo del sistema en el momento de recibir el mensaje y el “tiempo del sistema ideal cuando ha debido de recibirse el mensaje” (que depende del Tiempo de Sistema del mensaje *A3-CEData Forward*). Este tiempo se conoce como *PATE (Packet Arrival Time Error)*, y se incluye en el próximo mensaje ascendente (*A3-CEData Reverse*) al MSC/SDU. Con esta

información de error, el MSC/SDU ajusta la transmisión de los próximos mensaje de datos, hasta lograr un PATE=0 o casi cero.

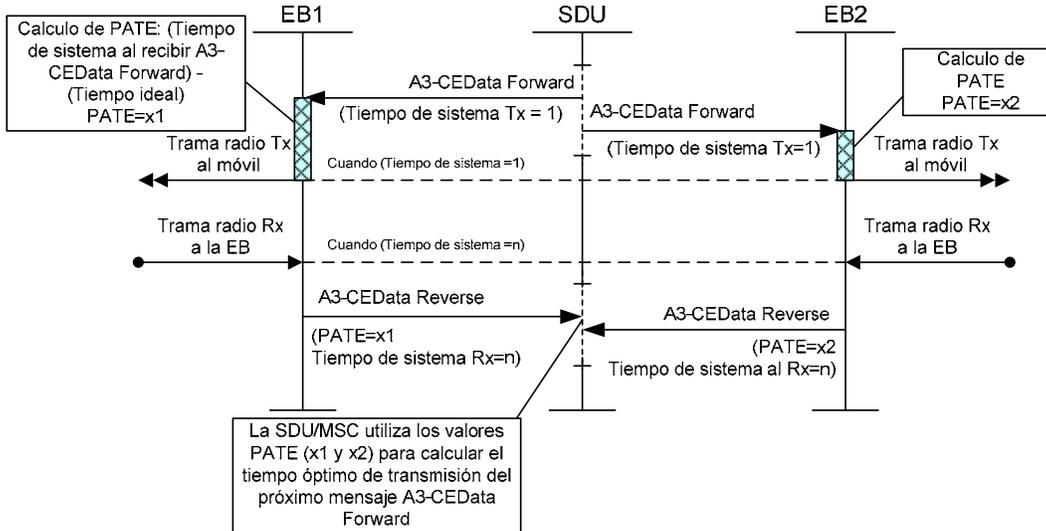


Figura 11 Alineamiento de tiempo de transmisión – Interfaz A3

2.2.3.2 Sincronización de red y usuario en UMTS

[TS25402] especifica el modelo de sincronización en UMTS, que establece los siguientes aspectos de sincronización:

- Sincronización de red, se refiere a la distribución de una señal de referencia de sincronización a los nodos UTRAN y la estabilidad de los relojes de los elementos de la UTRAN. Como referencias de sincronización, se establece, en general, que la referencia se extrae de los relojes de los elementos de mayor jerarquía en la red UMTS (por ejemplo el MSC o SGSN) a través de la capa física de las interfaces terrestres. UMTS no establece, al contrario que en cdma2000 una sincronización estricta de red en el modo FDD, sin embargo, esta sí es necesaria para la operación del sistema en modo TDD. En el modo TDD, la referencia de sincronización de los nodos UTRAN se extrae de la señal de los sistemas satelitales GPS o Galileo.
- Sincronización de nodo, se refiere a la estimación y compensación de las diferencias de tiempo entre los nodos UTRAN. En el modo FDD, esta compensación se realiza a través del procedimientos de sincronización de nodo y trama que se ejecuta en el plano de usuario. En el modo TDD, la señal referencia de sincronización de red, se distribuye desde los Nodos B de referencia (aquellos que derivan la señal directamente de un receptor GPS) a otros Nodos B, a través de una señal de reloj específica.
- Sincronización del canal de transporte, se refiere a los mecanismos definidos para la sincronización en el transporte de las tramas desde el RNC al Nodo B. Su principal objetivo es que las tramas lleguen a tiempo para ser enviadas al móvil, y además optimizar el almacenamiento de tramas en el Nodo B.

- Sincronización de la interfaz radio, se refiere al sincronismo en el enlace radio, específicamente en el envío de tramas radio al móvil. En el modo FDD, la sincronización en la interfaz radio es necesaria para asegurar que el móvil recibe las tramas sincronizadamente desde distintas células, con el objetivo de minimizar el almacenamiento de tramas en el móvil. En el modo TDD, la sincronización de la interfaz radio cumple dos objetivos: la sincronización entre células, para minimizar la interferencia entre células, y el cálculo del retardo del móvil a la célula (*Timing Advance*) que permite minimizar la interferencia entre la célula y el móvil.
- Alineamiento de tiempos, que permite el control de flujo en la transmisión de datos entre el RNC y los nodos de la red troncal.
- Sincronización en el enlace ascendente, utilizado en el modo TDD de 1.28Mcps.

2.2.3.2.1 Sincronización de tramas en soft-handover

Durante un soft-handover es necesario que el móvil reciba sus tramas de datos de dos o más estaciones base de forma más o menos sincronizada. Así, el móvil puede combinar las tramas radio sin tener que acumular demasiadas muestras de la señal en su memoria local.

A diferencia de cdma2000, en el sistema UMTS modo FDD, cada estación base tiene una sincronía de trama independiente de las demás. Esto significa que las estaciones base participantes en una operación de soft-handover deben sincronizar sus tramas de bajada. Dicho proceso debe repetirse para cada móvil que entre en soft-handover.

A fin de facilitar el proceso de sincronización de los Nodos B participantes en un soft-handover, el móvil interviene en el proceso reportando a la UTRAN la diferencia de sincronía entre tramas de los Nodos B. Así, la RNC puede pasar esta información a la estación base objetivo, y esta puede ajustar la sincronía de sus tramas de bajada. Este proceso se realiza a través de tramas de control *DL Synchronization* y *UL Synchronization* en el plano de usuario [TS25427, TS25435], en el cual el nodo origen envía una trama de prueba, y el nodo destino indica su retardo o adelanto respecto a la ventana de recepción. Para el proceso de formación de la ventana de recepción, es necesario que se haya realizado con antelación la sincronización entre los nodos (*DL Node Synchronization*) descrita en [TS25427, TS25435]. La Figura 12 muestra el proceso de sincronización de tramas durante un soft-handover involucrando dos Nodos B.

2.3 Arquitectura IP móvil

El IETF trabaja en la especificación de protocolos IP móvil que permitan a un móvil mantener conectividad IP mientras se mueve a lo largo de la red. El protocolo base de estas arquitecturas es el protocolo Mobile IPv6 [MIPv6]. Mobile IPv6 se basa en el establecimiento de una arquitectura de movilidad a nivel IP, donde el usuario puede mantener conectividad a lo largo de la red mientras se mueve entre subredes IP. El elemento fundamental de la arquitectura Mobile-IPv6 es el agente local (Home Agent).

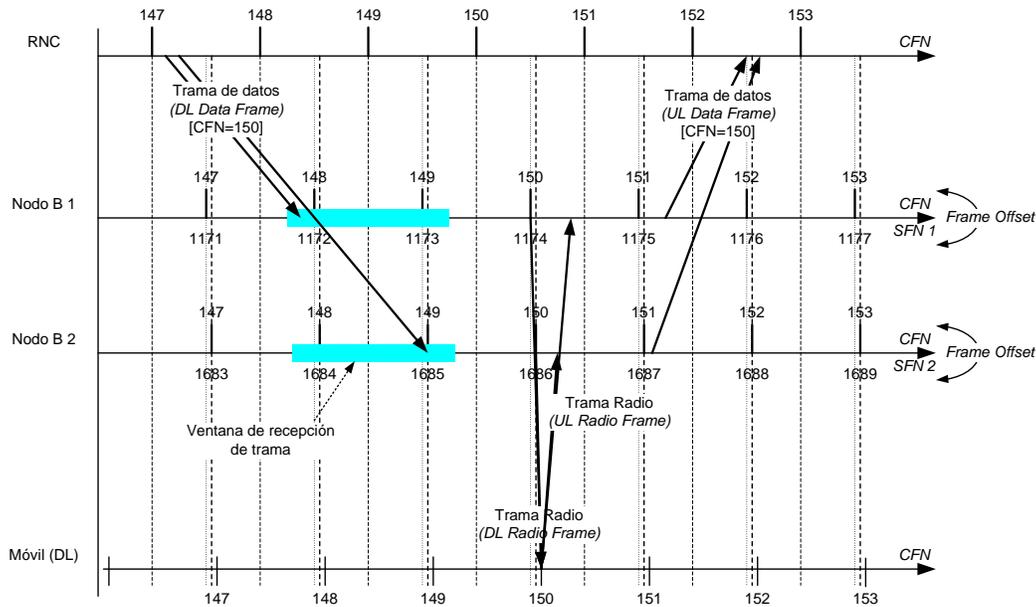


Figura 12 Sincronización de tramas durante un soft-handover en UMTS FDD [TS25402]⁶

El Home Agent asigna al usuario móvil (en el registro) una dirección IP global (llamada *Home Address*) que es enrutable globalmente y que se mantendrá fija a lo largo de la sesión independientemente de los movimientos del usuario. Esta dirección es utilizada por los nodos para contactar al móvil.

En el Home Agent se realiza un mapeo entre la dirección *Home Address* y la dirección IP del móvil (dirección de subred). Este mapeo (binding) se debe actualizar cada vez que el móvil se mueve de una subred a otra.

El estándar no considera movimientos dentro de la subred, ya que se asume que estos movimientos se gestionan a través de protocolos de capa 2 (por ejemplo protocolos radio).

Debido a la naturaleza de las redes de comunicaciones móviles, típicamente con cientos de estaciones base, y usuarios moviéndose a lo largo de diferentes células, el número de actualizaciones de localización de usuario tiene una frecuencia alta, y dado que los estándares IP móvil requieren la actualización de la localización del móvil en los nodos troncales de la red, se generan dos problemas fundamentales: (1) Una alta cantidad de mensajes de señalización que viajan por la red troncal y (2) posibles pérdida de paquetes cuando el móvil se mueve de una subred a otra, ya que el punto de conexión (anclaje) está muy lejos (nodo de la red troncal). Esto, además de ser reconocido general y ampliamente, ha sido reseñado también en trabajos como [DeSilva2002], [Campbell2002], entre muchos otros.

Para resolver este problema, el IETF ha trabajado en arquitecturas de acceso que permiten la movilidad entre subredes de una forma óptima de manera que se reduzca la señalización, y se

⁶ CFN – Connection Frame Number o Número de trama en la conexión, SFN – System Frame Number o Número de trama del sistema, Frame Offset – Desplazamiento de trama. Estos parámetros se describen en detalle en [TS25402].

disminuya el tiempo de traspasos. Estas propuestas de movilidad incluyen el protocolo de movilidad jerárquica en Mobile-IPv6 [HMIPv6], el protocolo de handover en Mobile-IPv6 [FHMIPv6] y en redes de acceso genéricas [802.21], protocolos para la transferencia de contexto en Mobile-IPv6 [CARD, CXTP], propuestas de gestión de paging IP [Kempf2001], y la nueva propuesta de movilidad genérica basada en Mobile IPv6, Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6].

2.3.1 Movilidad jerárquica en Mobile-IPv6 [HMIPv6]

El IETF ha especificado una serie de requerimientos en [LMM], para protocolos/extensiones adicionales a los protocolos IP móvil con el objeto de mejorar el desempeño de estos protocolos con la gestión de la movilidad en entornos de acceso (definidos como entornos de “movilidad local”). Una de las propuestas de movilidad local, es el mecanismo de movilidad jerárquica del IETF, HMIPv6 [HMIPv6] (*Hierarchical Mobile IPv6*).

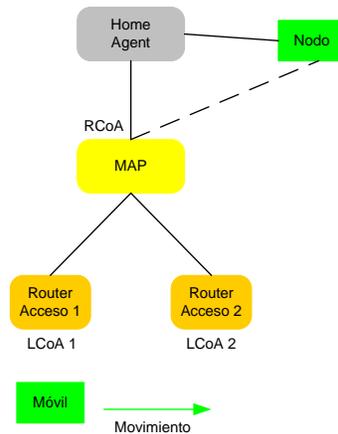


Figura 13 Arquitectura de movilidad jerárquica IP

En HMIPv6, se añade un elemento, el “Punto de Anclaje de movilidad” (MAP, *Mobility Anchor Point*), que se encarga de gestionar la movilidad local de la misma forma que el Home Agent, en un nivel de jerarquía superior. De esta forma, cuando el usuario se mueve entre subredes que están controladas por el mismo MAP, no es necesaria la actualización con el Home Agent; ésta se realiza con el MAP, que es un nodo que está mucho más cercano (pertenece a la red de acceso), por lo que el retardo (y por tanto la pérdida de paquetes) y los mensajes de señalización que se envían a la red troncal disminuyen.

El diagrama de señalización HMIPv6 para el proceso de registro y actualización de la localización es el siguiente:

1. Los Router de Acceso difunden mensajes [HMIPv6] *Router Advertisement* con la opción MAP, en la cual se informa la dirección global del MAP y su distancia respecto al móvil.
2. El móvil, al iniciarse, forma una RCoA, utilizando el prefijo recibido en la opción MAP, y envía un mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update* al MAP indicando que es una actualización de mapeo local (bits A y M a 1). La RCoA se incluye en la opción *Home Address* y la LCoA es la dirección origen del mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update*.

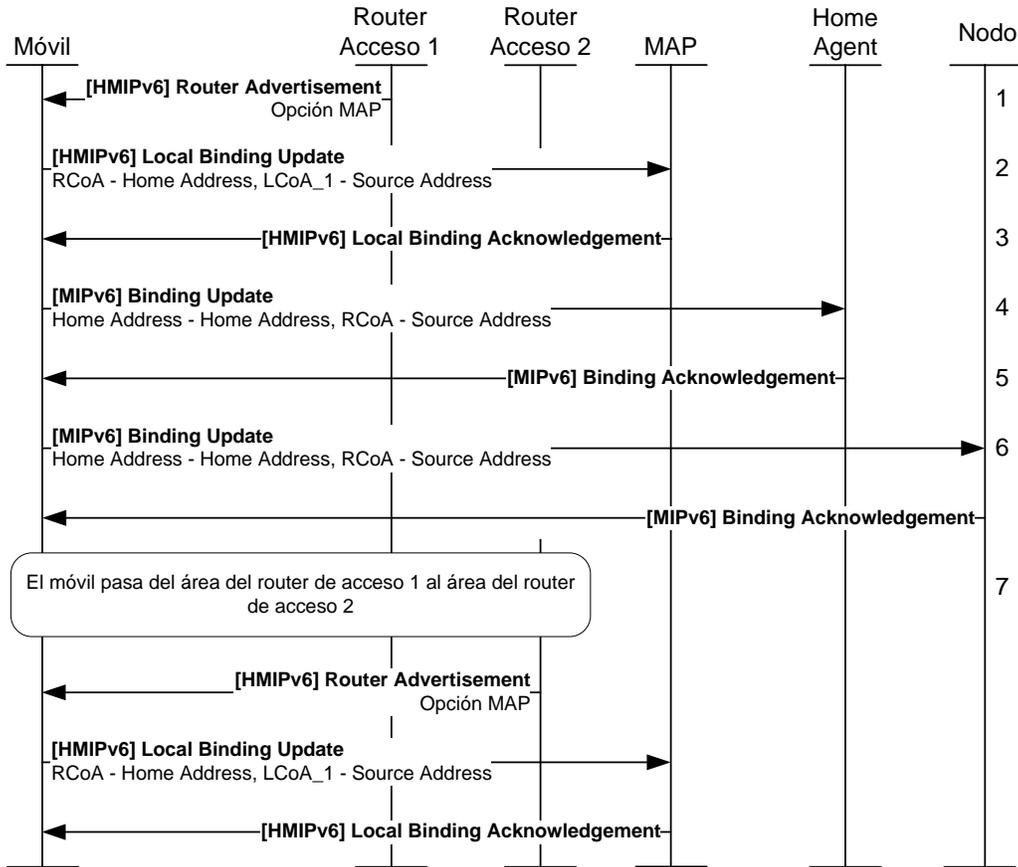


Figura 14 Comportamiento dinámico de HMIPv6

3. El MAP crea la nueva relación RCoA-LCoA y envía un mensaje *[HMIPv6] Local Binding Acknowledgement* al móvil. A partir de este momento, todos los paquetes que se transfieran desde/hasta el móvil, pasarán por el MAP.
4. El móvil, una vez recibido el asentimiento, envía el mensaje *[MIPv6] Binding Update* al Home Agent utilizando la RCoA como *Care-of-Address* y su Home Address en el campo *Home Address*.
5. El Home Agent envía el asentimiento al móvil a través de un mensaje *[MIPv6] Binding Acknowledgement*.
6. El proceso de actualización de localización (mapeo) *[MIPv6]* se repite con los nodos con los que mantiene comunicación (optimización de ruta).
7. Al moverse entre routers de acceso, el móvil realiza la actualización del mapeo con el MAP, actualizando la LCoA. Dado que la RCoA no cambia, no es necesaria realizar la actualización del mapeo con el HA.

2.3.2 Handover en Mobile-IPv6

2.3.2.1 Fast Handovers en Mobile-IPv6 [FHMIPv6]

Para reducir el tiempo de los traspasos entre enrutadores de acceso en [MIPv6], el IETF estandarizó un mecanismo de traspasos rápidos [FHMIPv6], con el objetivo de alcanzar de forma más rápida la conectividad IP con el nuevo enrutador de acceso reduciendo el tiempo en el que el móvil no puede transmitir/recibir datos debido a las funciones de configuración de Mobile IPv6 (detección de movimiento, configuración de direcciones y actualización de la localización). [FHMIPv6] se basa en la anticipación de la información del nuevo enrutador de acceso al móvil, incluso antes de moverse al nuevo punto de acceso.

[FHMIPv6] permite a un móvil detectar que se está moviendo a una nueva subred proporcionando la identificación del nuevo punto de acceso y la información de enrutamiento (prefijo de red) cuando el móvil aun está conectado a su subred actual. Por ejemplo, un móvil puede descubrir los puntos de acceso disponibles utilizando mecanismos de la capa de enlace (radio) y después pedir la información relacionada con uno o varios de los puntos de acceso descubiertos.

Una vez detectados los puntos de acceso y teniendo la información de enrutamiento, el móvil inicia un proceso para establecer un mapeo entre su dirección de subred actual (PCoA, *Previous Care of Address*) y la dirección de subred del destino (NCoA, *New Care of Address*), y establecer un túnel entre el enrutador de acceso origen y destino para que no haya pérdida de paquetes durante el handover.

La Figura 15 muestra el comportamiento dinámico del protocolo [FHMIPv6] durante un procedimiento de handover, utilizando el modo predictivo definido en [FHMIPv6]:

1. El móvil envía el mensaje [FHMIPv6] *RtSolPr* (*Router Solicitation for Proxy Advertisement*) al Router de Acceso Origen para requerir información de uno o varios puntos de acceso (*AP-ID*) para un potencial handover.
2. El mensaje [FHMIPv6] *PrRtAdv* (*Proxy Router Advertisement*) lo utiliza el Router de Acceso origen para proporcionar al móvil la información sobre los enlaces vecinos, para realizar un traspaso rápido en forma de dupla Identificador del punto de acceso, Información del router de acceso. Este mensaje también se puede utilizar para que la red inicie el proceso de handover.
3. El móvil envía el mensaje [FHMIPv6] *FBU* (*Fast Binding Update*) indicando al Router de Acceso origen que redirija el tráfico hacia el Router de Acceso destino. El mensaje *FBU* incluye la nueva CoA propuesta (NCoA).
4. El Router de Acceso origen envía el mensaje [FHMIPv6] *HI* (*Handover Initiate*) hacia el Router de Acceso destino, indicando el handover del móvil a través de la CoA nueva (NCoA) y antigua (PCoA). El Router de Acceso destino envía el mensaje [FHMIPv6] *HAck* (*Handover Acknowledgment*) como asentimiento.
5. El Router de Acceso origen envía en mensaje [FHMIPv6] *FBack* (*Fast Binding Acknowledgment*) como asentimiento al mensaje *FBU*. Dependiendo del estado del enlace radio, es posible que el móvil no reciba este mensaje, por lo que también se reenvía a través del Router de Acceso destino. A partir de este momento el Router de

Acceso origen reenviará todos los paquetes destinados al móvil (PCoA) a través del Router de Acceso destino.

6. El móvil reconfigura su etapa radio y acceso, y una vez que ha accedido al nuevo medio, adquiere conectividad IP utilizando los parámetros adquiridos en los pasos anteriores y envía el mensaje UNA (*Unsolicited Neighbor Advertisement*) al móvil para anunciar que se ha conectado y en el caso de no haber recibido el *FBack*, confirmar el uso de la nueva CoA (NCoA). Al recibir el mensaje, el Router de Acceso destino comenzará a transmitir información al móvil.

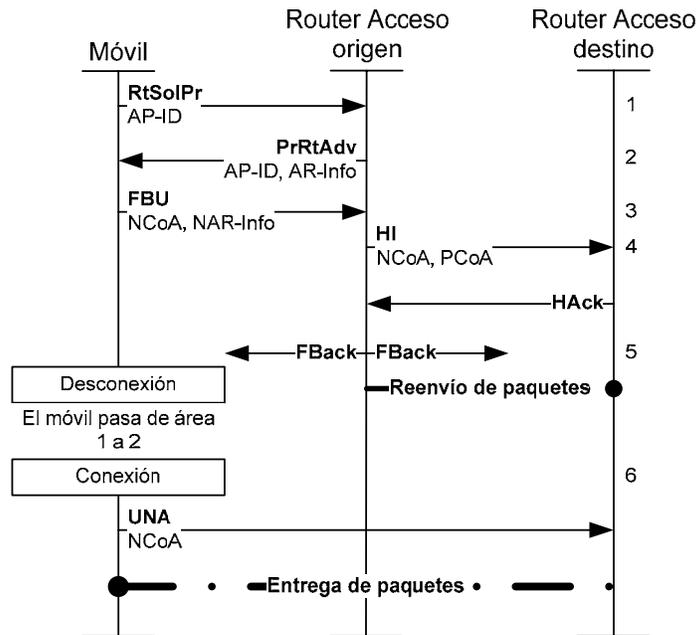


Figura 15 Comportamiento dinámico del procedimiento de handover en [FHMIPv6]

2.3.2.2 [802.21] Servicios de handover independientes (del medio)

El principal objetivo de la arquitectura de servicios de handover independientes del medio, descrita en [802.21] es permitir los handover entre redes heterogéneas (incluyendo las tecnologías WLAN y celulares) sin interrupción del servicio, por lo tanto mejorando la experiencia del usuario móvil. Para cumplir con ese objetivo, [802.21] define una entidad lógica, llamada Función de Handover Independiente del Medio - MIHF (*Media Independent Handover Function*), que proporciona una interfaz genérica entre las diferentes tecnologías de enlace y las capas superiores. Para manejar las particularidades de cada tecnología, [802.21] mapea esta interfaz genérica a un grupo de puntos de acceso de servicios independientes del medio (SAP – *Service Access Point*) cuya función es recolectar información y controlar el enlace durante el handover. También se han definido interfaces remotas móvil-red y red-red para recolectar información de distintos puntos de la red.

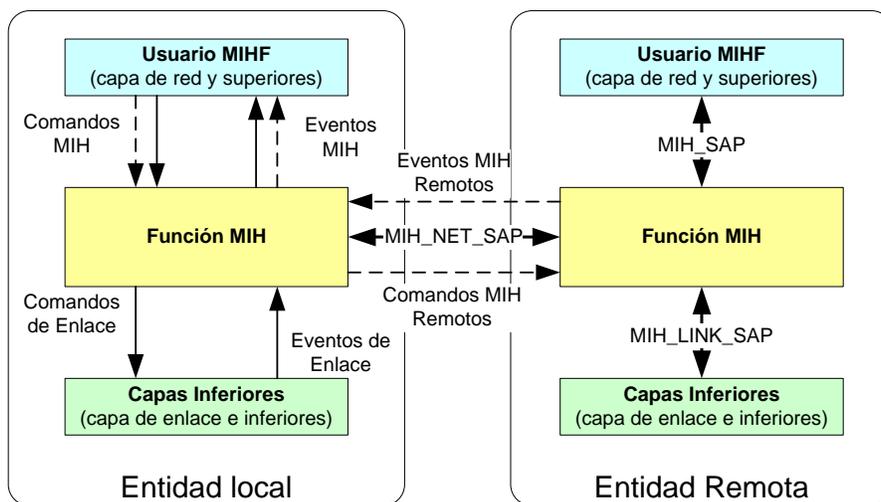


Figura 16 Arquitectura [802.21] mostrando los servicios de evento, comando e información

[802.21] proporciona esta funcionalidad a sus usuarios a través de una serie de servicios: Evento, Comando e Información. Estos servicios permiten a los usuarios MIHF acceder a información relacionada con el handover, así como enviar comandos a la capa de enlace o a la red.

- El servicio de Eventos proporciona un mecanismo de suscripción a eventos relacionados con el handover. Estos eventos pueden ocurrir en la capa de enlace en el equipo local o remoto, y pueden ser de diversos tipos: eventos de cambios de estado en la capa física y de enlace, eventos de cambios de parámetros del enlace, eventos síncronos del enlace, o eventos de transmisión del enlace.
- El servicio de Comandos se refiere a los comandos que pueden ser enviados desde las capas superiores a las inferiores para determinar el estado de los enlaces o controlar y configurar el móvil para mejorar el rendimiento o facilitar el handover. Los comandos pueden ser enviados desde el usuario al MIHF o desde el MIHF a la capa de enlace.
- El servicio de Información proporciona la posibilidad de que un MIHF pueda obtener información de su entorno, con el objeto de facilitar el handover obteniendo información de las redes vecinas e incluye Información general, tales como el tipo o tecnología de red, información específica de la red de acceso, información del punto de acceso, información de servicios de las capas superiores, etc.

2.3.3 Transferencia de contextos en Mobile-IPv6

La transferencia de contexto en Mobile-IPv6 consiste en la posibilidad de que el móvil conozca de antemano (antes de realizar el handover), las capacidades del router de acceso destino, en incluir esas capacidades en la toma de decisiones del handover así como facilitar que la nueva conexión (establecida entre el móvil y el nuevo router de acceso) mantenga las mismas características que la anterior (por ejemplo con la misma calidad de servicio). Para estas funciones, el IETF ha trabajado en dos áreas: (1) el descubrimiento de las capacidades del router de acceso destino, que permite descubrir de antemano las capacidades del router destino por

ejemplo, en calidad de servicio, políticas de acceso, etc, y (2) la transferencia del contexto actual (marco de calidad de servicio y políticas de acceso) aplicadas a la conexión existente.

2.3.3.1 Descubrimiento de las capacidades del router de acceso destino (CARD)

El IETF ha especificado en [CARD] un protocolo para el descubrimiento de las capacidades del router de acceso destino. Éste consiste en un intercambio de mensajes entre el router de acceso origen y el router de acceso destino que permite conocer de antemano las capacidades del router de acceso destino antes de la realización del handover.

El protocolo incluye la opción del mantenimiento de una tabla dinámica que permite a un router de acceso mantener el estado de mapeo entre la dirección de enlace (L2) y la dirección IP de los router de acceso destinos (L3), así como sus capacidades. Esta tabla dinámica puede mantenerse/actualizarse a través de las peticiones de los distintos móviles o a través de peticiones/difusiones realizadas por los routers de acceso de forma no solicitada.

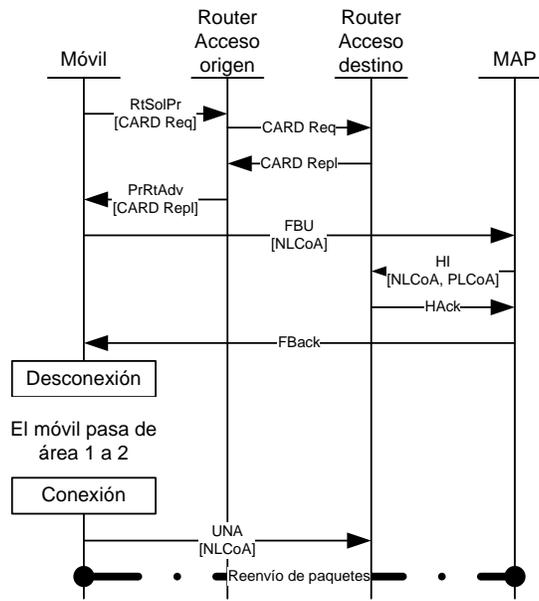


Figura 17 Funcionamiento de [CARD] con [HMIPv6] y [FHMIPv6]

Es posible integrar [CARD] con [FHMIPv6] y [HMIPv6]⁷, logrando una reducción de los mensajes utilizados. La Figura 17 muestra el intercambio de mensajes [CARD] en un entorno HMIPv6-FHMIPv6, donde se muestra que los mensajes *RtSolPr* y *PrRtAdv* empaquetan los mensajes de descubrimiento (y su respuesta) de las capacidades del router de acceso destino intercambiados entre el móvil y el router de acceso actual, y los mensajes *CARD Req* y *CARD Reply* se

⁷ [CARD] no especifica su uso con [HMIPv6], sin embargo su aplicación es directa. Como extensión a la funcionalidad del MAP es posible que éste sea un punto central, donde, como gestor de movilidad, se mantengan las tablas de características de los distintos routers de acceso que pertenezcan a su dominio.

intercambian entre los router de acceso para conocer las capacidades del router de acceso (candidato) destino.

2.3.3.2 Protocolo de transferencia de Contexto [CXTP]

La transferencia de contexto se utiliza para hacer conocer y re-establecer en el router de acceso destino las comunicaciones (aplicaciones) lo más rápido posible. [CXTP] utiliza contenedores a través de los cuales se envía la información al nuevo router de acceso. El perfil del contexto puede contener diversos parámetros (no incluidos en la especificación) pero que puede abarcar parámetros AAA, calidad de servicio, compresión de cabeceras, etc.

[CXTP] contempla métodos de transferencia de contexto predictivo y reactivo, siendo el primero originado por el router de acceso origen y el segundo por el router de acceso destino. La Figura 18 muestra el intercambio de mensajes en el método predictivo:

1. El router de acceso origen toma la decisión⁸ de realizar una transferencia de contexto (debido a un handover) al router de acceso destino, enviando un mensaje [CXTP] *Context Transfer Data – CTD*, que contiene los diferentes contextos (información de funcionalidades).
2. Cuando el móvil conecta con el nuevo punto de acceso, (re)envía el mensaje [CXTP] *Context Transfer Activate Request - CTAR*, para asegurar que la transferencia de contexto se va a iniciar⁹ en caso de no haberse realizado en el punto anterior. Opcionalmente (no se muestra en la figura) el Router de Acceso destino puede responder al mensaje *CTAR*, con el mensaje [CXTP] *Context Transfer Activate Acknowledge – CTAA*, para confirmar la recepción del mensaje.
3. Para reportar el estado del procesamiento del contexto, el router de acceso destino puede responder con el mensaje [CXTP] *CTD Reply – CTDR*.

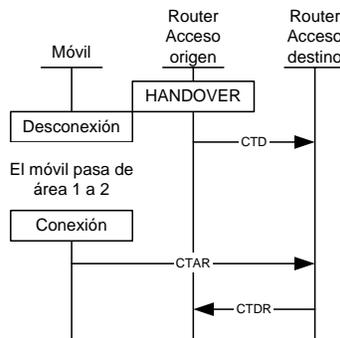


Figura 18 Método predictivo de transferencia de contexto

⁸ también puede ser iniciado por el mensaje *Context Transfer Activate Request – CTAR* enviado por el móvil al router de acceso origen

⁹ El móvil no tiene certeza de que el router de acceso origen ha recibido el primer mensaje CTAR enviado, así que lo envía en el destino por redundancia.

[CXTP] indica que una posibilidad de implementación es integrar la transferencia de contexto en la cabecera de movilidad de [MIPv6] y utilizarse con el *Fast Binding Update* de [FHMIPv6] para agrupar la actualización de localización con la transferencia de contexto entre el móvil y el router de acceso destino.

2.3.4 Protocolos para la gestión de Paging a nivel IP

[IPPaging] analiza los distintos entornos de aplicación del Paging como mecanismo para aumentar la autonomía de los terminales (móviles) así como para reducir la señalización. Se han incluido en el estudio entornos donde el enlace radio no soporta paging, o en aquellos donde existen múltiples redes de acceso. [Kempf2001] define la arquitectura genérica, con los siguientes elementos funcionales:

1. Agente de paging, se encarga de avisar al móvil cuando llega un paquete y aquel está en modo “durmiente”.
2. El agente de búsqueda, responsable de mantener la localización del móvil mientras éste se encuentra en modo “durmiente”.
3. El agente de monitoreo durmiente, detecta los paquetes destinados a un móvil que está en modo durmiente, y se encarga de preguntar al agente de búsqueda la localización del móvil, y ordena al agente de paging avisar al móvil del evento.

El IETF detuvo el trabajo de Paging y lo remitió al 3GPP, que no ha producido especificaciones generales al paging IP (el paging sigue siendo una función de red propia de UMTS), por lo que no existe un protocolo “estándar” para la realización de paging IP.

En el proyecto Moby Dick, se realizó una propuesta de Paging IP [Joachim2002] basada en un agente de paging, y la utilización de un número aleatorio como identificador de interfaz.

2.3.5 Análisis de la problemática de la movilidad local IP

El grupo de gestión de movilidad local (netlmm) del IETF, basados en la experiencia de [MIPv6, FHMIPv6 y HMIPv6] se encuentra en la investigación de los requisitos que debe proporcionar un sistema basado en movilidad local IP. [Kempf20061] realiza un análisis de la problemática que la movilidad local debe resolver, y [Kempf20062] realiza un estudio de los requisitos que la movilidad local basada en IP debe cumplir y una comparativa entre las distintas tecnologías existentes respecto a estos requisitos.

[kempf20061] menciona los siguientes problemas de los sistemas basados en movilidad local (donde se incluyen [HMIPv6] y [FHMIPv6]):

1. *Es necesaria una modificación de los protocolos existentes de movilidad IP.* Para el propósito de esta tesis doctoral, enmarcada en una red de acceso móvil de cuarta generación, este punto no representa un problema, porque la red de acceso es una red privada, tal como las redes móviles existentes. Dentro del entorno Mobile-IP RAN es deseable minimizar los cambios frente a los protocolos existentes, sin embargo se toman como protocolos base [HMIPv6 y FHMIPv6].
2. *Están basados en Mobile-IPv6.* Aquí [kempf20061] asegura que en el futuro los terminales móviles de Internet pudieran en el futuro utilizar otro protocolo de movilidad, lo cual puede ser cierto, sin embargo dado que las redes 4G seguirán siendo redes con una infraestructura

cerrada, no se espera que el mecanismo de movilidad cambie rápidamente (tradicionalmente cambian al menos, de generación en generación).

3. *No soportan IPv4 e IPv6 de forma simultánea.* Los estándares actuales de las redes móviles de 3ra generación han nacido con el soporte de IPv6 como protocolo de red, que estará disponible en la infraestructura y en los terminales (a partir de Release 5 en UMTS). Para el propósito de esta tesis, que tiene como objetivo redes 4G, se utiliza IPv6 como protocolo base por lo cual este problema no es aplicable.
4. *Para garantizar un nivel de seguridad similar al en las redes 3G, se requiere de complejas asociaciones entre los elementos de red y entre los elementos de red y el móvil, que pueden hacer poco práctico su despliegue.* En el ámbito de esta tesis, algunas asociaciones de seguridad pueden ser realizadas de forma estática y otras de forma dinámicas basadas en la red de acceso y en la red troncal. En esta tesis, se parte de la existencia de las redes móviles de 3G, que proporcionan mecanismos de seguridad en el acceso, los cuales son tomados en cuenta en conjunto con la seguridad necesaria a nivel de movilidad IP para garantizar la seguridad sin representar un alto coste en términos de complejidad de interacciones entre el terminal y la red.

Asimismo, [Kempf20062] analiza [HMIPv6] en combinación con [FHIPv6], para proporcionar servicios de movilidad local; identificando como problema adicional a los mencionados anteriormente el siguiente: *la utilización combinada de los dos protocolos puede causar redundancia y una alta carga de señalización en los traspasos, causados por los mensajes de señalización así como por los túneles que deben crearse para el traspaso de información.* En el entorno Mobile-IPv6 es factor importante la integración del concepto de handover (como factor de movilidad IP) con la gestión de recursos radio de una forma eficiente. Esto es especialmente válido al incluir en la discusión, técnicas de gestión de recursos radio tales como el soft-handover en el entorno de Mobile-IPv6.

2.3.6 Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6]

El trabajo realizado en [Kempf20061] y [Kempf20062] evolucionó en una propuesta del IETF, donde se trata de dar respuesta a la problemática (ahora descrita en [RFC4830]) y a los objetivos [RFC4831] de la movilidad local IP, trasladando toda la gestión de la movilidad local IP a la red. La arquitectura de esta propuesta se denomina NETLMM (Network Based Localized Mobility Management) y utiliza el protocolo Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6] como protocolo de gestión de la movilidad.

[PMIPv6] es un protocolo de red basado en [MIPv6], que se encarga de la gestión de la movilidad local IP de un móvil, sin intervención de éste. Esta es la diferencia fundamental entre [PMIPv6] y propuestas tales como [HMIPv6] o Mobile-IP RAN (también basada en [HMIPv6]).

La Figura 19 muestra la arquitectura NETLMM utilizada en [PMIPv6].

El elemento de Anclaje de Movilidad Local LMA (*Local Mobility Anchor*) es el responsable de mantener el estado de conectividad (y movilidad) del móvil y es el punto de anclaje para los prefijos (direcciones) asociados al móvil. La Pasarela de Acceso Móvil MAG (Mobile Access Gateway) es la entidad que realiza los procedimientos de gestión de movilidad a nombre del móvil, y se encuentra en el enlace donde el móvil está conectado. El MAG es responsable de la detección de los movimientos del móvil y de iniciar los procedimientos de actualización con el LMA.

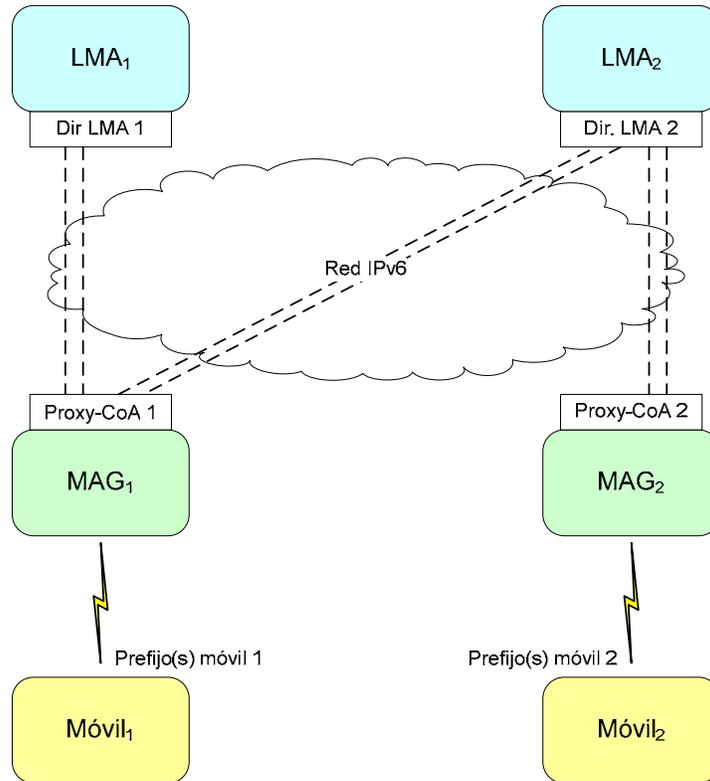


Figura 19 Arquitectura Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6]

La arquitectura permite varios LMA en un dominio Proxy Mobile-IPv6, cada uno sirviendo un grupo de móviles.

Cuando el móvil entre en un dominio Proxy Mobile-IPv6 a través de su enlace de acceso, el MAG de ese enlace, identifica y autoriza al móvil para realizarle la gestión de la movilidad, y le hará llegar toda la información de conectividad (prefijos, dirección del router por defecto, etc) necesaria para configurar su dirección y la conectividad a la red. Desde la perspectiva del móvil, el dominio Proxy Mobile-IPv6 aparece como un único enlace; la red asegura que el móvil no detecta ningún cambio respecto a su punto de conectividad IP, incluso al moverse de punto de acceso de red.

La Figura 20 muestra el flujo de señalización cuando el móvil entre en un dominio Proxy Mobile-IPv6¹⁰.

1. Para actualizar al LMA con la nueva ubicación del móvil, el MAG envía un mensaje [PMIPv6] *Proxy Binding Update* al LMA del móvil.
2. Al aceptar el mensaje, el LMA envía un mensaje [PMIPv6] *Proxy Binding Acknowledgement* incluyendo el(los) prefijo(s) de red local del móvil. El LMA también

¹⁰ El mensaje *Router Solicitation* del móvil puede llegar en cualquier momento después del móvil estar conectado (*attached*) al MAG, y no guarda ningún orden respecto a los otros mensajes mostrados en el diagrama.

crea la entrada del mapeo y establece el punto de conectividad del túnel bidireccional con el MAG.

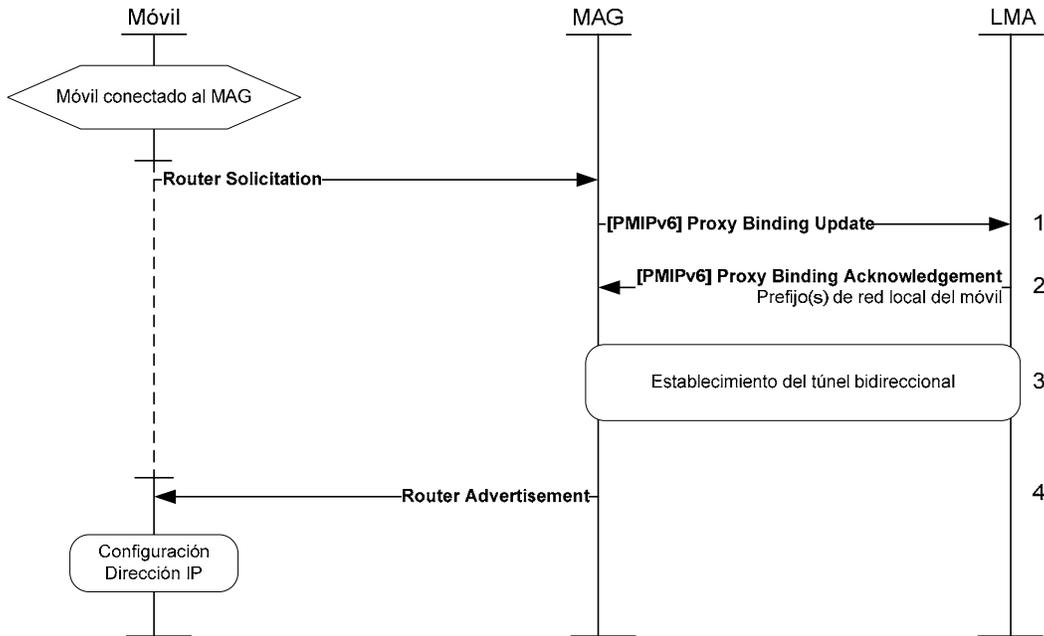


Figura 20 Acceso del móvil al dominio Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6]

3. El MAG, al recibir el mensaje *[PMIPv6] Proxy Binding Acknowledgement* establece el punto de conectividad del túnel bidireccional hacia el LMA y el reenvío del tráfico asociado al móvil. A partir de este momento, el MAG tiene toda la información necesaria para emular el enlace local del móvil.
4. El MAG envía el mensaje *Router Advertisement* en el enlace de acceso, incluyendo el(los) prefijo(s) de red local del móvil. El móvil, al recibir el mensaje, configura su interfaz.

Después de la configuración de la dirección, el móvil tiene una o más direcciones válidas en el punto actual de conexión. El MAG y el LMA tienen los estados necesarios para manejar/reenviar el tráfico enviado desde/al móvil.

2.4 Trabajos relacionados

2.4.1 DAIDALOS

DAIDALOS (*Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services*), es un proyecto europeo que, de acuerdo a [Daidalos2004, Bijwaard2005] proporciona un entorno en el que los usuarios móviles pueden acceder a un diverso rango de servicios a través de una red compuesta de diversas tecnologías. Además este entorno es abierto para el desarrollo de servicios por parte del operador.

Los siguientes son los objetivos específicos del trabajo de DAIDALOS:

- Desarrollar y demostrar una arquitectura abierta basada en un protocolo común de red IPv6 que permita:
 - El desarrollo por parte del operador de un rango amplio de servicios personales, proporcionados de forma transparente a través de diversas tecnologías.
 - Roaming global y handover con negociación de las siguientes capacidades: movilidad transparente¹¹, seguridad, tasación, tarificación, autenticación, autorización, calidad de servicio, contabilidad y auditoría, basada en arquitecturas Internet.
 - Interfuncionamiento entre diferentes tecnologías de acceso: WLAN, nuevas tecnologías inalámbricas, medios de difusión (cualquier medio tales como redes personales, redes Ad-hoc entre otros).
 - Un óptimo rendimiento en el acceso y en las redes troncales.

La arquitectura general de DAIDALOS, que se muestra en la Figura 21, está compuesta por distintas capas, cada una de ellas ejerciendo un rol específico en la red.

Las redes de acceso, que cubren un amplio rango de tecnologías de acceso, están conectadas a nuevas plataformas de aprovisionamiento de servicios y de transporte. En aquellos sistemas que evolucionan de las redes 3G, se han modelado de forma independiente plataformas de aprovisionamiento de servicios (SPP, *Service Provisioning Platform*), Plataformas de servicios ubicuos, redes de acceso (AN, *Access Networks*), terminales, otros proveedores de servicios y puntos de interconexión de claves. Estas entidades operan en forma de constelaciones que representan diferentes niveles de agregación de contenido y servicios. Un operador puede gestionar uno, varios o todos los dominios independientes.

- Plataforma de Servicios ubicuos: La plataforma de servicios ubicuos es la plataforma de servicios para aplicaciones ubicuas que contienen las funcionalidades necesarias para la personalización y la gestión de contextos.
- Proveedores de Servicios externos: Los proveedores de servicios externos (3PSP, *Third Party Service Providers*) proveen aplicaciones y contenido a los usuarios finales, dentro o fuera del dominio del operador. Pueden utilizar las facilidades de la plataforma de servicios ubicuos y de aprovisionamiento de servicios para permitir a través de una interacción simple con el usuario, proporcionar y asignar las capacidades de la red/servicio a utilizar por el usuario.
- Interconexión de claves: La interconexión de claves permite la comunicación entre varios tipos de gestión de claves en los diferentes dominios, para establecer un contexto seguro entre entidades de distintos dominios.

¹¹ Del inglés *Seamless Mobility*

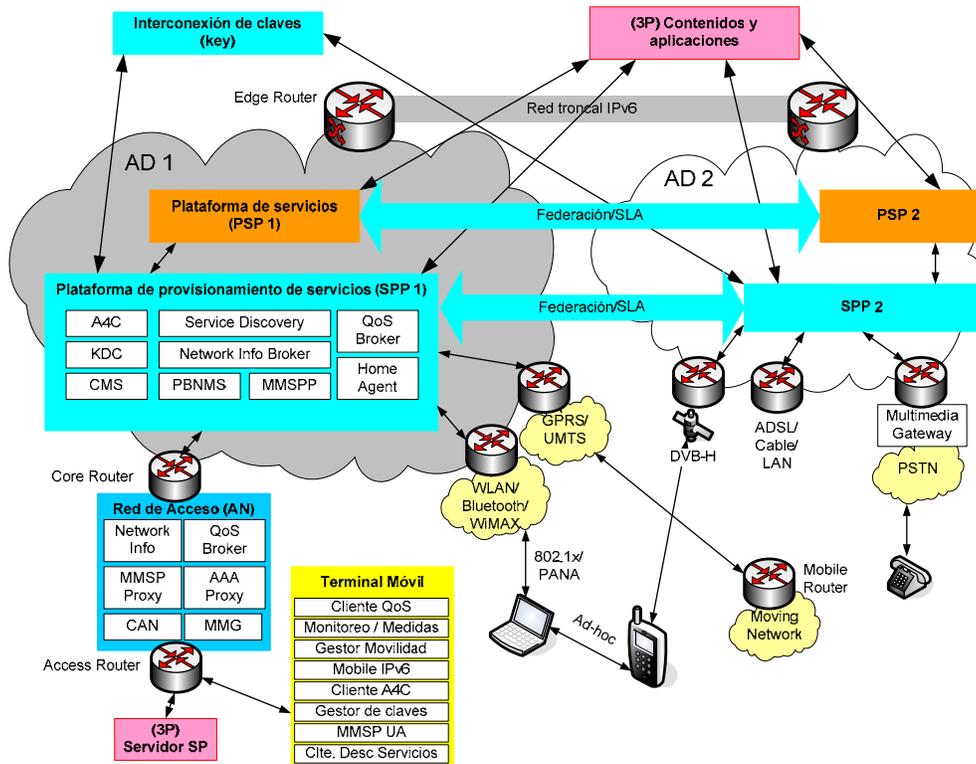


Figura 21 Arquitectura general de Daidalos [Bijwaard2005]

- **Plataforma de aprovisionamiento de servicios:** La plataforma de aprovisionamiento de servicios (SPP, *Service Provisioning Platform*) es la parte fundamental de la arquitectura DAIDALOS. La plataforma de aprovisionamiento de servicios constituye el entorno local del usuario con respecto a la identidad, servicios multimedia, movilidad, seguridad, autenticación, autorización, auditoría, contabilidad, y tarificación. La plataforma está compuesta de los siguientes elementos/funciones:
 - A4C: Autorización, autenticación, auditoría, contabilidad y tarificación
 - Centro de distribución de claves (KDC)
 - Sistema de monitorización Central (CMS)
 - Servidor de descubrimiento de servicios (SDS)
 - Broker de Información de la red
 - Servidor de gestión de políticas basadas en red (PBNMS)
 - Plataforma de aprovisionamiento de servicios multimedia (MMSP)
 - Broker de Calidad de Servicio
 - Home Agent
- **Red de Acceso:** La red de acceso está compuesta por los siguientes elementos:

- Router de acceso, que conecta los terminales con la red de acceso a través de distintas tecnologías
- Entidades de control broker QoS, Proxy Multimedia, Nodo de adaptación de contenido (CAN, *Content Adaptation Node*), y opcionalmente broker AAA.

2.4.2 WINE GLASS

WINE GLASS (*Wireless IP Network as a Generic Platform for Location Aware Service Support*), es un proyecto europeo cuyo objetivo fundamental ha sido “*explotar nuevas técnicas o mejoras basadas en IP para dar soporte a la movilidad y a la calidad de servicio garantizada en una arquitectura inalámbrica IP que incorpore UMTS y WLAN, y explorar su potencial respecto a las servicios de aplicaciones que utilicen localización y calidad de servicio para los usuarios móviles*”¹². Como parte del proyecto se desarrolló un entorno real de pruebas que incorpora una red troncal IP, con acceso a una red UTRAN, acceso a Intranet a través de WLAN, donde se desarrollaron y validaron las técnicas propuestas.

Desde el punto de vista de innovación, WINE GLASS atacó dos problemas:

- La integración de las redes móviles y las redes basadas en IP en un escenario de convergencia que incluyese una variedad amplia de contextos de servicios¹³;
- La definición de los esquemas de servicios que puedan utilizar aplicaciones basadas en localización en un ambiente IP.

La integración red-móvil propuesta por WINE GLASS se basó en una red troncal IP. Además, esta red troncal estaba conectada a diferentes tecnologías de acceso, incluyendo WLAN y UMTS. En este contexto, los principales requisitos/tareas han sido:

- Definición de una arquitectura de referencia basada en IP, y la evaluación de su rendimiento;
- Identificación de la división de funciones óptimas en la movilidad y el control de sesión entre la red troncal y la red de acceso;
- Definición de las funciones de interconexión necesarias entre la red troncal y la red de acceso;
- Definición de soluciones de señalización para suplantar el sistema SS7;
- Definición del control de Calidad de Servicio;
- Identificación de los efectos de propagación, movilidad y traspasos en los mecanismos TCP/IP;
- Identificación de las políticas de control de admisión más apropiadas en función del desempeño y características de la red de acceso y la red troncal;

¹² Traducido del inglés, ver [WineGlassD16].

¹³ Desde el punto de vista de esta tesis es de completo interés los planteamientos relacionados a este problema, por lo cual la descripción de los aportes de WINE GLASS descritos aquí solo cubrirá lo relacionado a la arquitectura integrada IP.

- Definición de un control adaptativo y de tiempo real de los recursos radio y de red;
- Definición de modelos de tráfico basados en servicios por todas las clases posibles de aplicaciones;

La configuración de partida de la red del proyecto WINE GLASS se muestra en la Figura 22.

El primer paso considerado en la evolución del proyecto fue la eliminación de la red troncal UMTS/GPRS, cuya funcionalidad se reemplazó con una función de interconexión ubicada en la red troncal en la frontera entre el enrutador y el RNC. Esto ha requerido mejorar las funciones de la red troncal para soportar todas las funciones cubiertas por la red troncal UMTS/GPRS (básicamente las funciones asociadas al SGSN, GGSN y HLR). El proyecto también ha cubierto la visión del IMS (3GPP *IP Multimedia Subsystem*).

La arquitectura de red está compuesta por dominios administrativos IPv6, que soportan los accesos 802.11b y UTRAN (sin la red troncal UMTS/GPRS), conectados a través de una red troncal IPv4.

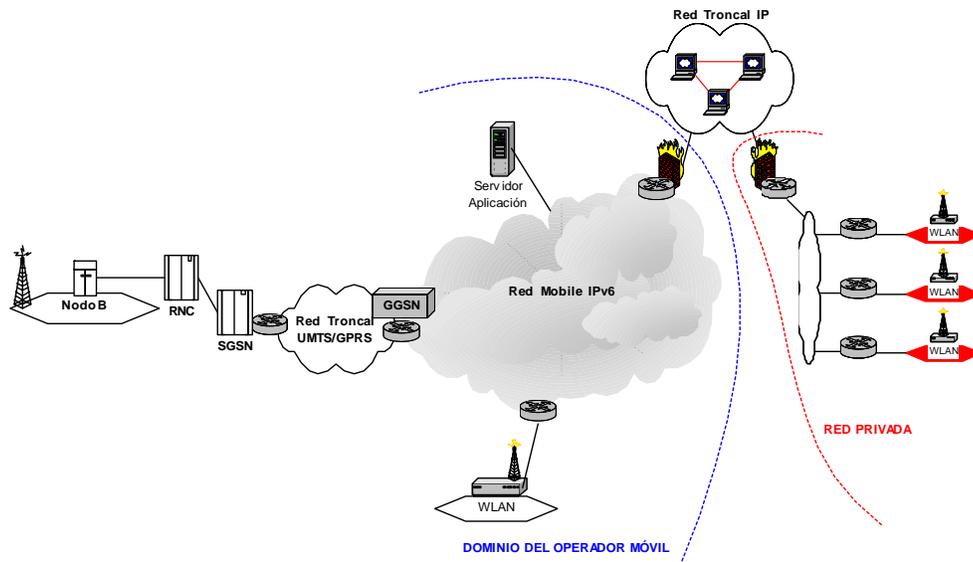


Figura 22 Red de partida WINE GLASS

En WINE GLASS, la red troncal UMTS/GPRS se reemplaza por una red troncal IPv6 donde los RNCs se conectan a unas nuevas entidades denominadas *pasarelas UTRAN-IP (UTRAN-IP Gateways)*. Cada pasarela está asociada a un único RNC formando una subred IPv6. Las funciones de gestión de la movilidad, AAA y calidad de servicio, se ofrecen a través de tecnologías IP. La Figura 23 muestra la arquitectura integrada IP/móvil.

En la arquitectura WINE GLASS, las pasarelas UTRAN-IP realizan las siguientes funciones:

- Interconexión con la red troncal y las funciones de transporte estándar IP.
 - Reenvío del tráfico (paquetes IPv6) desde/a el móvil conectado al RNC a/desde la red troncal IPv6
 - Mapeo de la calidad de servicio extremo-a-extremo (a nivel de transporte) entre IPv6 y la calidad de servicio UTRAN

- Soportar nueva señalización NAS (*Non Access Stratum*) para el control de sesión y gestión de la movilidad, introducida en WINE GLASS debido al reemplazo de la red troncal UMTS/GPRS por una red IPv6.
 - Un procedimiento de conexión a la red (*Attach*) para permitir al móvil autoconfigurar su dirección IPv6 Care-of-Address (CoA), autenticarse en la red y establecer la conexión IPv6 utilizando Mobile IPv6.
 - Procedimientos para manejar las conexiones sobre la UTRAN (*PDP Contexts*). La pasarela es un punto de terminación de señalización NAS.
 - Integración de funciones AAA. La pasarela funciona como un cliente AAA.
 - Señalización entre pasarelas para soportar los traspasos entre RNCs.
- Soporte del protocolo RANAP [TS25413], en la interfaz entre la pasarela y el RNC.

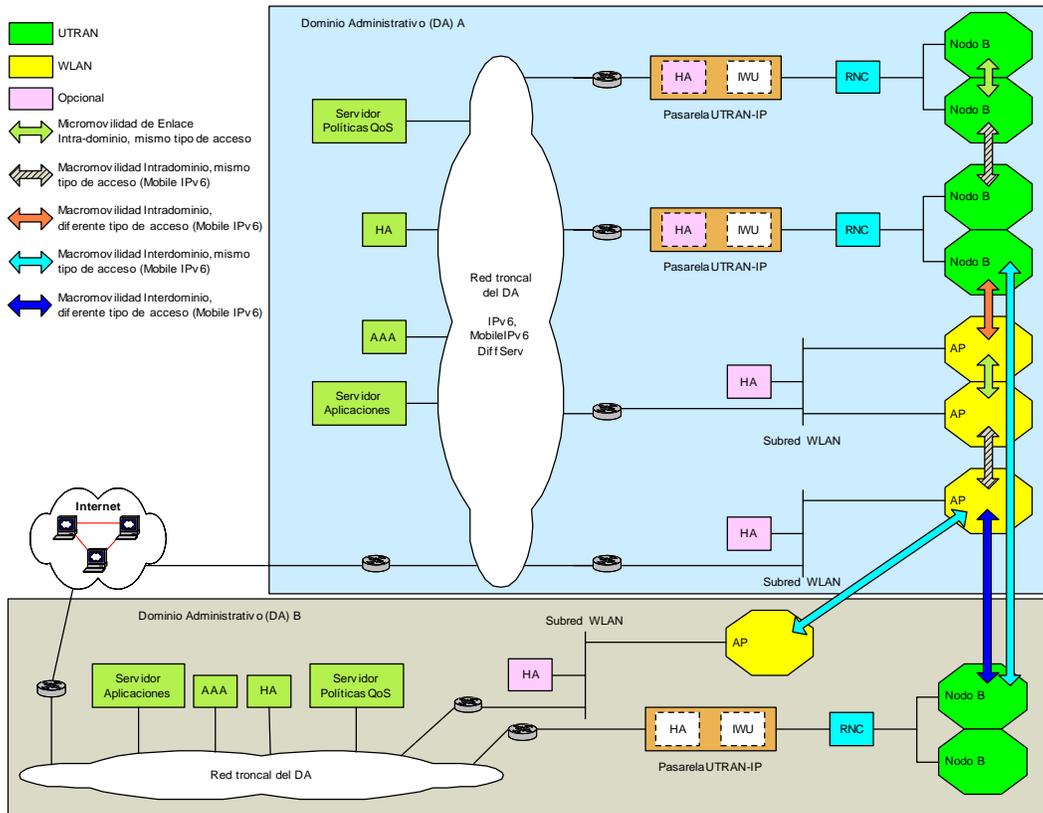


Figura 23 Arquitectura Integrada IP móvil de Wineglass

En WINE GLASS, se utiliza Mobile IPv6 para el manejo de la macro movilidad dentro y entre dominios administrativos. Esto incluye:

- Entre dos subredes IPv6 802.11b

- Entre dos RNCs, donde actúa Mobile IPv6 y el procedimiento de SRNS Relocation
- Entre una subred 802.11b y un RNC UTRAN (handover vertical)

Por otra parte WINE GLASS descansa en mecanismos de capa de enlace específicos a cada tecnología para manejar la micro movilidad. Esto incluye:

- Entre dos puntos de acceso 802.11b dentro de la misma subred
- Entre dos Nodos B dentro de la misma RNC

La arquitectura de calidad de servicio se basa en garantías suaves a los móviles. Las garantías suaves de calidad de servicio implica el diseño del sistema tomando en cuenta la calidad de servicio y parcialmente a los mecanismos de calidad de servicio, pero sin una garantía efectiva de los niveles de ésta.

Se utilizan los mecanismos de servicios diferenciados (*DiffServ*) en la red troncal IPv6, mientras que no se realiza Control de Admisión en la red troncal y la disponibilidad de recursos se garantiza a través de una correcta planificación en la red troncal. En la UTRAN, el cliente AAA (ubicado en la pasarela UTRAN-IP) realiza control de admisión. Esta arquitectura de calidad de servicio se considera válida y suficiente mientras el cuello de botella se encuentre en la red radio (lo cual es el caso universal hasta ahora).

Adicionalmente a los mecanismos básicos de red, WINE GLASS proporciona otros servicios:

- Posicionamiento geográfico, donde el móvil obtiene la posición de la red, y si lo desea, puede entregar esta información a un servidor de aplicación (u otro móvil) a través de una interfaz especificada y;
- Difusión de información en un área geográfica, donde se permite difundir mensajes en un área determinada (definida por una posición y un radio).

2.4.3 MIND

El principal objetivo de MIND (*Mobile IP based Network Developments*) es “facilitar la creación rápida de servicios y aplicaciones multimedia de banda ancha que son soportadas y particularizadas cuando se utilizan por los futuros usuarios móviles utilizando un número variado de tecnologías de acceso inalámbrico¹⁴”. MIND es la continuación del proyecto BRAIN (*Broadband Radio Access for IP based Networks*).

Los principales aspectos técnicos que abordó MIND fueron:

- La provisión de servicios de tiempo real sobre acceso WLAN.
- Proporcionar servicios sobre topologías de red más flexibles tales como redes Ad-hoc.
- Adaptar aplicaciones de una forma genérica para las diferentes calidades de servicio que los ambientes heterogéneos inalámbricos proporcionan.
- Incrementar el rango y la eficiencia en el transporte de paquetes IP, soportar mayores velocidades y un menor coste para las WLANs.

¹⁴ Traducido del Inglés, ver [Wisely2002].

- Proporcionar movilidad transparente¹⁵ dentro de las redes IP.
- Producir escenarios y modelos de negocio reales para validar el concepto.
- Desplegar un entorno flexible y dinámico de creación de servicios.

Como trabajo relacionado a esta tesis, se describe a continuación los aspectos de MIND relacionados con la arquitectura integrada y movilidad basados en IP.

Respecto al acceso Todo-IP, MIND plantea tres paradigmas en los que basa su diseño:

1. Transparencia de la red: El principal rol de la red es el de transportar paquetes y toda otra inteligencia es proporcionada por los extremos de la red.
2. Independencia de los componentes de red, para permitir y alentar la evolución de la red. Para realizar esto se siguió un esquema estricto de capas de protocolos/funciones.
3. Adaptar los protocolos existentes evolucionando los estándares, especialmente en el área de Calidad de Servicio y Movilidad. Solo se resolverán problemas específicos relacionados con el acceso inalámbrico, específicamente aquellos relacionados con la movilidad.

La Figura 24 muestra la arquitectura de red MIND basada en los principios expuestos anteriormente. Está basada en una red troncal IP, donde se proporciona calidad de servicio a ciertos tipos de tráfico.

La gestión de la movilidad en MIND consistió en la especificación de los handover entre redes (handover verticales) y la micro-movilidad.

Para el soporte de handover verticales, el proyecto especificó una interfaz denominada IP₂W (IP to Wireless), que proporciona al protocolo IP una interfaz a diferentes tecnologías de acceso inalámbrico. Esta interfaz está presente únicamente en los terminales móviles y en los enrutadores de acceso, dado que en el enlace radio de las tecnologías móviles, se proporcionan muchas más funcionalidades que en las redes de acceso por cable, por ejemplo para la gestión de la calidad de servicio y mantenimiento del enlace. Esta interfaz soporta el descubrimiento de las capacidades de la capa de enlace. A pesar de que muchas funcionalidades pueden realizarse en la capa de red, estas son mucho más eficientes si se tiene cierta información del nivel de enlace, por ejemplo, los niveles de la señal radio.

En BRAIN/MIND, el problema de la gestión de la micro-movilidad se dividió en tres aspectos principales: Handover, Actualización de localización, camino o ruta y Paging.

Tomando en cuenta que Mobile IPv6 no ofrece todas las funcionalidades necesarias para la micro-movilidad (por ejemplo señalización reducida, retardo mínimo sin pérdida de paquetes), el proyecto desarrolló un protocolo de micro-movilidad denominado BCMP (*BRAIN Candidate Mobility Protocol*) para proveer tales funcionalidades. En el diseño se asumió que la autenticación era función de la red de acceso.

¹⁵ Del inglés "Seamless Mobility".

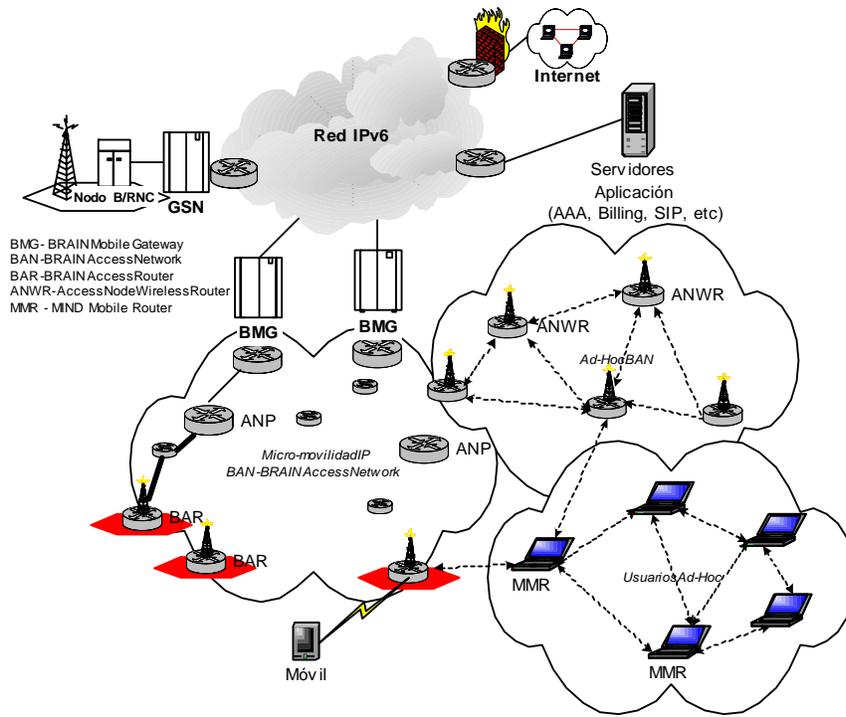


Figura 24 Arquitectura de red BRAIN/MIND

Las principales funciones de BCMP son Autenticación, Reenvío de paquetes, Handover, Actualización de ruta y Paging.

La calidad de servicio de red proporcionada por MIND, se basa en los mecanismos estándares del IETF para servicios integrados y diferenciados. MIND adicionalmente, proporciona un *middleware* (llamado *QoS Wrapper*) para la gestión de la calidad de servicio respecto a los requisitos de la aplicación.

2.4.4 Moby Dick

El proyecto Europeo Moby Dick (*Mobility and Differentiated Services in a Future IP Network*) [D0101] diseñó e implantó una arquitectura móvil y heterogénea basada en [MIPv6]. La infraestructura incluyó estaciones base con tecnologías 802.11, Ethernet y UMTS TDD basadas en una red troncal IPv6, con soporte a comunicaciones de voz y datos utilizando las diferentes tecnologías de acceso, soporte de calidad de servicio y funciones AAA.

La arquitectura Moby Dick se diseñó tomando en cuenta dos aspectos fundamentales:

- La red debe implementar sus funcionalidades a través de protocolos IP donde sea posible.
- La red debe proveer servicios de voz con una calidad de servicio similar a las redes celulares tradicionales, incluyendo la gestión de handovers.

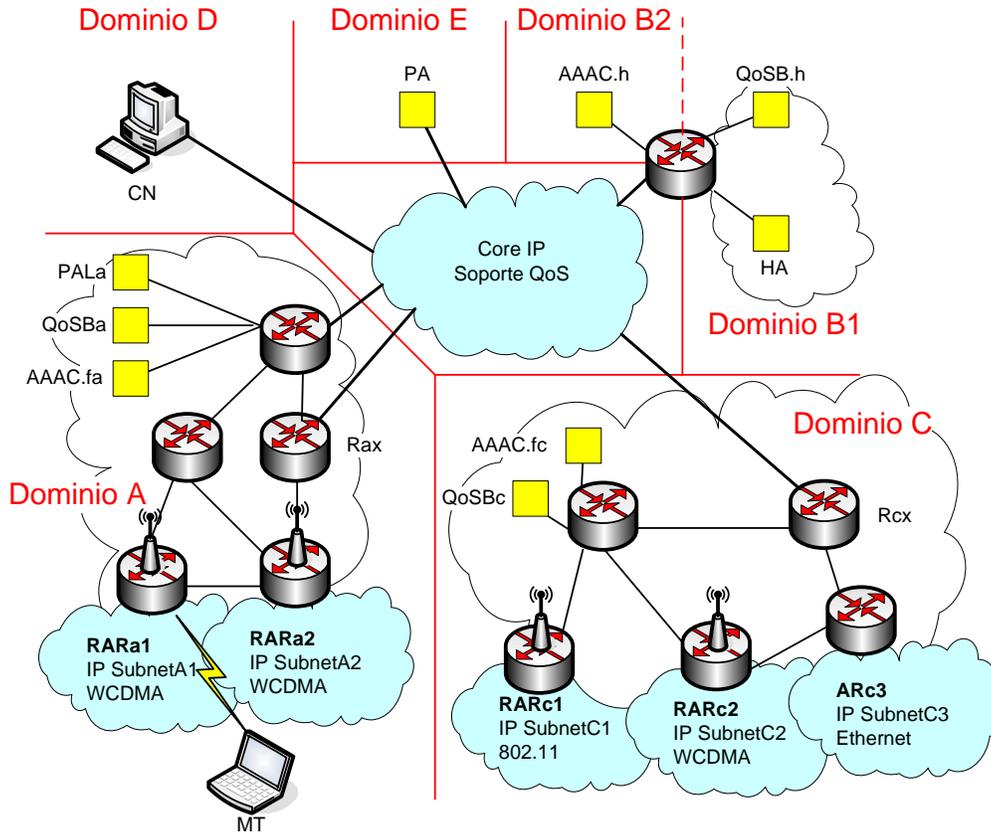


Figura 25 Modelo conceptual Moby Dick

El modelo conceptual de la arquitectura Moby Dick se muestra en la Figura 25, e incluye los siguientes elementos:

- Terminales móviles, con interfaces a diferentes tecnologías.
- Pasarelas Radio (RG, *Radio Gateway*), que funcionan como interfaz entre el enlace radio y la red troncal IP. Las RG son puntos de acceso con soporte IP, conceptualmente enrutadores de acceso IP.
- Enrutadores en la red troncal.
- Servidores de movilidad, que proveen soporte y gestión de la movilidad a través de protocolos de movilidad IP. Los servidores de movilidad en la red Moby Dick son el HA de MIPv6 y los *Paging Agents* (PA), estos últimos encargados de la gestión de paging de los usuarios.
- Servidores de Calidad de servicio: El modelo de calidad de servicio se basa en el uso y aplicación de políticas, siguiendo el modelo del IETF. Para esto, la arquitectura Moby Dick incluye Brokers de calidad de servicio, Puntos de definición de políticas (PDP), y puntos de aplicación de políticas (PEP) para la gestión de la calidad de servicio de los usuarios.
- Servidores AAA.

Cuando se compara con las redes de acceso 3G, la arquitectura de red Moby Dick resulta más simple. El único elemento con conocimiento del entorno radio es la pasarela radio RG. Todos los demás elementos de la red son eliminados (RNC, HLR, VLR, EIR, MSC, GMSC, SGSN, GGSN en UMTS) y con ello sus interfaces, algunas reemplazadas por equivalentes IP. La transmisión de datos es puramente IPv6, sin utilizar un protocolo fijo para hacer túnel (GRE o GTP en las redes 3G). Por ejemplo las funciones del HLR relacionadas con la movilidad global del usuario, son gestionadas en la red Moby Dick por el HA.

En la red de acceso radio, las funcionalidades típicamente asociadas con el controlador de la red de acceso (RNC y BSC en UMTS y cdma2000 respectivamente) se ha distribuido en los servidores AAA, QoS Broker, Paging Agent, y la pasarela radio RG. La Figura 26 muestra la pila de protocolos para la transmisión de datos en Moby Dick, donde todo el tráfico es IP al ingresar en la red.

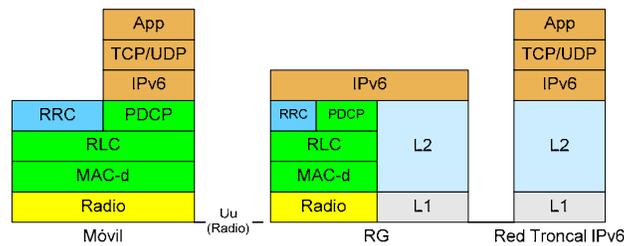


Figura 26 Pila de protocolos para soporte UMTS

2.4.5 CAUTION ++

CAUTION++ (*CA*Capacity and network management platform for increased Utilization of wireless systems of next generATIOn++), es un proyecto europeo cuyo principal objetivo es “el diseño y desarrollo de un sistema novel, de bajo coste, flexible, altamente eficiente y escalable que pueda ser utilizado por los operadores móviles para incrementar el desempeño de todos los segmentos de la red” [CAUTIOND61]. El mismo se basa en el planteamiento de una arquitectura de gestión de recursos que pueda implementarse sobre diversas redes de acceso móvil.

De este objetivo general, los objetivos específicos de la arquitectura CAUTION++ son los siguientes:

- Monitorizar cada red de forma separada (GSM, GPRS, UMTS y WLAN)
- Detectar situaciones de congestión que pueden ocurrir en estas redes
- Aplicar técnicas locales a cada red para mejorar la gestión de los recursos radio para eliminar o minimizar los efectos de las sobrecargas.
- Asegurar una transición estable desde el estado de congestión a la normalidad
- Aplicar técnicas para la gestión de recursos radio inter-redes cuando la congestión no pueda ser manejada de forma efectiva dentro de la red.

La arquitectura de CAUTION++ se muestra en la Figura 27. El primer elemento de la arquitectura es la unidad de monitorización de tiempo real, cuyo propósito es monitorizar la utilización de recursos de red para detectar las situaciones congestión, y llamada Unidad de Monitorización de Tráfico (ITMU). El ITMU es el recolector de un grupo de indicadores de desempeño de red (KPIs,

Key Performance Indicators), que son utilizados para describir la congestión. Cada tipo de red de acceso radio en el entorno de CAUTION++ tiene un ITMU dedicado.

La información recolectada por el ITMU es enviada a un componente de mayor jerarquía, la Unidad de Gestión de Recursos (RMU). El RMU es el elemento de la arquitectura CAUTION++ con la tarea de realizar el primer nivel de gestión de recursos. La información que el ITMU pasa al RMU es en forma de alarmas, que indican el porcentaje de congestión de cada indicador de red.

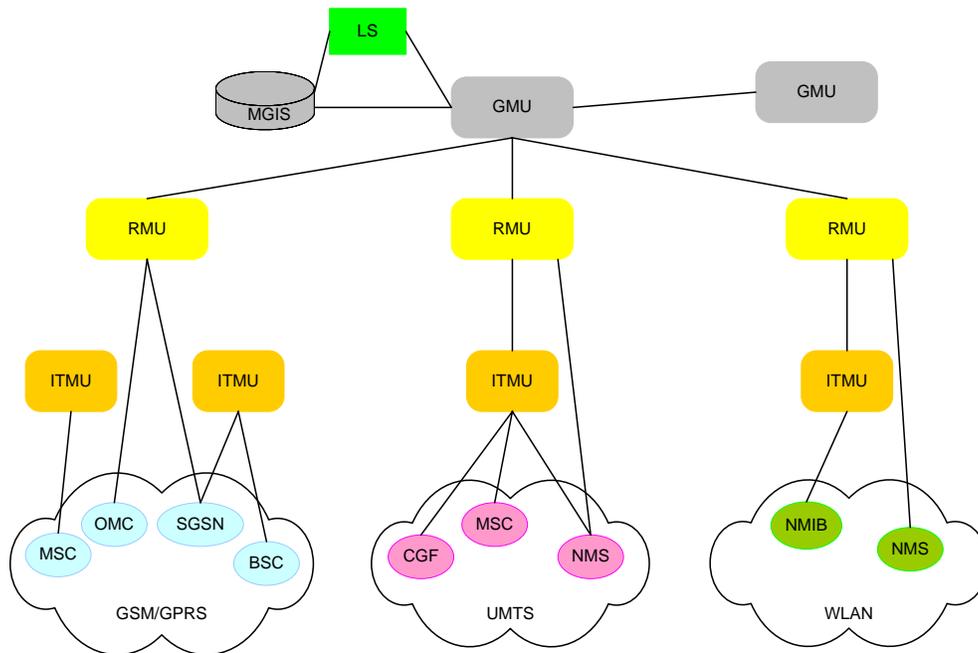


Figura 27 Arquitectura de red CAUTION++

El RMU procesa esta información para compararla con uno en un grupo de escenarios predefinidos de carga de red, cada uno de ellos describiendo una situación particular de congestión. Entonces se selecciona y aplica una técnica de gestión apropiada al escenario encontrado. Después de la reacción, el RMU y el ITMU se coordinan para asegurar la transición del estado de congestión al estado normal.

El siguiente nivel de gestión de recursos en CAUTION++, se implementa por la Unidad de Gestión Global (GMU). El GMU es el elemento global que se conecta a los RMU de cada red. En el caso de que un RMU no pueda manejar satisfactoriamente la congestión detectada por su ITMU, puede escalar una petición hacia el GMU. Cada GMU mira los recursos de un operador de red y permite la gestión de recursos entre las redes de acceso a través del handover entre diferentes tecnologías de acceso (por ejemplo GPRS con WLAN).

En CAUTION++, el rol del servidor de localización (LS) es proporcionar información de localización a otros componentes del sistema para la incorporación de la información de la localización del usuario en los algoritmos de gestión de recursos. El sistema de información geográfico de la red móvil (MGIS) se utiliza para almacenar información de localización

específica de la red y utilizada por el servidor de localización así como por otros componentes de la arquitectura CAUTION++ (por ejemplo ITMU).

2.4.6 Otros trabajos de interés

Las arquitecturas y servicios 4G es uno de los tópicos que más trabajos de investigación generan en el área de telemática y de convergencia de redes. Además de los trabajos auspiciados por organismos de estandarización y gubernamentales, existen una serie de trabajos que han proporcionado aportes en las áreas relacionadas con el ámbito de la tesis.

2.4.6.1 Arquitecturas 4G

[Yabusaki2005] plantea y propone una solución al problema de la ubicación de la inteligencia de red en las redes 4G. Parte de la consideración inicial del IETF donde la inteligencia de red se ubica en los clientes de la red, y analiza el planteamiento e implantación tradicional en estándares de telefonía y redes móviles que ubican la inteligencia de red, en la red misma, a través de nodos de servicios. El trabajo concluye que para soportar los mecanismos necesarios de las redes 4G, es necesario que la inteligencia de la red se proporcione a través de nodos de red, sobre todo analizando que los operadores de red deben ser capaces de controlar la operación y grado de servicio de la misma.

[Chih2004] define un modelo de arquitectura (llamado FCAR, *Forwarding Chain and Aggregate Reservation*) donde la movilidad está basada en IDMP [Das2002], y la calidad de servicio basada en RSVP. Los autores comentan que la arquitectura de calidad de servicio, basada en servicios diferenciados no es una buena opción dado que sus garantías de calidad de servicio no son estrictas. Esto, por ejemplo, entra en conflicto con las decisiones tomadas por los organismos de estandarización de las redes 3G, que han seleccionado DiffServ en las redes de acceso [TR25933]. Un punto que destacar en este trabajo es que utiliza una arquitectura de movilidad jerárquica, similar a [HMIPv6] con un punto de agregación central denominado MA (*Mobility Agent*) así como también enlaces directos entre las subredes vecinas para agilizar el handover y la transferencia de contextos.

2.4.6.2 Movilidad

[Shah2004] realiza una novedosa propuesta para la integración de GSM y Mobile IPv6, utilizando una arquitectura jerárquica basada en la utilización de direcciones locales de enlace, direcciones locales de sitio y direcciones globales IPv6, con los diferentes indicadores de la red de acceso, esto es, BTS, BSC y MSC respectivamente. Esto permite al móvil reducir las actualizaciones de red en muchos casos y a la infraestructura de la red conocer las distintas CoA (de enlace entre la BTS-BSC y el móvil, de sitio entre la BSC-MSC y el móvil y global entre Internet y el móvil) con anticipación, ya que se propone la utilización de los identificadores de BTS, BSC y MSC como NLA ID (*Next-Level Aggregation Identifier*) y SLA ID (*Site-Level Aggregation Identifier*) conocidos por el móvil, ya que pueden ser difundidos en los mensajes de información del sistema GSM. Adicionalmente se propone la utilización del IMSI como identificador del enlace para evitar la duplicación de direcciones de forma automática. Es importante resaltar que el estudio no analiza el impacto en la seguridad que puede ser causado por la exposición del IMSI en una dirección de red. Sin embargo la propuesta podría ser modificada para utilizar el identificador de número e.164 en lugar del IMSI. Al integrarlo con [HMIPv6] esta propuesta podría resolver asuntos como

la formación de las CoA en el entorno de Mobile-IP RAN, así como la duplicación y organización del direccionamiento en la red. Es importante destacar que en [RFC4291] se cambió la estructura del direccionamiento IPv6 eliminando los identificadores de agregación SLA ID y NLA ID, y se ha estructurado la dirección con un identificador de interfaz y uno de subred, por lo que la propuesta de [Shah2004] se ha quedado obsoleta respecto a la implementación actual de IPv6. Sin embargo, la misma muestra una posibilidad de estructurar el direccionamiento IPv6 respecto a la jerarquía de la red móvil.

[Politis2004] introduce en la arquitectura de movilidad 4G, el concepto de una pasarela mejorada de movilidad (EMG) que proporciona funciones de enrutamiento de datos de tiempo real a través de un Proxy utilizando el protocolo SIP, y enrutamiento de datos de tiempo no real utilizando IP móvil. El uso de SIP en entornos de movilidad también es propuesto por [Zeadally2004] basados en los resultados de desempeño obtenidos.

[Won2002, Won2003] analiza la movilidad del sistema UMTS y del sistema de Paging IP de Mobile IP a través del estudio de la probabilidad de estado estacionario de los distintos estados de movilidad de estas redes, utilizando cadenas semi-markov. A través de este estudio permite determinar las relaciones entre los estados de movilidad, los temporizadores asociados así como la relación movilidad-sesión y su influencia en la permanencia del móvil en un estado. La base de estos trabajos se adapta y utiliza en esta tesis para estudiar la probabilidad de estado estacionario de los distintos estados de movilidad de Mobile-IP RAN.

[Hu2005] propone una mejora a [HMIPv6] a través de la comunicación entre enrutadores de acceso, con el objeto de optimizar la ruta entre el MAP y el móvil. Los autores sugieren que los enrutadores de acceso no conocen la topología, y que pueden existir varios caminos entre el enrutador de acceso y el MAP, por lo que introducen un procedimiento para determinar la ruta óptima entre el nuevo enrutador de acceso y el MAP.

2.4.6.2.1 Paging

[Lee2003] realiza una propuesta para el soporte de paging en redes [HMIPv6] a través de la utilización de un nuevo mensaje de paging, utilizando la RCoA como dirección del móvil (en el paging) y utilizando como identificador del paging la distancia (de salto) y la dirección del MAP.

[Hong2007] propone una extensión al mensaje [MIPv6] *Router Advertisement* para el soporte de paging. La extensión incluye un bit de paging, para indicar que el mensaje contiene una lista de direcciones IP (*Home Addresses*) de móviles que están siendo avisados. Esta solución aunque no es eficiente desde el punto de vista de gestión de los recursos radio, bien puede servir para el aviso a móviles sobre redes que no soporten paging, o modo durmiente a nivel de la capa de enlace.

2.4.6.2.2 Handover

[Jung2005] propone la integración del [FHMIPv6] con [HMIPv6] a través del MAP como elemento central de gestión del handover, con el objeto de optimizar el reenvío de los datos entre el enrutador de acceso origen y destino en una red [HMIPv6], y para reducir la latencia del handover por la ineficiencia de los túneles dobles al integrar [HMIPv6] y [FHMIPv6] a través de los enrutadores de acceso. Al ser el MAP el elemento central de movilidad (inicia el procedimiento de handover IP e identifica el enrutador de acceso destino de acuerdo a la

información proporcionada por el móvil), la propuesta asume que el MAP es conocedor de la relación de vecindad entre los routers de acceso, algo que extiende las funciones del MAP, mucho más allá de ser un punto de anclaje de movilidad.

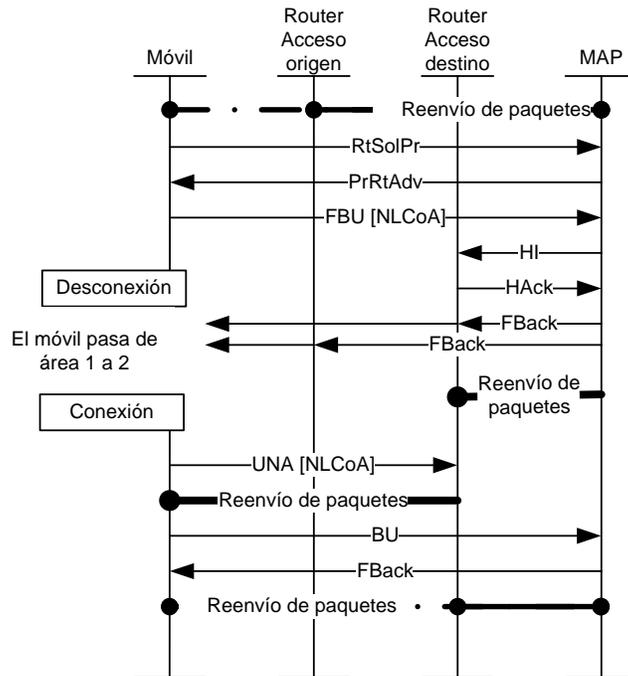


Figura 28 Handover iniciado por el móvil en [Jung2005]

Los principales cambios propuestos por [Jung2005] para soportar la integración directa de [HMIPv6] y [FHMIPv6] son:

- Un nuevo bit “F” en la opción MAP del *Router Advertisement*, donde indica el soporte de Fast Handover.
- Algunos de los mensajes [FHMIPv6] se utilizan entre el MAP y el enrutador de acceso origen/destino, en lugar de utilizarse entre enrutadores de acceso, por lo que cambian las direcciones IP origen/destino.
- El MAP debe conocer, por configuración, o por instrucción de cada enrutador de acceso, las relaciones de vecindad entre los enrutadores de acceso.

Como opción, aunque no se encuentra elaborado, la propuesta establece que, en caso de que el enrutador origen conozca las relaciones de vecindad, se puede implementar el inicio del proceso de handover entre el móvil y el enrutador acceso (mensajes *RtSolPr* y *PrRtAdv*), en lugar de realizarlo con el MAP.

[VanNguyen2007] propone una mejora a [Jung2005] al extender el mensaje *RtSolPr* incluyendo el mensaje FBU, de forma de enviar un único mensaje que pueda ser procesado por el MAP. El objeto de esta extensión es reducir el tiempo entre la preparación del handover (mensajes *RtSolPr*, *PrRtAdv*, FBU) y la ejecución del mismo. Los autores resaltan una reducción de aproximadamente 25% en el retardo del handover entre enrutadores de acceso sobre un mismo MAP y de 15% entre enrutadores de acceso sobre distintos MAP.

[Shin2008] propone una mejora a [Jung2005], en la cual el enrutador de acceso destino crea la NCoA (por lo cual no es necesario que el móvil envíe el FBU), y ésta es comunicada al móvil en el mensaje NNACK como respuesta al mensaje UNA, una vez que el móvil ha alcanzado conectividad con el nuevo enrutador de acceso. El resultado es una mejora en el tiempo de handover, debido al ahorro en el envío de mensajes (PrRtAdv y FBU) durante la preparación del handover (ya que no tiene que esperarse la ejecución de la detección de duplicidad de dirección IP – DAD). El retardo de handover es similar a [VanNguyen2007], sin embargo el impacto sobre la carga de la red de transporte es mayor, ya que al móvil no conocer la topología de red (enrutadores de acceso vecinos), el MAP debe establecer túneles con todos los enrutadores de acceso considerados como posibles vecinos.

[Wei2007] propone una mejora a [HMIPv6] incorporando un mecanismo de multicast en el handover, para que, de igual forma que en [Shin2008] el MAP pueda enviar los paquetes de datos al móvil (con esto reduciendo el período de interrupción) antes de completar el DAD. En esta propuesta, el móvil inicia su suscripción a un grupo multicast (aunque multicast, este grupo está formado únicamente por el móvil en handover) utilizando MLD, para que el MAP, independientemente del resultado del MAP, pueda continuar enviando paquetes al móvil, utilizando su dirección multicast. Una vez recibido el mensaje Back del MAP (confirmando que ha completado exitosamente el DAD), el móvil comenzaría a recibir por su nueva LCoA. Los autores, aunque no comentan como se realizaría este traspaso (para evitar duplicación o posible pérdida o desorden en los paquetes), estiman unas mejoras importantes en la reducción del tiempo de handover respecto a [HMIPv6].

[Jing2008] propone un método, englobado (aunque no mencionado) dentro de la propuesta [Jung2005] para realizar sesiones múltiples entre el MAP y los enrutadores origen y acceso, con el objeto de minimizar la pérdida de paquetes. Esta propuesta es similar, aunque completamente adaptada a [Jung2005], a la propuesta de bi-casting de MobyDick.

Un aspecto importante a mencionar entre todas las propuestas de mejoras de [Jung2005] es que estas asumen una cierta configuración de los enlaces MAP a los enrutadores de acceso, para definir sus ventajas y desventajas (por ejemplo, se utiliza notablemente el caso de que en realidad no existe conexión física entre los enrutadores de acceso, por lo cual el tráfico entre enrutadores de acceso debe pasar inevitablemente por el MAP), así como algunos de ellos asumen un cierto conocimiento del MAP del entorno de vecindad (radio/L2). Mobile-IP RAN no considera o asume ninguno de los dos axiomas en el planteamiento del handover, ya que uno de los principios de Mobile-IP RAN es basar la movilidad, en los mecanismos de movilidad IP.

2.4.6.3 Calidad de servicio

El proyecto europeo AROMA [AROMAD01] define una serie de algoritmos y estrategias de calidad de servicio y gestión de los recursos radio que permiten la garantía de calidad de servicio extremo a extremo a través de un gestor de calidad de servicio que gestiona, tanto la calidad de servicio en el transporte como en la red radio, utilizando como base una red UMTS, aunque extendida para el soporte de otras redes de acceso radio. La propuesta presenta avances importantes en la caracterización de los servicios en la interfaz radio y de algoritmos innovadores para la gestión de los recursos radio. Asimismo, el proyecto menciona como uno de los posibles (retos) trabajos futuros la especificación de la señalización entre los elementos de gestión en el acceso y aquellos en la red troncal en un ambiente multi-estándar (y multi-tecnología).

2.4.6.4 Sincronización

[Chia2001] propone un método de auto-sincronismo para los sistemas móviles de tercera generación. Este método se basa en la colocación de unidades de sincronización, similares a una estación móvil, que envíen medidas a las estaciones base que permitan establecer la sincronización del sistema, sin necesidad de tener mecanismos de sincronización a través de un reloj maestro como el GPS en el sistema cdma2000 o complejos mecanismos de sincronización basados en protocolos como UMTS. Sin embargo, los autores no explican detalles de implantación o más importante, no discuten los posibles problemas asociados tales como la calibración de estas unidades de medida.

[Abraham2002] menciona el compromiso existente entre la sincronización de trama en la interfaz Iub del sistema UMTS y la capacidad del enlace de la interfaz, para el tráfico de voz, a través del estudio de la probabilidad de descarte, el retardo de las tramas y la capacidad del enlace. El estudio demuestra que el tamaño de la ventana es el factor predominante en la relación entre el retardo y el descarte de tramas, siendo esta ventana definida en los propios algoritmos del RNC.

[Sagfors2004] propone un modelo para la sincronización de trama de acuerdo a un mecanismo adaptativo que bascula alrededor del límite de la ventana de recepción de la trama. El mismo consiste en incrementar continuamente el tiempo de envío de trama por un diferencial α hasta que la trama llegue al final de la ventana por lo que el Nodo B enviaría una trama de ajuste de sincronización. Al recibirla, el RNC ajustaría el tiempo de transmisión en $\beta > \alpha$, y comenzaría de nuevo el ciclo. Como ventaja de este sistema se puede mencionar que es autorregulable y busca optimizar la ocupación del búfer del Nodo B destino, a cambio de que el proceso de sincronismo de trama se ejecute constantemente en el RNC y el Nodo B destino, a cambio del procedimiento normal, en el que el Nodo B origen solo activa su mecanismo de ajuste a partir de la recepción de la trama de sincronización. Los autores también comentan que el método es aplicable a cualquier otro sistema que requiera sincronización de trama, sin embargo no ofrecen mayores detalles sobre una posible adaptación a un entorno distinto a UMTS.

2.4.6.5 Servicios de Localización

[Lim2007] define una "arquitectura segura" para los servicios de localización basados en redes 802.11. [Lim2007] considera que una arquitectura basada en el móvil como elemento central de cálculo y almacenamiento de posición es insegura, al estar el móvil normalmente expuesto tanto a la manipulación física como a las redes por las cuales se "mueve". Propone utilizar una red en capas, basadas en servidores que se encarguen de las funciones de aprovisionamiento, almacenamiento y cálculos de la localización del móvil. Asimismo, la investigación posiciona la localización segura como un mecanismo que puede utilizarse para añadir seguridad a los mecanismos tradicionales (por ejemplo, autenticación basada en clave y en la localización del usuario).

[Martin2004] propone la optimización del coste de proveer servicios de localización en las redes móviles celulares, a través del uso de una función de estimación de coste integrada en el SMLC. Esta función selecciona el método más adecuado de localización (Cell-ID, Cell-ID + Timing Advance, Cell-ID + Timing Advance + Medidas, E-OTD y A-GPS) dependiendo del coste de proporcionar el servicio. El cálculo del coste incluye los siguientes factores: Volumen de señalización, tiempo de transmisión de la petición y resultado y consumo de energía (en el

móvil). A pesar de que este trabajo se ha enfocado en el sistema GSM/UMTS, es interesante de mencionar ya que podría ser igualmente aplicable a entornos multi-red o entornos donde el terminal soporte más de un método de localización. Utilizando esta función, los autores aseguran que se pueden lograr mejoras desde un 44% en entornos urbanos a 61% en entornos suburbanos.

2.5 Conclusiones - Puntos abiertos en el estado del arte

El análisis del estado del arte muestra una intensa actividad de investigación en torno a las arquitecturas de redes móviles de cuarta generación, para el soporte de redes de acceso heterogéneas:

- El estado del arte actual utiliza [MIPv6] como protocolo central de movilidad IP entre el móvil y la red troncal 4G.
- Existen dos propuestas principales de movilidad IP local para la mejora del desempeño de [MIPv6] en entornos móviles: Mobile-IPv6 jerárquico [HMIPv6] y Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6]. La principal diferencia entre estas dos arquitecturas es que en [HMIPv6] el móvil es parte del proceso (señalización) de movilidad IP, mientras que en [PMIPv6] la red ejecuta los procedimientos de movilidad IP a nombre del móvil.
- Las redes móviles 3G, UMTS y cdma2000, están evolucionando hacia la 4G, a través de la simplificación de la red de acceso y sus protocolos, de nuevas interfaces radio que permiten mayores velocidades de acceso, y la utilización de movilidad local IP para una mejor integración con otras redes de acceso también basadas en IP. Las redes móviles 3G han adoptado Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6] como protocolo de movilidad local, ya que proporciona una evolución más sencilla del sistema, al no requerir modificaciones en el móvil respecto a la movilidad en la red de acceso. Este ha sido un aspecto preponderante en la selección del modelo de movilidad, ya que tiene un impacto inmediato menor en la evolución de la tecnología del móvil y la red. Sin embargo, en una evolución a largo plazo, no están muy claros los beneficios de la movilidad basada en [PMIPv6] respecto a la movilidad asistida por el móvil [HMIPv6].
- Existe otro grupo importante de investigaciones de arquitecturas 4G (AROMA, DAIDALOS, WINE GLASS, MIND, Moby Dick, CAUTION++ entre otras), que proponen arquitecturas genéricas multi-tecnologías, que proporcionan servicios de usuario y red.

El análisis del estado del arte también refleja una serie de puntos de investigación que continúan abiertos:

- Aunque la evolución de los sistemas móviles 3G incluye la homogenización de muchas funciones comunes (fundamentalmente en la red troncal), estos sistemas todavía utilizan protocolos propietarios en las distintas redes de acceso radio (UTRAN, E-UTRAN, GERAN para UMTS así como cdma2000 1X o UMB para cdma2000). Es necesario continuar el estudio de propuestas que logren una mayor o total integración de dichas tecnologías en el acceso.

- Las propuestas de investigación de arquitecturas 4G estudiadas en el estado del arte, por sí solas, no proporcionan todos los servicios necesarios en la red de acceso de una forma integrada, ya que la mayoría de estas investigaciones han estado enfocadas en la red troncal y en los servicios de usuario, o en algún servicio específico de la red de acceso. Es necesario continuar propuestas que permitan analizar la complejidad de proporcionar los servicios de la red de acceso de una forma heterogénea (a través de distintas tecnologías de acceso) y utilizando una arquitectura de red de acceso común.
 - DAIDALOS se enfoca en el soporte de servicios en la red troncal. En la red de acceso propone la gestión de la calidad de servicio y AAA en la salida de la red de acceso más no dentro de ésta. Dentro de la red de acceso, se gestionan estos servicios a través de sus protocolos propietarios (a cada tecnología de acceso).
 - WINEGLASS propone una arquitectura de movilidad y localización de usuarios basada en movilidad IP. Sin embargo, este soporte es limitado al handover entre subsistemas (RNC) o sistemas (handover vertical). Los handover entre estaciones del mismo sistema (los más comunes en un entorno móvil) siguen siendo una función específica de cada tecnología.
 - La red Moby Dick, si bien se acerca al objetivo planteado por esta tesis sobre el soporte de distintas tecnologías radio, a través de protocolos IPv6, no soporta todos los servicios que deben ser proporcionados por la red de acceso (soft-handover, posicionamiento, sincronización, soporte AAA y de calidad de servicio independiente en el acceso).
- El análisis de estas propuestas de integración también muestra que existen áreas no cubiertas en detalle, tales como la funcionalidad de soft-handover (y el sincronismo asociado), el soporte de métodos avanzados de localización, o simplemente las distintas características de las interfaces radio (estados de movilidad, soporte a paging o a mensajes de difusión de sistema). Es necesario profundizar en el análisis de estos aspectos para realizar propuestas que permitan ofrecer estos servicios a través de una red de acceso común con soporte a múltiples interfaces radio.

Basados en el análisis del estado del arte, esta tesis, se enfoca entonces en el desarrollo de una arquitectura de red de acceso móvil 4G, llamada Mobile-IP RAN, cuya característica principal es que proporciona los servicios asociados a una red de acceso móvil (transmisión de datos de usuario, AAA, calidad de servicio, gestión de recursos radio, movilidad, posicionamiento, descubrimiento de servicios y sincronización) a través de protocolos IP móvil y soportando de forma simultánea distintas tecnologías radio.

CAPÍTULO 3

REQUISITOS DE LA RED DE ACCESO 4G

3.1 Introducción

La especificación de los requisitos de la red de acceso 4G, es uno de los objetivos propuestos en esta tesis. Este capítulo especifica estos requisitos, como parte de la definición de la propuesta de red de acceso radio 4G Mobile-IP RAN. A partir del escenario de aplicación de la red de acceso radio 4G propuesto, se definen los requisitos generales de la red, así como requisitos específicos para las funcionalidades de movilidad radio, sincronización de red y de usuario, transferencia de datos de usuario, localización de usuario, calidad de servicio, autenticación, autorización y tarificación (AAA), seguridad y descubrimiento de servicios.

3.1.1 Entorno de Mobile-IP RAN: Escenario de red 4G

El desarrollo de Mobile-IP RAN se centra en un escenario de explotación de servicios de valor añadido sobre la red 4G. Este escenario proporciona a Mobile-IP RAN las siguientes características.

- *Es una red de operador:* Mobile-IP RAN es parte (red de acceso) de la red del operador. Por tanto, Mobile-IP RAN es una red que se encuentra bajo la administración de un operador que fija las políticas de seguridad, acceso y calidad de servicio a cada uno de los emplazamientos físicos y lógicos de la red.

Desde el punto de vista de seguridad, se consideran que los equipos están lo suficientemente protegidos para impedir el acceso físico a los mismos, y que los equipos internos de la red tienen establecidas relaciones de confianza¹⁶.

- *Servicios multimedia:* Mobile-IP RAN se centra en proporcionar la capacidad y flexibilidad al operador para ofrecer de servicios multimedia de voz, video y datos¹⁷ de

¹⁶ El Capítulo 4, dedicado a la arquitectura de la red Mobile-IP RAN, discute los aspectos fundamentales de la seguridad en Mobile-IP RAN.

¹⁷ Conocidos en el mercado como servicios *Triple-play* (se refiere a servicios múltiples sobre Internet, el más generalizado se refiere a telefonía, acceso a Internet y Televisión a través de Internet) en el entorno residencial o móvil.

forma flexible, añadiendo un nuevo vector que es la movilidad, como parte de la estrategia general del mercado conocida como convergencia fijo-móvil¹⁸.

- Está conectada a una red troncal 4G, cuyos mecanismos generales de movilidad de red están basados en IP móvil versión 6 [MIPv6].

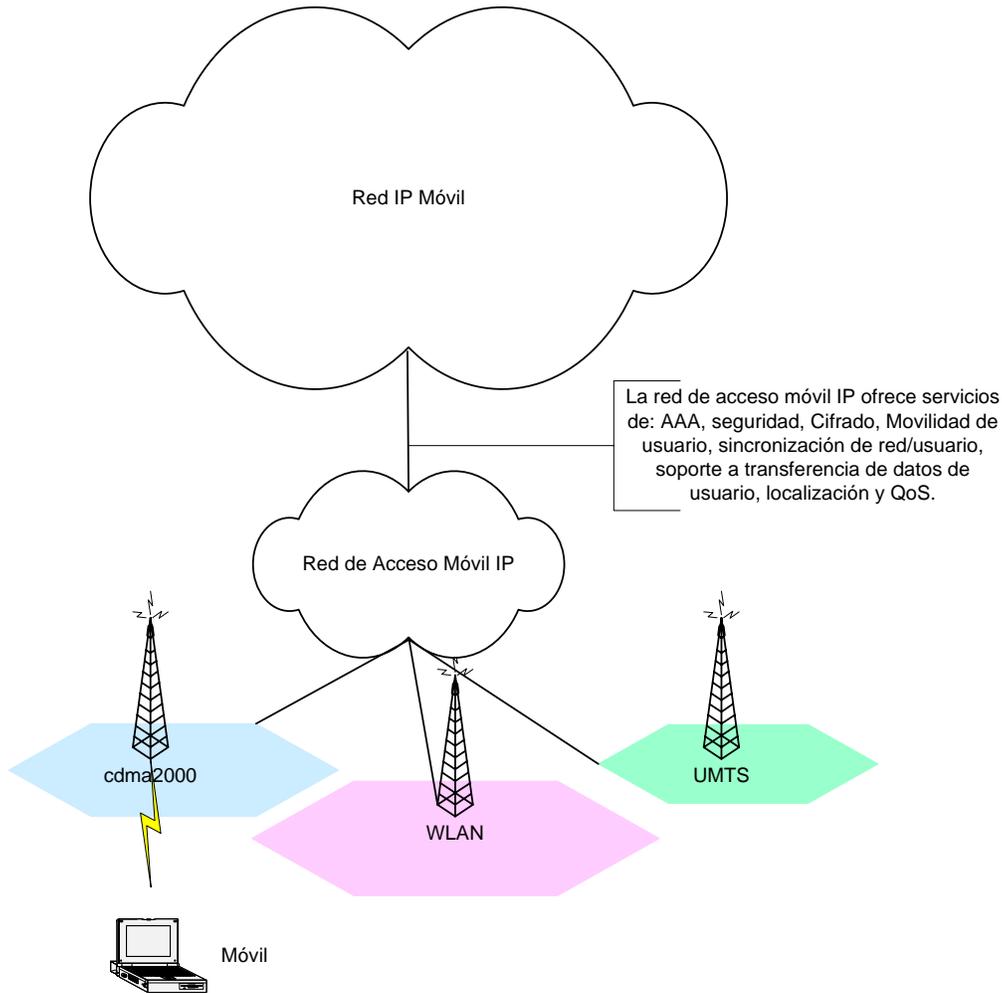


Figura 29 Red de Acceso IP Móvil con acceso multi-tecnología radio.

3.2 Requisitos generales

La solución propuesta, denominada Mobile-IP RAN (*Red de Acceso Radio basada en IP móvil*), para la realización de una plataforma IPv6 móvil, de acceso común a las tecnologías móviles de segunda generación (GSM e IS-95) y tercera generación (WLAN, UMTS y cdma2000); con

¹⁸ Se refiere a la capacidad de ofrecer servicios a usuarios que combinan el acceso a través de líneas fijas con acceso móvil, también conocido como *Quad-play* en el entorno residencial.

soporte a redes de cuarta generación; debe cumplir los siguientes requisitos, como red de acceso 4G.

- La red de acceso DEBE servir de red de acceso terrestre, con acceso inalámbrico o celular a través de estaciones base de diferentes tecnologías de 2G (GSM e IS-95), 3G (UMTS, WLAN y cdma2000) de forma simultánea¹⁹.
- La red de acceso DEBE ser flexible permitiendo la introducción de nuevas tecnologías de acceso radio manteniendo un alto grado de independencia de estas tecnologías.
- La red de acceso DEBE reutilizar, siempre que sea posible y justificadamente, protocolos especificados o estandarizados por los organismos IETF, UIT, 3GPP, 3GPP2, ETSI, MWIF o proyectos de investigación similares²⁰.

La solución incluirá elementos novedosos, pero trata de establecer cierta evolución, no revolución, a partir de las redes de acceso actuales. De ahí que se tome como punto de partida las tecnologías de redes de acceso actuales (GSM, IS-95, UMTS, WLAN, cdma2000).

- La red de acceso DEBE ofrecer los siguientes servicios al usuario/red, con un rendimiento/funcionalidad similar a los ofrecidos por las redes de acceso celulares o inalámbricas consideradas en cada caso:
 - Movilidad de usuario (registro, actualización de la localización, paging, handover y soft-handover).
 - Sincronización de red y de usuario²¹.
 - Transferencia de datos de usuario (unicast, multicast y broadcast).
 - Localización de usuario.
 - QoS: Calidad de servicio.
 - AAA
 - Seguridad
 - Cifrado
 - Descubrimiento de servicios
- La red de acceso DEBE tener una arquitectura que permita incluir funciones específicas a cada una de las tecnologías radio utilizadas, sin que esto afecte el rendimiento de otras tecnologías radio que compartan la misma red de acceso IP.

¹⁹ En este requisito, la palabra simultánea se refiere a la capacidad de la red de soportar distintas tecnologías radio (interfaz aire). El hecho de que se utilicen de forma simultánea o no depende de la configuración del operador. El objeto principal del requisito es hacer que la arquitectura, los elementos y sus protocolos sean comunes para las distintas tecnologías radio, proporcionando ahorros sustanciales de desarrollo y fabricación, lo cual incidiría directamente en el costo (tiempo y recursos) de producción de estas arquitecturas, cuya consecuencia final sería la disminución de costes de la infraestructura de red radio, que conforma la mayor parte del costo total de la red. Estos requisitos también han sido incluidos en el desarrollo de la E-UTRAN [TR25913]: Disminución del CAPEX/OPEX y funcionamiento con los sistemas 3G y no 3G especificados.

²⁰ Este requisito se introduce con el objeto de que la red, sea una evolución, siempre que sea posible, de las redes actuales. Esto incluye minimizar el impacto en los móviles existentes, permitiéndose cambios solo en los protocolos de alto nivel (señalización de nivel de red y control de llamada) y no en protocolos más relacionados con las características físicas de la interfaz aire (protocolos MAC y RLC).

²¹ El servicio de sincronización se establece para soportar los canales dedicados cdma2000 y UMTS. Cabe mencionar que el 3GPP ha acordado suprimir estos canales en la E-UTRAN [TR25913] por lo que la sincronización estricta entre estaciones base ya no será necesaria. Sin embargo, al ser Mobile-IP RAN una red de acceso radio que proporciona servicios a distintas tecnologías radio, entre ellas cdma, debe proveer este servicio.

La solución, con una arquitectura abierta, permitirá la introducción de funciones, elementos o protocolos específicos de las redes de acceso radio que no son objeto de estudio de esta Tesis Doctoral. Un ejemplo de estas funciones es la Gestión de Recursos radio.

- La red de acceso DEBE proporcionar una arquitectura que incluya uno o varios servidores de Gestión de Recursos radio.

En el ámbito de esta tesis, se incluirá en la arquitectura un servidor de Gestión de recursos radio para la gestión de los recursos de una o varias tecnologías radio simultáneas. Las técnicas/algoritmos de gestión de estos recursos, comprenden un punto aparte en la armonización de las redes de acceso, que dadas las particularidades técnicas de cada interfaz radio y su complejidad asociada, no son objeto directo del estudio.

- La red de acceso DEBE basarse en el protocolo IPv6 [IPv6] y en IP móvil para IPv6 [MIPv6].

La evolución de la red troncal en los sistemas celulares de 2G, 3G y futuros establece el uso del protocolo IPv6 y Mobile-IPv6 como protocolo de red y protocolo base de movilidad respectivamente. Por armonización de protocolos y siguiendo las justificaciones del establecimiento de protocolos IP en la red de acceso (costos, reutilización de infraestructura, etc.), se establece que la Red de Acceso Móvil IP debe basarse en protocolos IPv6.

3.3 Movilidad de Usuario

La movilidad de usuario comprende el soporte de la red a las siguientes funciones:

- Registro
- Desregistro
- Paging (avisos)
- Actualizaciones de localización del usuario
- Handover (traspasos)
- Soft-handover

Se asume que la movilidad de usuario, dentro de la red global IP móvil se realizará a través de protocolos IP Móvil [MIPv6]. Es decir, se asume que cada dominio (operador) posee una entidad de Home Agent.

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE estar basada en los protocolos de movilidad IPv6.

Debido a las limitaciones de los protocolos IP móvil en entornos de acceso local²², se estima que con el objeto de mejorar el desempeño de estos protocolos se debe soportar la gestión de la movilidad en entornos de movilidad local.

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE proporcionar la gestión de movilidad localizada (micromovilidad), de acuerdo con [LMM] y [Kempf20062].
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE tomar en cuenta las tendencias de movilidad local del IETF. Esto incluye el uso de identificadores y mecanismos de seguridad utilizados en el IETF.

²² Mencionados en el planteamiento del problema, Capítulo 1.

Los sistemas de comunicaciones móviles actuales, definen varios niveles de ubicación en la red de acceso, para gestionar la ubicación del usuario de acuerdo a la actividad del mismo y a las características de la transmisión. Por ejemplo, el sistema UMTS define varios niveles (Disponible, cell_FACH, cell_DCH, cell_PCH y URA_PCH) definidos en la especificación [TS 25401]. Estos estados deben poder representarse de una forma similar en la nueva red de acceso.

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE proporcionar soporte, como mínimo, a los niveles de ubicación especificados para las tecnologías de acceso radio GSM, IS-95, cdma2000 y UMTS.

3.3.1 Registro

La evolución de las redes móviles celulares de 3G ha tendido a la separación lógica de la red de acceso móvil de la red troncal, proporcionando servicios independientes o autónomos. Para esto, se han establecido mecanismos de registro/acceso independientes para cada una de las redes. El sistema cdma2000 por ejemplo, especifica en [SR0037-0] un plano de acceso y de AAA, donde puede haber independencia entre la red de acceso y la red troncal.

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE proveer mecanismos de registro para la red de acceso.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar el registro de usuarios a través de su dirección IP²³.

3.3.2 Paging

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar el mecanismo de paging (avisos) en la red de acceso radio, independientemente de que en la red troncal existan avisos.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar el paging a nivel IP, siguiendo los requisitos de [IPPaging]²⁴.
- La solución DEBE integrar el Paging IP con el mecanismo de paging de las tecnologías de acceso radio consideradas.

3.3.3 Actualizaciones de localización de usuario

En general, las actualizaciones de localización se pueden realizar en los siguientes casos:

- De forma periódica.
- Al cambiar de área de localización.

²³ Los sistemas móviles actuales basan sus registros (manejo de identidades) en números o claves privadas (ejemplo: IMSI, TMSI, ESN, etc.). Es deseable que la red de acceso propuesta mantenga intacta la posibilidad de seguir utilizando las mismas identidades. Adicionalmente, se propone el manejo de identidades adicionales del usuario, tales como la dirección IP.

²⁴ En [IPPaging] se propone una arquitectura general de paging, que aunque simple, impone al Móvil el control de la movilidad (el móvil es el que informa cuando pasa a modo durmiente). Esto va en contraposición del control típico del operador sobre las funciones de movilidad, específicamente de paging. Por esto, aunque la arquitectura se ha tomado como un punto de partida, no se ha tomado como arquitectura de paging definitiva. Además, esta arquitectura no tiene en cuenta una integración con el paging de las tecnologías de acceso radio.

- Como respuesta a un aviso de la red de acceso.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar actualizaciones de localización de usuario, de forma periódica, al cambiar de área de localización y como respuesta a un aviso de la red de acceso.

3.3.4 Handover

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar el concepto de “handover” (traspaso) como está definido en las redes de acceso celulares, es decir, DEBE soportar el traspaso de una estación base a otra manteniendo la comunicación con el mismo rendimiento²⁵.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar handovers entre estaciones base con diferentes tecnologías radio.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar varios eventos de disparo del handover (por ejemplo: nivel de señal, calidad, preferencia del usuario, velocidad, etc).
- Los mecanismos de handover (y soft-handover) a nivel IP DEBEN estar integrados con los mecanismos y técnicas de Gestión de los recursos radio de una forma eficiente. Se entiende por eficiente eliminar la redundancia, siempre que sea posible, de la señalización en los handover.

3.3.5 Soft-handover²⁶

Las tecnologías que se basan en acceso radio CDMA utilizan la funcionalidad del soft-handover para disminuir los efectos del desvanecimiento sobre la señal. El soft-handover consiste en recibir simultáneamente la señal/trama procedente del móvil a través de dos estaciones base (o células) diferentes para posteriormente combinarlos y obtener una ganancia respecto a la calidad de la trama obtenida a través de una sola de las estaciones base (célula).

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar soft-handover de una forma independiente de la tecnología de acceso radio.

Este requisito, condiciona el soporte al soft-handover a una función de la red y no a una función de la tecnología radio. Está claro que esta función será utilizada únicamente por las estaciones base con tecnología de acceso radio que soporte soft-handover.

La combinación/selección de las señales/tramas del móvil pueden realizarse dentro de la estación base (típicamente combinación a nivel radio) o dentro de la red de acceso (típicamente la trama con mejor calidad).

²⁵ Rendimiento, en este contexto significa que el móvil debe mantener una comunicación en la nueva estación base con las mismas características de la comunicación en la estación base antigua, incluyendo tasa de bits y la calidad de servicio. En el contexto IP móvil, el concepto celular de “handover” puede incluir tanto el traspaso como la transferencia de contexto entre enrutadores de acceso o estaciones base.

²⁶ El 3GPP en su estudio de E-UTRAN [TR25813, TR25912, TR25913] ha decidido la eliminación de los canales dedicados, por consiguiente la eliminación del soft-handover en la evolución de UTRAN, ya que se propone la utilización de una nueva interfaz física basada en OFDM (Multiplexado por División de Frecuencias Ortogonales). Se mantiene el soporte a soft-handover como un requisito genérico ya que uno de los objetivos de Mobile-IP RAN es dar soporte a funciones radio genéricas, y el soft-handover es una función genérica de los sistemas CDMA.

- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE soportar soft-handover con combinación/selección en una o entre varias estaciones base.
- La movilidad de usuario en la red de acceso DEBE contar con una o varias unidades funcionales de selección y distribución de tramas para la funcionalidad de soft-handover.

3.4 Sincronización de red y de usuario

La sincronización en las redes móviles consta de tres funciones:

- a) Sincronización de interfaz aire: La sincronización de la interfaz aire, consiste, dependiendo de la tecnología radio, en la correcta temporización entre la estación base y el móvil, para por ejemplo recibir y transmitir en el intervalo de tiempo correcto. La sincronización en la interfaz aire típicamente incluye el uso de canales radio de sincronización.
 - b) Sincronización de tramas: La sincronización de tramas consiste en determinar el momento correcto para enviar la tramas desde la red hasta la estación base, para que (1) la trama pueda ser transmitida a tiempo al móvil y (2) la trama no esté almacenada demasiado tiempo en la estación base, para disminuir el consumo de memoria.
 - c) Ajuste de temporización: El ajuste de temporización, típico de sistemas cdma consiste en lograr una sincronización entre las diferentes estaciones base del sistema, para lograr que la funcionalidades de soft-handover y handovers, entre otros puedan funcionar entre estaciones base. El objetivo entonces es lograr una armonización de la bases de tiempo entre las estaciones base, respecto a un móvil determinado o de forma absoluta.
- La red de acceso radio DEBE proveer mecanismos para permitir la sincronización de la interfaz aire, la sincronización de tramas y los ajustes de temporización para la comunicación usuario – red de acceso.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, las tecnologías de acceso pueden ser asíncronas, donde no se requiere una fuente de sincronización común o síncronas que sí la requieren. Dentro de los sistemas síncronos, la sincronía puede adquirirse de una forma directa, a través de una fuente de sincronización externa común, por ejemplo a través del sistema GPS, o indirecta, a través de relojes independientes y de protocolos que permitan calcular y establecer una relación entre la temporización de los diferentes relojes, y con esto establecer una sincronización. El sistema GSM es un ejemplo de tecnología de acceso asíncrona, dado su acceso TDMA. Los sistemas CDMA son síncronos, destacándose el sistema cdma2000 con acceso síncrono directo a través de relojes coordinados por el sistema GPS y el sistema UMTS con acceso síncrono indirecto a través de relojes controlados por protocolos de interfaces terrestres, que permiten determinar la diferencia de temporización entre las estaciones base.

- La red de acceso radio DEBE permitir la sincronización de todas las tecnologías de acceso radio consideradas independientemente de su características de sincronismo directo o indirecto.
- La red de acceso radio DEBE especificar los protocolos y entidades necesarios para lograr la sincronización en caso de ser necesario.

3.5 Transferencia de datos de usuario

En la red de acceso, se considera la utilización del protocolo IPv6 como protocolo de red para el transporte de los datos de usuario, ya sea de modo unicast, multicast o broadcast.

- La red de acceso radio DEBE soportar la transmisión de usuario en modo unicast, multicast y broadcast de una forma eficiente, tanto en la red de acceso como en la interfaz aire²⁷.

3.6 Localización de usuario

La localización es un servicio proporcionado por la red troncal que se basa en la información de posicionamiento suministrada por la red de acceso.

- La red de acceso radio DEBE proveer servicios de localización a la red troncal, proporcionando la posición del usuario.

El servicio de posicionamiento se basa en un mecanismo que de forma autónoma o a través de medidas del móvil determina la posición del usuario. Existen diferentes métodos: basados en información de base de datos (Cell-ID), basados en el sistema GPS y otros a través de medidas sobre la interfaz radio (OTDOA). Las especificaciones [TS43059], [TS25305], [CS0022-0] definen los mecanismos soportados por los sistemas celulares considerados. Asimismo se especifican varias áreas geográficas que pueden ser utilizadas para representar la posición del móvil.

- La red de acceso radio DEBE proveer soporte a los mecanismos de posicionamiento especificados para GSM, IS-95, cdma2000 y UMTS²⁸. Estos mecanismos incluyen: Identificador de célula (incluidas sus variantes que incluyen medidas de retardo o TA (*Timing Advance*), OTDOA (Diferencia de Tiempo de Llegada Observada), E-OTD (Diferencia Observada de Tiempo Mejorada), A-GPS (GPS Asistido) y AFLT (Triangulación Avanzada del enlace descendente).
- La red de acceso radio DEBE soportar las áreas geográficas especificadas en los sistemas GSM, IS-95, cdma2000 y UMTS.
- La red de acceso radio DEBE respetar la privacidad de la localización, esto es, no debe proporcionar la ubicación del usuario a partes no autorizadas²⁹

3.7 QoS: Calidad de Servicio

El soporte de calidad de servicio en las redes de acceso 3G se basa fundamentalmente en proporcionar los mecanismos que garanticen cotas o valores aproximados de tasa de bit, retardo, pérdida de paquetes, mecanismos de retransmisión y prioridad relativa de los datos y la señalización de usuario. Típicamente el soporte a la calidad de servicio en la red de acceso radio, se realiza a través de las siguientes funciones:

- Selección del canal radio de acuerdo al perfil de calidad de servicio de la comunicación de usuario, que se define a través del tipo de comunicación (conversacional, streaming, interactivo y por defecto) y los parámetros necesarios para realizar la comunicación con la calidad deseada (tasa de bits, pérdida de paquetes, etc).

²⁷ La red de acceso debe proveer mecanismos de transmisión unicast, broadcast y multicast y debe hacer uso de los canales y modos de transmisión más eficientes en la interfaz radio

²⁸ La solución asumirá la existencia de un Servidor de Localización en la red troncal Mobile IP.

²⁹ En [Kempf20061,Kempf20062] se menciona el problema de la privacidad de localización en Mobile-IPv6 y un argumento a tener en consideración al diseñar sistemas que se basan en la movilidad local IP.

- Reservar, garantizar o priorizar los recursos de transporte terrestre, a través de mecanismos de calidad de servicio en la red. El ejemplo más utilizado en las redes 3G es la arquitectura de servicios diferenciados (*DiffServ*) del IETF.

Para cumplir estas funciones, las redes de acceso tienen algoritmos o funciones de mapeo de los parámetros generales de calidad de servicio (clase de servicio, tasas de bit) a los parámetros específicos de la interfaz radio (tipo de canal, tasa de bits) y de las interfaces terrestres (tipo de cola/tráfico, clase de servicio 802.1p, DSCP, etc.).

- La red de acceso radio DEBE soportar como mínimo cuatro clases de servicio, similares a las clases de tráfico de los sistemas 3G (Conversacional, Streaming, Interactivo y por defecto).
- La red de acceso radio DEBE gestionar la calidad de servicio a nivel IP, utilizando el modelo de calidad de servicio del IETF.
- La red de acceso radio, DEBE, a partir de los protocolos de calidad de servicio IP, aplicar la calidad de servicio en la interfaz radio, de forma que se mantengan los parámetros de calidad de servicio extremo a extremo³⁰.

3.8 AAA

Las redes móviles 3G ofrecen mecanismos propietarios a cada tecnología para la autenticación, autorización y tarificación (AAA), normalmente integrados con los mecanismos AAA de la red troncal (siendo estos los elementos de mayor jerarquía en la arquitectura AAA).

- La red de acceso radio DEBE proveer la funcionalidad AAA dentro de la red de acceso de forma que se pueda realizar autenticación, autorización y tarificación dentro de la red de acceso, de forma independiente o integrada con la red troncal.
- La red de acceso radio DEBE soportar la arquitectura de AAA propuesta por el IETF.
- La red de acceso radio DEBE proveer un soporte AAA con funciones similares a aquellas proporcionadas por los sistemas 3G.

En las redes 3G actuales, las identidades utilizadas para AAA están relacionadas también con cada estándar (IMSI en GSM y UMTS, ESN en IS-95 y cdma2000). Al estar la red de acceso propuesta basada en identidades de red IPv6, es deseable que la red soporte el NAI (Identificador de acceso a la red) y la dirección IPv6 del usuario como identidades válidas para las funciones AAA.

- La red de acceso radio DEBE soportar autenticación a través de las identidades utilizadas en los sistemas 3G.

3.9 Seguridad

En términos generales, el nivel de seguridad que debe ofrecer la red de acceso 4G es similar a la seguridad ofrecida por las redes 3G actuales, tomando en cuenta que los mecanismos de seguridad implantados en la red, deben ser comunes a todas las tecnologías radio, y deben

³⁰ Requisito incluido en [TR25913].

ofrecer autenticación y privacidad del usuario así como la confidencialidad e integridad de las comunicaciones del usuario, mientras se protege a la red de posibles ataques tales como denegación del servicio.

- La red de acceso radio DEBE proveer una seguridad al usuario y al operador por lo menos del mismo nivel que en las redes 3G.
- Cualquier mecanismo de seguridad implantado en la red, DEBE estar basado en protocolos IP.
- Los mecanismos de seguridad implantados en Mobile-IP RAN, DEBEN ser eficientes, eliminando cualquier redundancia en los mecanismos de seguridad en la interfaz aire y aquellos relacionados con la movilidad IP, así como mantener tan simple como sea posible (sin afectar la seguridad) los mecanismos de asociación de seguridad entre los elementos de la red de acceso y entre los elementos de la red de acceso, el móvil y la red troncal, tomando en cuenta los mecanismos de seguridad existentes en las redes móviles 3G y las redes basadas en IP³¹.
- La red de acceso radio DEBE soportar cifrado y protección de la integridad de los datos en la interfaz radio.

3.10 Descubrimiento de servicios

La red de acceso 4G, como parte de una infraestructura de red, debe permitir el descubrimiento de servicios de red y del usuario, por parte de los distintos elementos de red y de los propios usuarios.

Como servicios de red, se entienden aquellos relacionados con las funcionalidades de la red de acceso 4G, por ejemplo, el servicio de posicionamiento de usuarios, servicio de medidas de posicionamiento, servicio de broker de calidad de servicio, etc.

Como servicios de usuario, se entienden aquellos relacionados con el usuario final, por ejemplo, el servicio de localización, el servicio de sesiones multimedia SIP, un servidor de presencia, etc.

- La red de acceso radio DEBE proveer métodos (protocolos) para que los usuarios y los elementos de red que lo requieran descubran/anuncien sus servicios, de forma que los clientes encuentren los servicios que necesitan dentro de la red
- La red de acceso radio DEBE estar basada en una solución uniforme para las diferentes tecnologías radio (debe ser una solución basada en IP o en protocolo de aplicación), y PUEDE estar adaptada en la interfaz radio a las diferentes tecnologías de manera que su transmisión optimice el uso de la interfaz radio.

3.11 Conclusiones

La red de acceso móvil 4G, que ofrece sus servicios a una red troncal basada en IPv6 móvil [MIPv6], con el objetivo de servir a los usuarios móviles a través de distintas tecnologías radio, utilizando una arquitectura y protocolos comunes, debe soportar los siguientes servicios de red:

³¹ Este requisito comprende la problemática definida en [Kempf20061], aplicada al entorno de esta Tesis.

- Movilidad: registro, actualización de la localización, paging, handover y soft-handover
- Sincronización de red y de usuario
- Transferencia de datos de usuario en modo unicast, multicast y broadcast.
- Servicios de posicionamiento de usuario
- Calidad de servicio (QoS)
- Autenticación, Autorización y Tarificación (AAA)
- Seguridad
- Descubrimiento de servicios

Para soportar estos servicios de una forma común e integrada con la red troncal, se requiere que la arquitectura de la red de acceso esté basada en soluciones de movilidad local IPv6 del IETF.

Además, para mejorar la integración entre la red de acceso 4G y las distintas tecnologías radio, es necesario que la red de acceso 4G, en su interfaz radio, soporte los identificadores, así como integre los mecanismos existentes de estas tecnologías radio con los mecanismos propios de la red de acceso.

CAPÍTULO 4

ARQUITECTURA MOBILE-IP RAN

4.1 Introducción

La especificación de la arquitectura de la red de acceso Mobile-IP RAN es otro de los objetivos de esta tesis. Este capítulo presenta la arquitectura de Mobile-IP RAN, y define las funciones de sus elementos de red y los protocolos asociados para ofrecer servicios generales de movilidad, transferencia de datos, sincronismo de red, y localización de usuario. Asimismo, este capítulo cumple con el objetivo de definir el comportamiento dinámico de la red, a través de diagramas de secuencias de mensajes (MSC, *Message Sequence Chart*) para las funciones de movilidad radio, sincronización y localización de usuario.

4.2 Arquitectura de Red: Mobile-IP RAN como red de acceso radio común 4G

La red Mobile-IP RAN es una red de acceso especialmente diseñada para la gestión de la movilidad de los usuarios en tiempo y espacio de forma similar (siguiendo los mismos principios) que las redes móviles existentes 2G y 3G, habiendo una división muy clara entre las funciones de la red de acceso (red radio en 2G y 3G) y la red troncal; utilizando tecnologías/protocolos IP móvil. La red Mobile-IP RAN se conecta con las redes troncales 4G basadas en IPv6 móvil³².

Mobile-IP RAN consiste en una arquitectura, basada en protocolos IPv6-móvil, que proporciona los servicios de acceso necesarios en las redes móviles de 4G, de forma independiente a la tecnología radio, entendiéndose aquí por tecnología radio a la interfaz aire de los sistemas actuales

³² Siempre que ha sido posible, se ha mantenido la definición de red troncal 4G (core) lo más genérica posible. Cuando no es posible hacer una realización genérica, se han mencionado los distintos casos basados en las propuestas más importantes de redes troncales 4G, mencionados en el estado del arte de esta tesis. El Capítulo 3, en su introducción, define el escenario de aplicación de Mobile-IP RAN, definiendo las características básicas de la red troncal a la que Mobile-IP RAN se conecta.

2G/3G (GSM, CDMA y UMTS) y aquellos integrados en las redes 4G (WLAN, WiMAX). La arquitectura se ha propuesto siguiendo los siguientes principios³³:

- La arquitectura debe ser flexible para soportar las distintas interfaces aire existentes de forma simultánea, esto con el objetivo de homogeneizar los servicios (y los protocolos) que se prestan a la red troncal.
- Debe estar basada en IPv6 móvil como elemento fundamental de *networking* en la red. Se ha asumido que la red troncal está basada en IPv6 móvil, asumido como protocolo base de las redes 4G.
- Debe proveer al menos los mismos servicios a la red troncal y al usuario que las redes 3G actuales y aquellos identificados para la 4G.
- Debe minimizarse el impacto a los móviles actuales. Este impacto debe limitarse a cambios en los protocolos de señalización y aplicación, pero no debe afectar a los protocolos fundamentales de las redes de acceso (protocolos de control de acceso al medio - MAC o de control del enlace radio - RLC). Es importante puntualizar lo que se denomina interfaces aire existentes en el contexto de Mobile-IP RAN, y que es permitido modificar en su contexto:
 - Como elementos que no soportarán cambios, se incluye a las interfaces físicas y de acceso de las interfaces aire (por ejemplo la capa física, de enlace (MAC) y de control del enlace (RLC) en UMTS) ya que estas definen el espectro de utilización así como los elementos fundamentales en la construcción de hardware asociado a la interfaz radio, por lo que cualquier cambio en estos componentes de la interfaz radio incidiría notablemente en las relaciones de costes de fabricación así como supondría un obstáculo en la implantación de Mobile-IP RAN.
 - Se define que los protocolos de señalización radio (por ejemplo gestión de recursos radio, de soporte a transferencia de datos) son susceptibles de modificación o sustitución, permitiendo a un móvil conectarse con una red Mobile-IP RAN o con una red 3G (seguiremos con el ejemplo de UMTS), a su vez que se introducen modificaciones para adaptarse al entorno IP Móvil.

Asimismo, se han tomado en cuenta los conceptos de redes 4G expuestos en [Yabusaki2005]:

- Utilización eficiente de los recursos radio
- La distribución interna de los nodos y funcionalidades de red deben ser invisibles al usuario móvil
- Utilización eficiente de los recursos de red
- Confidencialidad de la ubicación del terminal

Para soportar los servicios actuales de las redes móviles es necesaria la inclusión de nuevos elementos al modelo de movilidad IP del IETF, que aunque generales (no específicos a una

³³ Este es un resumen de los principios rectores de Mobile-IP RAN. El Capítulo 3 cubre una descripción y análisis completo de los requisitos que debe cumplir la red de acceso radio.

tecnología radio en particular) provean funciones de soporte al enlace radio. Este es un punto importante, que se refiere como la contribución más importante de Mobile-IP RAN respecto a otras propuestas de redes: la integración de las funciones radio genéricas en un entorno de red de acceso IP.

La arquitectura de la red de acceso Mobile-IP RAN, permite la implantación de los siguientes servicios:

- Movilidad Radio: La movilidad radio incluye los procedimientos necesarios para el registro y acceso a la red troncal por parte de los usuarios móviles, así como para su mantenimiento a través de procedimientos de actualización de la ubicación, handover y paging.
- Transferencia de datos de usuario, en modo unicast, multicast y broadcast³⁴.
- Gestión de recursos radio, incluye funcionalidades radio inherentes a cada tecnología radio, incluyendo el soft-handover, así como funciones de gestión de los recursos globales de la red de acceso.
- Servicios de Posicionamiento de usuarios a la red troncal, para proporcionar servicios basados en localización
- Mecanismos de Sincronización de tramas de usuario
- Calidad de Servicio en la red de acceso y en la interfaz radio.
- Descubrimiento de servicios
- Seguridad, a través de mecanismos de autenticación, autorización y tasación en la red de acceso y el establecimiento de relaciones de confianza entre los elementos de red.

La Figura 30 muestra el modelo de la red Mobile-IP RAN, mostrándose los elementos de la red necesarios para la gestión de las funcionalidades de acceso radio de manera uniforme en todas las tecnologías:

- Gestor de Movilidad Regional (RMM, del inglés *Regional Mobility Manager*)
- Pasarela de Acceso Regional (RAG, del inglés *Regional Access Gateway*)
- Gestor de Recursos Regional (RRM, del inglés *Regional Resource Manager*)
- Entidad de Determinación de la Posición (PDE, del inglés *Position Determination Entity*)
- Cliente AAA Regional (RA3c, del inglés *Regional AAA client*)
- Gestor/Broker de Calidad de Servicio Regional (RQoSb, del inglés *Regional QoS broker*)

Desde el punto de vista de las arquitecturas de red, Mobile-IP RAN representa una evolución respecto al estado del arte, en cuanto:

³⁴ Debido a las limitaciones de alcance, esta tesis no analiza la eficiencia de la transferencia de datos de usuario en Mobile-IP RAN (por ejemplo la relación del tamaño de las cabeceras con respecto a la información transmitida, ni la eficiencia en los modos unicast, multicast y broadcast).

- Es una red que proporciona los principales servicios de una red de acceso móvil, a través de una arquitectura IP móvil genérica respecto a la tecnología radio, y que soporta diferentes tecnologías de acceso radio de forma simultánea³⁵.
- El estudio del estado del arte mostró que las principales propuestas de arquitecturas 4G evaluadas en el estado del arte no cumplen con este principio:

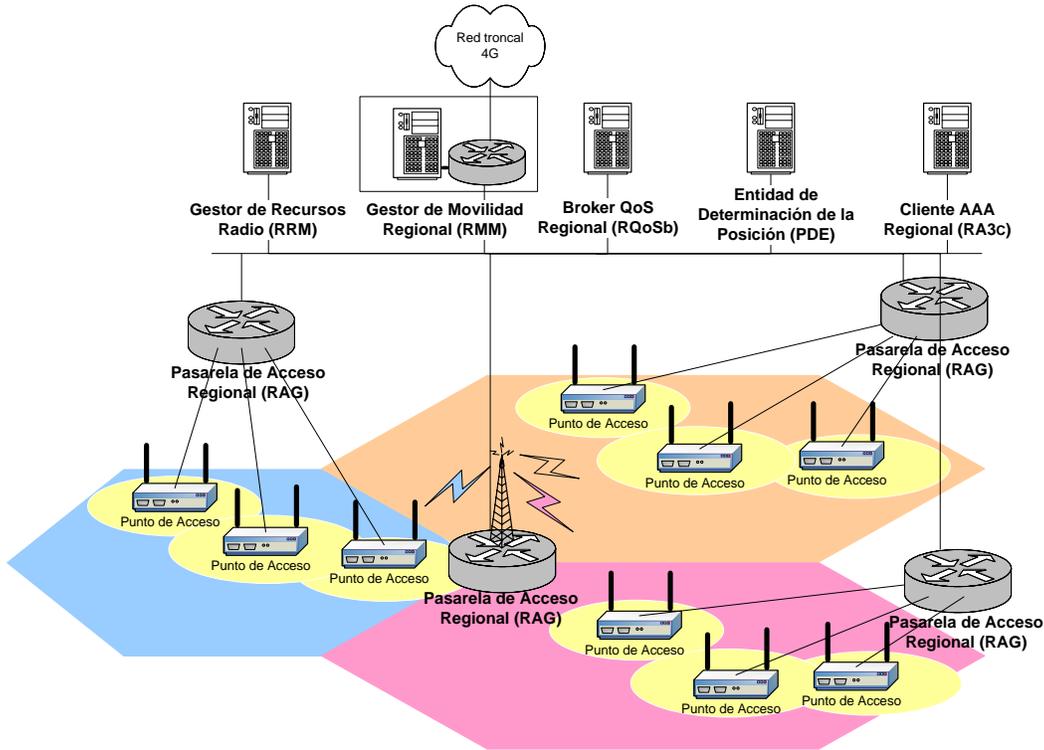


Figura 30 Arquitectura Mobile-IP RAN

- La evolución de los accesos radio UMTS (E-UTRAN) y cdma2000 (UMB) consiste en una arquitectura más simple y prácticamente común (la red troncal es común), sin embargo, estas redes de acceso no soportan diversas tecnologías radio de forma simultánea (E-UTRAN y UMB sólo soportan su versión del acceso OFDM), a pesar de soportar todas las funciones típicas de una red de acceso.
- Las propuestas del IETF cubren la gestión de la movilidad, a través de los protocolos de movilidad local (HMIPv6 y Proxy-Mobile IPv6), handover (FHMIIPv6) y la gestión de las capacidades del móvil (CARD) y transferencia de contexto (CXTP). Las propuestas del IETF también incluyen el soporte de servicios generales de descubrimiento de servicios, calidad de servicio, seguridad y localización de red. Estas propuestas, sin embargo, no están completamente adaptadas (como se verá más adelante) al entorno de una red

³⁵ Se refiere a que un mismo operador puede tener accesos de distintas tecnologías radio (por ejemplo UMTS y WLAN) en la misma red de acceso radio Mobile-IP RAN.

de acceso radio, así que no se proporcionan todos los servicios requeridos por una red de acceso (posicionamiento, gestión de los recursos radio y sincronización de red, trama y usuario).

Tabla 3 Distribución de funciones de red en Mobile-IP RAN

Nodo	Nombre	Funciones principales
Gestor de Movilidad Regional <i>Regional Mobility Manager</i>	RMM	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz entre Mobile-IP RAN y la red troncal • Responsable del contexto de movilidad entre la red de acceso y el móvil • Gestión del paging entre la red Mobile-IP RAN y la red troncal • Agente de directorio (DA) para el descubrimiento de los servicios de red Mobile-IP RAN • Agente de servicio (SA) para el servicio de gestión de movilidad en Mobile-IP RAN.
Pasarela de Acceso Regional <i>Regional Access Gateway</i>	RAG	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz (radio) entre el móvil y la red • Mapeo de paging del RMM al móvil • Inicio y manejo del Handover y soft-handover • Transferencia de contextos entre RAGs • Sincronización • Aplicación de las políticas de QoS y AAA a la interfaz (radio) de acceso móvil • Unidad de medidas de localización • Unidad de medidas de recursos • Agente de servicios (SA) para los RAGs que poseen la funcionalidad LMU • Agente de directorio (DA) para el descubrimiento de los servicios de red y telecomunicación en el ámbito móvil-red • Agente de usuario (UA) para el descubrimiento de servicios de red en el ámbito Mobile-IP RAN.
Gestor de Recursos Regionales <i>Regional Resource Manager</i>	RRM	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de Recursos radio en la red de acceso • Análisis de las condiciones de la red radio • Agente de servicio (SA) para el servicio de gestión de recursos (radio).
Entidad de Determinación de la Posición <i>Position Determination Entity</i>	PDE	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de la posición geográfica del móvil • Agente de servicio (SA) para el servicio de posicionamiento en Mobile-IP RAN • Agente de usuario (UA) para el servicio de medidas (LMU).
Cliente AAA Regional <i>Regional AAA Client</i>	RA3c	<ul style="list-style-type: none"> • Broker AAA: Gestión de Autenticación, Autorización y Tasación de usuarios en la red Mobile-IP RAN • Distribución de las claves de cifrado • Agente de servicio (SA) para el servicio AAA en el ámbito Mobile-IP RAN.
Gestor de Calidad de Servicio Regional <i>Regional QoS Broker</i>	RQoSb	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución del perfil de calidad de servicio autorizado del usuario a los nodos Mobile-IP RAN • Distribución y mapeo de la configuración y políticas de calidad de servicio. • Decisión de asignación de perfil de calidad de servicio a una petición de servicio. • Agente de servicio (SA) para el servicio de broker QoS en el ámbito Mobile-IP RAN.

- Las otras propuestas de investigación de arquitecturas 4G, estudiadas en el estado del arte, no proporcionan por sí solas, todos los servicios necesarios en la red de acceso de una forma integrada, ya que están más enfocadas en la red troncal (por ejemplo DAIDALOS), o en algún servicio específico de la red (por ejemplo WINEGLASS enfocado en movilidad IP y localización, Moby Dick en movilidad, AAA y calidad de servicio y CAUTION++ y AROMA en la gestión de recursos de red).

Las siguientes secciones de este capítulo presentan las características, descripción funcional y lógica, interfaces y protocolos asociados de los componentes de Mobile-IP RAN. La Tabla 3 describe brevemente la definición y distribución de funciones de los elementos componentes de Mobile-IP RAN.

4.3 Nodos de Mobile-IP RAN

4.3.1 Gestor de Movilidad Regional (RMM)

El Gestor de Movilidad Regional (RMM – *Regional Mobility Manager*) es el elemento central de la arquitectura Mobile-IP RAN. Sus funciones principales son:

- Gestionar la movilidad IP local de los terminales móviles que se encuentran bajo su dominio³⁶.
 - Registro y actualización de la localización del usuario en la red Mobile-IP RAN.
 - Gestión de paging a los usuarios que se encuentren en el modo de movilidad *Disponible-Ahorro*³⁷.
 - Manejo de los túneles IPv6 móvil [HMIPv6] dentro de la red Mobile-IP RAN.
 - Transferencia de contexto del usuario durante el cambio del RAG de anclaje en el procedimiento de soft-handover.

Para la gestión de la movilidad, el RMM funciona fundamentalmente como un MAP de [HMIPv6] para los terminales móviles que se encuentran bajo su dominio, con algunas extensiones, que se muestran en la sección 4.4.9. Asimismo, para el manejo de la funcionalidad de paging y de transferencia de contexto del usuario (en el handover), el RMM se basa en los protocolos definidos para las interfaces iRAG_R e iRAG_H respectivamente, descritos en la sección 4.4.1.

- Autenticar y autorizar al móvil para la utilización de recursos de la red troncal, durante el procedimiento de registro/actualización de la localización. Este procedimiento se realiza con la asistencia del *Ciente AAA Regional* (RA3c) de la red Mobile-IP RAN y del servidor AAA de la red troncal.
- Proporcionar confidencialidad e integridad de los datos a la comunicación con el móvil.

³⁶ Se entiende que un móvil está bajo su dominio, cuando se intenta o está conectado a unos de los RAGs que difunden su información de contacto a través de información de difusión del sistema.

³⁷ El modo de movilidad Disponible-Ahorro es similar al modo durmiente adaptado al entorno Mobile-IP RAN. La sección de movilidad de este capítulo explica el modo Disponible-Ahorro.

- Aplicar la calidad de servicio a nivel IPv6 de acuerdo con el perfil del usuario y de las políticas proporcionadas por el *Gestor de Calidad de Servicio Regional* (RQoSb).
- Ser el agente de directorios (DA) de la red Mobile-IP RAN, permitiendo el descubrimiento automático de servicios de red que proporciona la red Mobile-IP RAN.

La Figura 31 muestra la arquitectura básica del RMM, mostrando los principales componentes software:

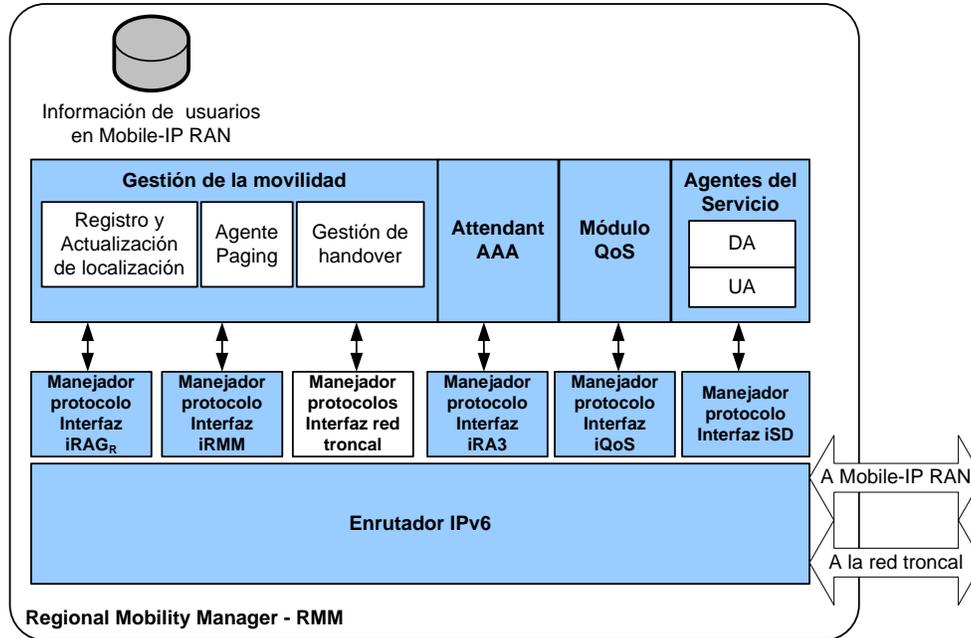


Figura 31 Arquitectura del RMM

4.3.2 Pasarela de Acceso Regional (RAG)

La pasarela de acceso regional, denominada RAG (*Regional Access Gateway*) es la interfaz entre la red y el móvil. Es equivalente a la estación base de los sistemas móviles 3G, con la principal diferencia de ser autónoma en lo que respecta a las funciones de gestión de los recursos radio³⁸. Sus principales funciones son:

- Proporciona la interfaz (radio) de acceso a la red, terminando los protocolos pertinentes a cada tecnología radio.
- Proporciona una función de mapeo entre los mecanismos de señalización disponibles en la red radio (canal de señalización, canal de difusión, canal de paging) y los procedimientos de movilidad utilizados en Mobile-IP RAN.
- Es el enrutador de acceso a la red: El RAG incluye las funcionalidades de un enrutador de acceso, lo cual incluye adicionalmente a la funcionalidad de enrutamiento IPv6:

³⁸ El término autónomo quiere decir que no depende de un elemento externo (por ejemplo un controlador de estación base) para la toma de decisiones de gestión de recursos radio, si bien sus algoritmos pueden ser asistidos por la función de gestión de los recursos radio del Gestor de Recursos Radio Regional (RRM).

- La interacción con el Cliente AAA Regional (RA3c) durante el proceso de acceso del móvil a la red Mobile-IP RAN (Registro).
- La interacción con el Gestor de Calidad de Servicio Regional (RQoS_b) para la aplicación de políticas de calidad de servicio en las interfaces terrestres, así como el mapeo de las políticas de calidad de servicio a la interfaz radio.
- Proporciona mecanismos que asisten al RMM en la gestión de movilidad, a través del soporte de procedimientos de paging, handover y soft-handover.
- Maneja los recursos radio propios, a través de sus algoritmos de gestión de recursos radio, en conjunto con el Gestor de Recursos Regional (RRM).
- Proporciona los mecanismos de sincronización de la red radio:
 - Sincronización de la interfaz radio (intervalos de tiempo, códigos, frecuencias)
 - Sincronización con otros RAGs
 - Sincronización de tramas y del ajuste de temporización en soft-handover.
- Incluye la función de Servidor de medidas de localización LMU (*Location Measurement Unit*). La unidad de medidas de localización, es parte funcional del RAG y se encarga de realizar medidas sobre una o varios canales radio para la determinación de la posición dentro de la red de acceso Mobile-IP RAN.

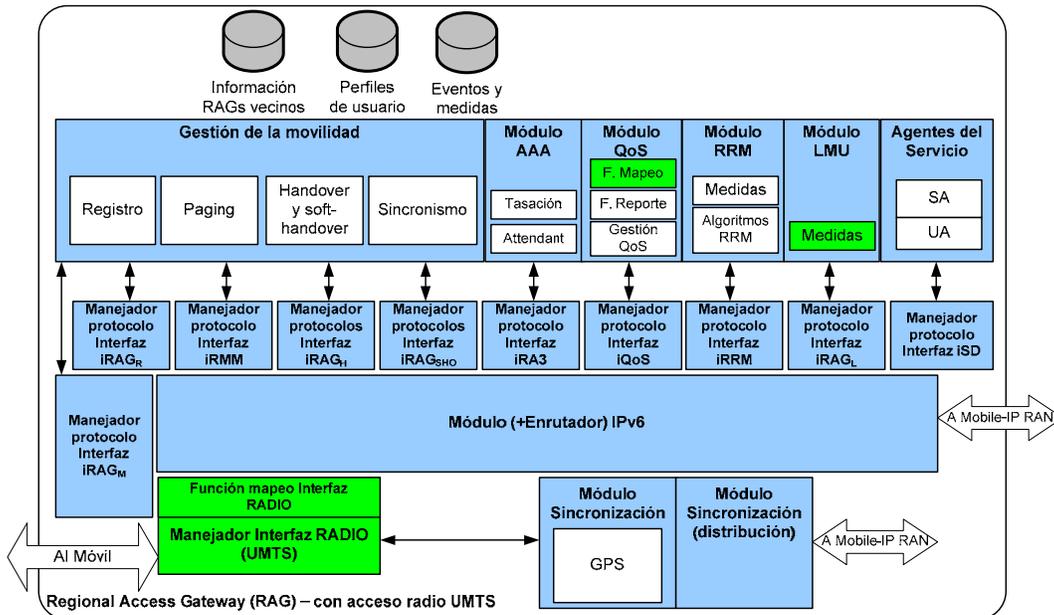


Figura 32 Arquitectura del RAG

- Anuncia la presencia del servicio de medidas de localización (LMU) al agente de directorio de la red Mobile-IP RAN.

La Figura 32 muestra la arquitectura lógica del RAG. La arquitectura lógica puede soportar distintas configuraciones físicas para adaptarse a las distintas características (de cobertura) de las tecnologías radio, por ejemplo en el caso de tecnologías WLAN, con una unidad central que

maneja la inteligencia del RAG y varios puntos de acceso para el manejo de la cobertura³⁹, o distintas interfaces conectadas a módulos radio independientes.

4.3.2.1 Función de mapeo a la interfaz radio en el RAG

En las tecnologías de acceso radio 2G y 3G, tales como GSM, IS-95, cdma2000 y UMTS, los móviles que soportan Mobile-IP RAN adquieren la información de enrutamiento IP de la red, a través de los mensajes de información del sistema de los protocolos de señalización radio (por ejemplo el protocolo RRC en UMTS).

Existe una función estática de mapeo entre el módulo de gestión de movilidad [HMIPv6] de Mobile-IP RAN con el módulo de señalización radio (en el caso de UMTS, RRC) del RAG, que se encarga de:

- Actualizar el mensaje de información del sistema con la información de movilidad Mobile-IP RAN.
- Mapear el mensaje de [MIP RAN] Paging de la interfaz iRAG_R al mensaje de Paging de la interfaz radio.

El Apéndice A muestra los cambios necesarios en el mensaje de información del sistema UMTS. Los sistemas CDMA y TDMA también se basan en el mensaje *System Information* por lo que la aplicación de este método es directa.

Entorno de aplicación	Modo del móvil cuando es válido	Modo del móvil cuando es leído	Información de lectura	Modificación del mensaje
Célula	Disponible-ahorro y Disponible-Activo	Disponible-ahorro y disponible activo	Especificado en el bloque	Valor

Tabla 4 Definición general del bloque de Información del sistema Mobile-IP RAN para UMTS

En aquellas tecnologías radio que no posean mecanismos de paging o de difusión de información del sistema (tales como las redes WLAN), esta función de mapeo no es necesaria, por lo que el RAG envía la información a través del mensaje *Router Advertisement*. En este caso, el móvil debe adquirir primero la conectividad radio o cable, según el caso.

4.3.2.2 Unidad de Medidas de Localización (LMU)

La unidad de medidas de localización, es parte funcional del RAG y se encarga de realizar medidas sobre uno o varios canales radio para la determinación de la posición dentro de la red de acceso Mobile-IP RAN. Actúa bajo petición del PDE. Su funcionalidad es similar al LMU (*Location Measurement Unit*) de UMTS y al L-PDE (*Local Position Determination Entity*) de cdma2000 con la diferencia de que sus protocolos están adaptados a un entorno radio genérico por lo cual es posible su utilización para la determinación del posicionamiento en cualquier tecnología.

Los PDE tienen en su base de datos las direcciones de los LMU pertenecientes a cada RAG (que puede ser la misma dirección IPv6 del RAG u otra diferente).

³⁹ Este tipo de configuraciones típicas puede requerir protocolos adicionales para el soporte de handover entre puntos de acceso (por ejemplo [802.21]) que no están incluidas en la arquitectura lógica.

4.3.3 Gestor de Recursos Regionales (RRM)

El Gestor de Recursos Regionales (RRM, *Regional Resource Manager*) se encarga de la gestión y coordinación de los recursos radio que están asociados a los RAG en la red Mobile-IP RAN⁴⁰, con el objeto de asegurar el uso óptimo de los recursos radio así como maximizar el desempeño de la red radio a través de sus indicadores, tales como carga, interferencia, pérdida de paquetes o conexiones radio, etc., de acuerdo con el modelo de gestión de los recursos radio presentado en la sección 4.7. La arquitectura del RRM se muestra en la Figura 33.

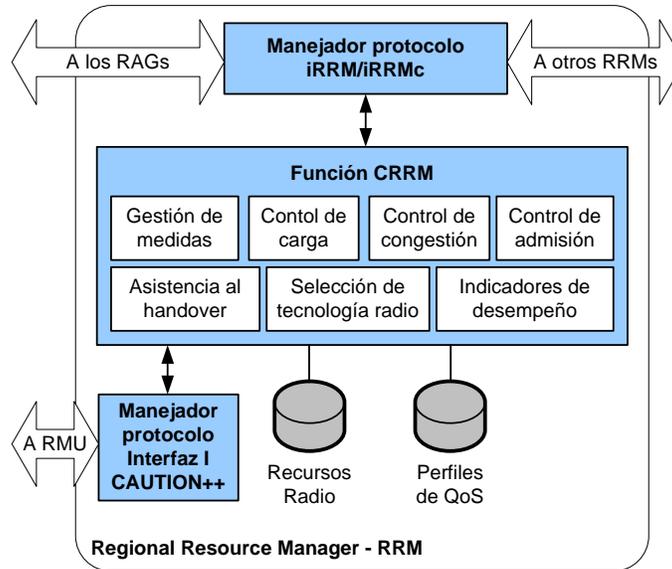


Figura 33 Arquitectura del Gestor Regional de Recursos (RRM)

El servidor RRM se encarga de las siguientes funciones:

- Interfaz con la función de gestión de recursos radio en el RAG
- Obtención y análisis de medidas de los recursos radio de los RAGs.
- Aplicación de algoritmos, que en conjunto con los datos y medidas de recursos, permitan la toma de decisiones de gestión de los recursos radio. Los algoritmos incluyen el control de carga, control de admisión, control de congestión, etc⁴¹.
- Indicar al RAG instrucciones (comandos) para la gestión (liberación/modificación) de los recursos radio asociados.
- Asistir al RAG en decisiones de handover vertical (entre tecnologías radio) y de selección de tecnologías radio en el acceso.
- Interfaz con otros servidores RRM, para el intercambio de información de sus recursos asociados.

⁴⁰ Esta función es también conocida como CRRM: Gestión común de los recursos radio (*Common RRM*).

⁴¹ La especificación de los algoritmos de gestión queda fuera de ámbito de desarrollo de esta tesis. El proyecto europeo AROMA [AROMAD18] especifica varios algoritmos para la gestión común de los recursos radio que podrían ser utilizados en el entorno Mobile-IP RAN.

- Determinación de los principales indicadores de desempeño de la red Mobile-IP RAN, y la señalización de estos a una unidad central de gestión de recursos⁴².
- Anunciar su presencia (y el servicio que ofrece) al agente de directorio de la red Mobile-IP RAN.

4.3.4 Entidad de Determinación de la Posición (PDE)

La Entidad de Determinación de la Posición (PDE, *Position Determination Entity*) se encarga del cálculo de la posición del móvil dentro de la red Mobile-IP RAN. Su funcionalidad es similar al SMLC (*Serving Mobile Location Centre*) de UMTS y al PDE (*Position Determination Entity*) de cdma2000, con la diferencia de que sus algoritmos de cálculo⁴³ e interfaces están adaptados a un entorno radio genérico por lo cual es posible su utilización para la determinación del posicionamiento en cualquier tecnología.

Sus principales funciones son:

- Cálculo de la posición del móvil a través de las medidas ejecutadas por la Unidad de medidas de localización (LMU) en el RAG o a través de información de movilidad (por ejemplo la célula donde se encuentra el móvil) e información local (en base de datos). El PDE contiene los algoritmos de cálculo para cada método de posicionamiento.
- Anunciar su presencia (y el servicio que ofrece) al agente de directorio de la red Mobile-IP RAN.

Los registros del servidor PDE incluyen las siguientes entradas:

- Por cada RAG bajo su jerarquía:
 - Posición
 - Tecnología (cdma2000, UMTS, WLAN, etc.).
 - Parámetros fundamentales: Depende de la tecnología, incluyendo el identificador de célula, códigos de canalización, *BSIC*, dirección IP, etc.).
- Por cada RAG con LMU bajo su jerarquía:
 - Identidad del LMU/célula: Dirección IP
 - Posición geográfica del LMU
 - Funciones de posicionamiento soportadas.
 - Funciones de medidas de asistencia soportadas.
 - Funciones de diagnóstico (opcional).

⁴² En esta tesis se ha integrado la arquitectura de gestión de los recursos radio de Mobile-IP RAN a la arquitectura de gestión global de recursos especificada en el proyecto europeo CAUTION++ [CAUTIOND21]. Sin embargo, debido a la naturaleza independiente de Mobile-IP RAN, es posible una aplicación directa de la arquitectura de gestión de recursos radio de Mobile-IP RAN a otras redes de gestión global de recursos de la red móvil.

⁴³ Esta tesis se enfoca en la provisión de una arquitectura y protocolos de interfaces que permitan un PDE multitecnología radio. Sin embargo, es necesaria la realización de trabajos futuros que desarrollen los algoritmos de cálculo de la posición que sean independientes de la especificación de la tecnología radio.

- Datos temporales:
 - Medidas en progreso.
 - Medidas de asistencia.
 - Actividades de operación y mantenimiento.

La arquitectura del PDE se muestra en la Figura 34:

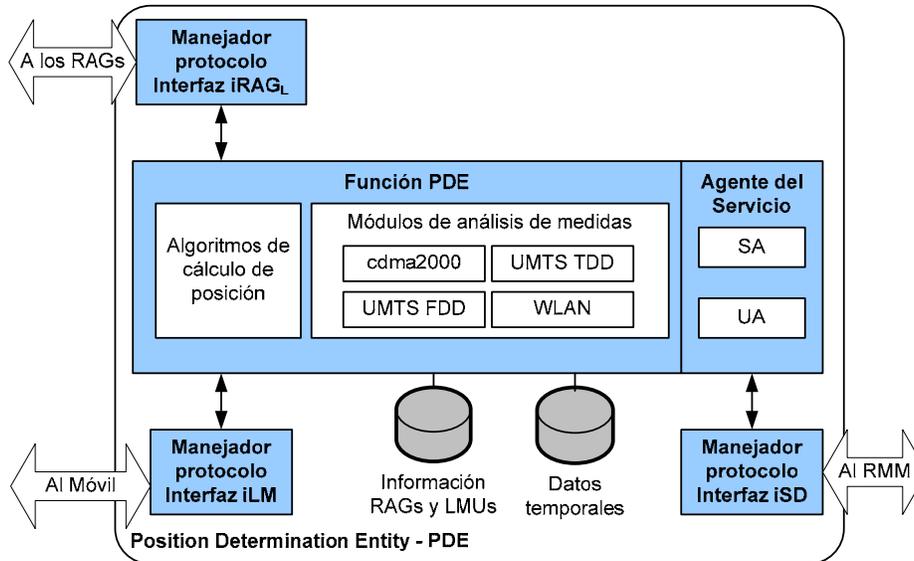


Figura 34 Arquitectura del PDE

4.3.5 Cliente AAA Regional (RA3c)

El Cliente AAA Regional (RA3c, *Regional AAA Client*) es un broker que maneja las funciones de autenticación, autorización y tasación de usuario en la red Mobile-IP RAN. El RA3c se comunica con los elementos de la red Mobile-IP RAN y con el servidor AAA de la red troncal.

Sus principales funciones son:

- Gestión de la autenticación y autorización de usuarios en la red Mobile-IP RAN. El RA3c es el punto por defecto en la red Mobile-IP RAN para el envío de peticiones de autenticación y autorización de los usuarios móviles.
- Solicitar al servidor AAA de la red troncal que corresponde al usuario, los vectores de autenticación referidos al usuario a ser autenticado.
- Autenticación del usuario en la red Mobile-IP RAN basado en la respuesta del usuario móvil a la petición de autenticación (*challenge*).
- Autorización del acceso en la red Mobile-IP RAN dependiendo la validación del dispositivo (terminal) que utilice el usuario⁴⁴.

⁴⁴ Esta tesis no especifica cómo el RA3c adquiere la información del Registro de dispositivos. Tomando como punto de partida las redes 3G, sería posible utilizar la interfaz iRA3c para que el RA3c valide la identidad del terminal (de

- Distribuir el perfil de calidad de servicio del usuario al RAG y al RQoSb durante el proceso de autenticación y autorización.
- Recolectar y procesar los datos de tasación (uso) de los recursos móviles en la red Mobile-IP RAN.
- Anunciar su presencia (y el servicio que ofrece) al agente de directorio de la red Mobile-IP RAN.

La arquitectura del RA3c se basa en la arquitectura definida en MobyDick para el servidor AAA, adaptada a su función de broker AAA, tal como muestra la Figura 35.

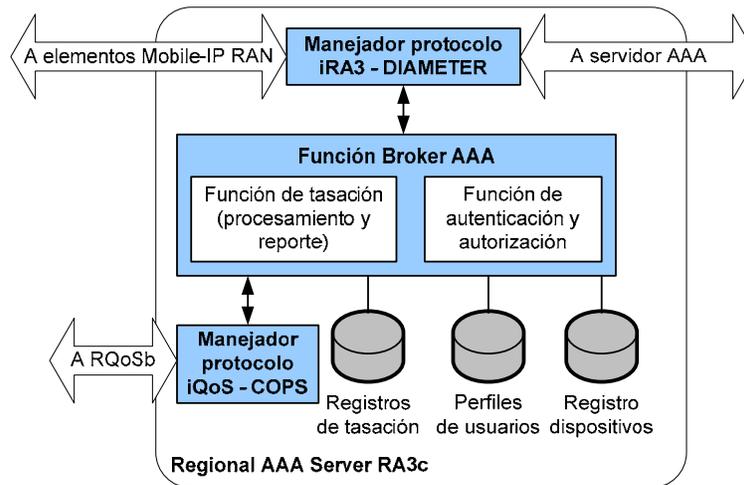


Figura 35 Arquitectura del RA3c

4.3.6 Gestor de Calidad de Servicio Regional (RQoSb)

El Gestor de Calidad de Servicio Regional (RQoSb - *Regional QoS broker*) es el elemento central de la gestión de la calidad de servicio en Mobile-IP RAN. El RQoSb es la entidad que realiza las configuraciones de los enrutadores de la red Mobile-IP RAN (RAG y RMM), a partir de las peticiones del Broker de calidad de servicio de la red troncal (*QoS Broker*). Sus principales funciones son:

- Interfaz entre el *QoS Broker* de la red troncal y los enrutadores de la red Mobile-IP RAN
- Interfaz con el RA3c para obtener el perfil de calidad de servicio del usuario durante el acceso (fase de registro).
- Configuración de los enrutadores de la red Mobile-IP RAN (RAG y RMM) para los distintos flujos de datos de usuario.
- Recoger las estadísticas reportadas por los elementos de red y reportarlas al *QoS Broker* de la red troncal.

forma similar al servidor EIR (*Equipment Identity Register*) de las redes móviles GSM y UMTS, y no incluir la necesidad de una base de datos permanente en el RA3c. La base de datos "Registro de dispositivos" que se muestra en la Figura 35 corresponde a una base de datos temporal (caché) con los dispositivos "conocidos" (es decir, sometidos a validación) por el RA3c durante su operación.

- Anunciar su presencia (y el servicio que ofrece) al agente de directorio de la red Mobile-IP RAN.

La arquitectura del RQoSb se basa en la arquitectura definida en MobyDick para el servidor *QoS Broker*, adaptada a su función de broker de calidad de servicio en la red Mobile-IP RAN, tal como muestra la Figura 36 :

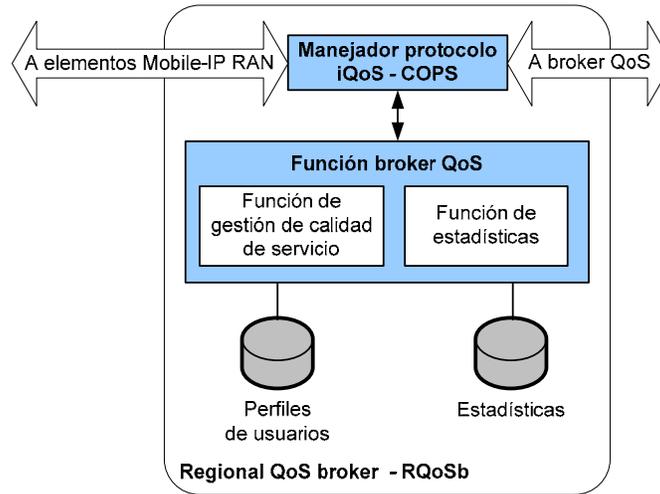


Figura 36 Arquitectura del RQoSb

4.4 Interfaces de Mobile-IP RAN

La Figura 37 muestra las interfaces lógicas de la red Mobile-IP RAN.

Las interfaces de Mobile-IP RAN comparten el uso de IPv6 como protocolo base de red. El protocolo IPv6 es la principal capa de interfuncionamiento entre todos los elementos de la red. Como mecanismo de seguridad⁴⁵, se establece que todas las interfaces de Mobile-IP RAN deben tener una asociación de seguridad a nivel IPv6. Para esto, todas las interfaces deben soportar el protocolo IPSec [RFC4301]. Mobile-IP RAN no fija un método específico de compartición de claves entre las entidades IPSec, sin embargo, para garantizar el funcionamiento de los nodos, estos deben al menos soportar IPSec con claves compartidas previamente (durante el proceso de configuración o AAA en Mobile-IP RAN)⁴⁶.

⁴⁵ Para un análisis de la seguridad en Mobile-IP RAN, ver sección 4.13.

⁴⁶ Se podría recomendar el soporte de IKEv2 [RFC4306] para los RAG, de forma que puedan establecerse las asociaciones de seguridad entre RAGs vecinos de forma dinámica, otorgando mayor flexibilidad a la arquitectura para el soporte de handover. Sería necesario realizar un análisis del impacto del establecimiento dinámico de la asociación sobre el tiempo del handover. Este estudio está fuera del alcance de esta tesis.

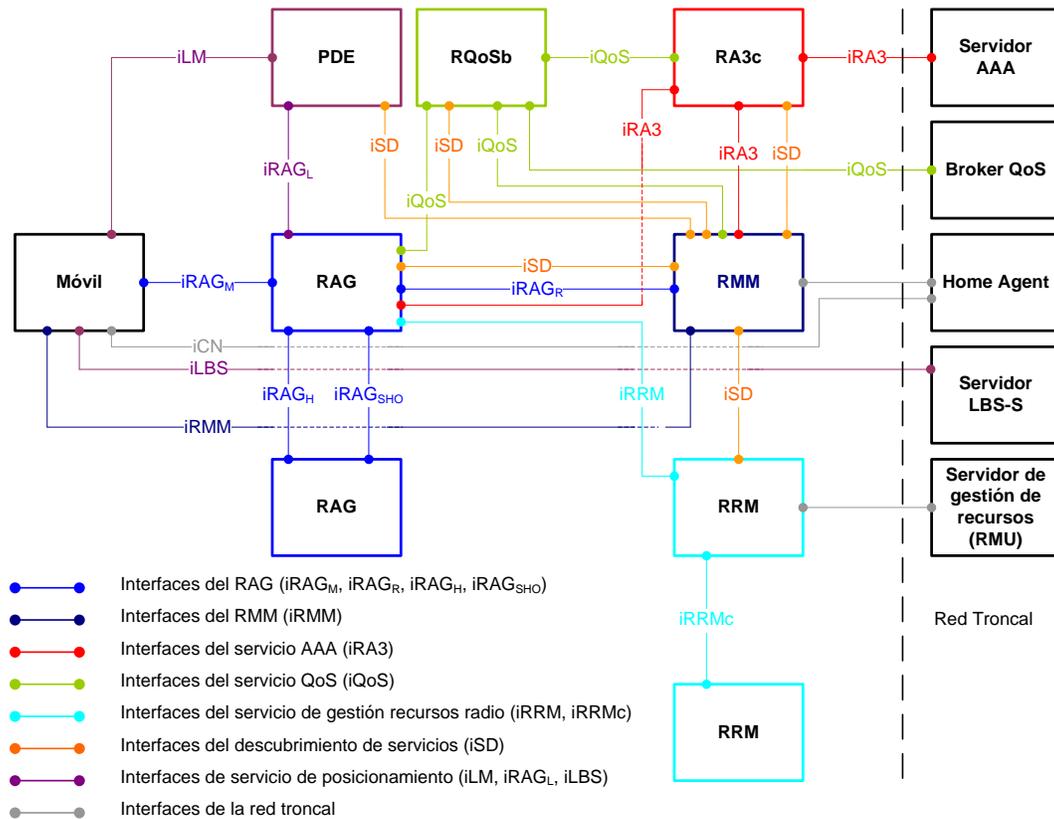


Figura 37 Interfaces lógicas de la red Mobile-IP RAN

4.4.1 Interfaces del RAG

4.4.1.1 Interfaz entre RAG y móvil (iRAG_M)

El interfaz iRAG_M contiene un subconjunto de mensajes de movilidad IP que son utilizados por el móvil y el RAG durante la preparación y ejecución del de handover. La interfaz está basada en un sub-conjunto de mensajes de [FHMIPv6] adaptados al entorno Mobile-IP RAN. La sección 4.4.9.4 describe los cambios realizados al protocolo [FHMIPv6] para uso en la interfaz iRAG_M de Mobile-IP RAN.

Los mensajes utilizados en la interfaz iRAG_M son:

- Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)
- Proxy Router Advertisement (PrRtAdv)
- Fast Binding Update (FBU)
- Fast Binding Update Acknowledge (FBack)
- Unsolicited Neighbor Advertisement (UNA)
- Neighbor Advertisement Acknowledge (NNACK)

Dependiendo de la interfaz radio utilizada (y por ende de la función de mapeo entre el nivel Mobile-IP RAN y la tecnología radio), estos mensajes pueden ser transportados desde el móvil utilizando IPv6 como transporte o utilizando un mecanismo de transporte de la tecnología radio (por ejemplo un contenedor UMTS RRC).

La Figura 38 muestra dos posibilidades de transporte: (a) La genérica, que utiliza ICMP/IPv6 como transporte, y (b) la integrada en el mecanismo de transporte de la red radio (en el ejemplo se utiliza el protocolo RRC de UMTS).

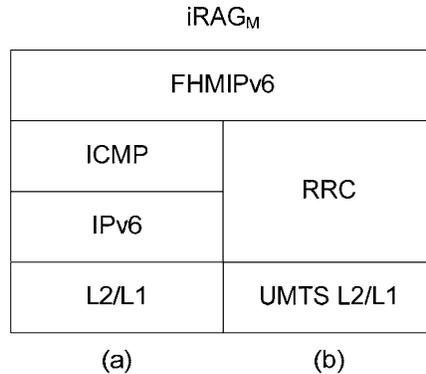


Figura 38 Pila de protocolos de la interfaz iRAG_M

4.4.1.2 Interfaz entre el RAG y el RMM (iRAG_R)

La interfaz iRAG_R contiene un conjunto de mensajes de movilidad que se utilizan para la función de paging y para la función del soft-handover entre el RAG y el RMM. Esta interfaz utiliza un subconjunto de mensajes de [FHMIPv6] adaptados al entorno Mobile-IP RAN (ver sección 4.4.9.4) y unos nuevos mensajes para el soporte de la funcionalidad de paging, descritos en la sección 4.4.9.2.

Los mensajes utilizados en la interfaz iRAG_R son:

- *Handover Initiate (HI)*
- *Handover Acknowledge (HAck)*
- *Handover Cancel (HC)*
- *Paging*
- *Paging Response*

La Figura 39 muestra la pila de protocolos utilizada para la interfaz iRAG_R.

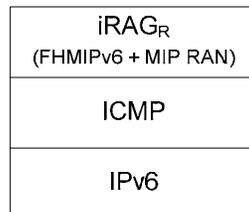


Figura 39 Pila de protocolos de la interfaz iRAG_R

4.4.1.3 Interfaz entre RAGs para la funcionalidad de handover (iRAG_H)

La interfaz iRAG_H se utiliza para el soporte de la funcionalidad de handover entre dos RAGs. Esta interfaz está compuesta de dos protocolos: [FHMIPv6] y [CXTTP], adaptados al entorno Mobile-IP RAN (ver secciones 4.4.9.4 y 4.4.9.5 para los cambios realizados sobre los protocolos [FHMIPv6] y [CXTTP] respectivamente).

El protocolo [FHMIPv6] contiene la señalización del handover (y soft-handover), mientras que el protocolo [CXTTP] posibilita la transferencia de los contextos AAA, calidad de servicio y del enlace radio entre los RAGs involucrados en el handover.

Los mensajes utilizados en la interfaz iRAG_H son:

- *Handover Initiate (HI)*
- *Handover Acknowledge (HAck)*
- *Handover Cancel (HC)*
- *Context Transfer Data (CTD)*
- *Context Transfer Data Reply (CTDR)*
- *Context Transfer Cancel (CTC)*

La Figura 40 muestra las pilas de protocolos de la interfaz iRAG_H⁴⁷.

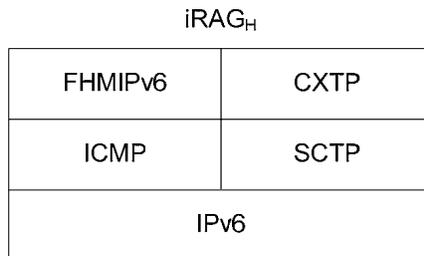


Figura 40 Pila de protocolos de la interfaz iRAG_H

4.4.1.4 Interfaz entre RAGs para la funcionalidad de soft-handover (iRAG_{SHO})

La interfaz iRAG_{SHO} se utiliza, en conjunto con la interfaz iRAG_H para la funcionalidad de soft-handover entre dos RAGs Mobile-IP RAN. Esta interfaz se forma de un plano usuario que permite el transporte de los datos (y de la señalización asociada a la sincronización de las tramas radio en soft-handover) desde el RAG de anclaje a los RAGs que forman parte del grupo activo⁴⁸.

⁴⁷ Sería posible realizar la integración de los mensajes bajo un solo protocolo, sin embargo, el impacto es considerado mínimo así como se rompería uno de los objetivos/requisitos de esta tesis en lo que respecta a los protocolos existentes: mínimos cambios sobre los protocolos (y su transporte) existentes. Por otro lado, el IETF está trabajando en una nueva especificación del protocolo [FHMIPv6] donde se utilizan las cabeceras de movilidad IPv6 para el transporte de los mensajes [FHMIPv6] en lugar del uso de ICMP. Dado que este trabajo está en progreso (ver [Koodli2009]) y que no tiene un impacto sobre el concepto de la interfaz, se ha decidido mantener la pila de protocolos de transporte del [RFC5268]. Este cambio también podría impactar a la interfaz iRAG_R.

⁴⁸ La sección 4.9.6 define la funcionalidad de soft-handover en Mobile-IP RAN

Esta interfaz utiliza un protocolo de sincronización de tramas derivado de [TS25427] y [TS25435], adaptado a Mobile-IP RAN y descrito en la sección 4.4.9.6.

Los mensajes utilizados en la interfaz iRAG_{SHO} son:

- *DL Synch*
- *UL Synch*
- *Trama de datos DL*
- *Trama de datos UL*
- *DL RAG Synch*
- *UL RAG Synch*

La Figura 41 muestra la pila de protocolos de la interfaz iRAG_{SHO}.

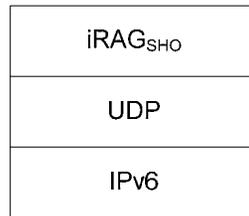


Figura 41 Pila de protocolos interfaz iRAG_{SHO}

4.4.2 Interfaz entre el RMM y el móvil (iRMM)

La interfaz iRMM se utiliza para la gestión de la movilidad Internet del móvil, entre éste y la red Mobile-IP RAN. Está basada en [HMIPv6] con las modificaciones realizadas para Mobile-IP RAN e indicadas en la sección 4.4.9.1.

La Figura 42 muestra la pila de protocolos de la interfaz iRMM.

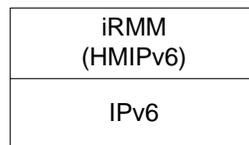


Figura 42 Pila de protocolos de la interfaz iRMM

4.4.3 Interfaz AAA en Mobile-IP RAN (iRA3)

La interfaz iRA3 es una interfaz genérica de los nodos Mobile-IP RAN (RAG, RMM y RA3c), utilizada para las funciones de autenticación, autorización y tasación en el acceso del usuario móvil a la red Mobile-IP RAN, de acuerdo con la arquitectura propuesta en la sección 4.4.9.6. Está basada en el protocolo DIAMETER [RFC3588], con las extensiones de AAA para servidores de acceso [RFC4005].

En Mobile-IP RAN, esta interfaz tiene la siguiente pila de protocolos.

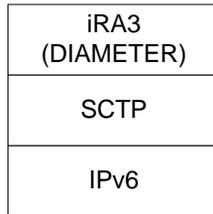


Figura 43 Pila de protocolos de la interfaz iRA3

4.4.4 Interfaz de calidad de servicios en Mobile-IP RAN (iQoS)

La interfaz iQoS es una interfaz genérica de los nodos RAG, RMM, RA3c y RQoSb, utilizada para la solicitud y admisión de recursos de usuario con una calidad de servicio determinada, así como para la distribución del perfil de calidad de servicio del usuario. De acuerdo con la arquitectura de calidad de servicios propuesta en la sección 4.6, está basada en el protocolo COPS (*Common Open Policy Server*) definido en [RFC2748]. La sección 4.4.9.3 define nuevos objetos COPS utilizados para la gestión de la calidad de servicio en Mobile-IP RAN.

En Mobile-IP RAN, esta interfaz tiene la siguiente pila de protocolos:

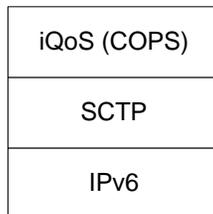


Figura 44 Pila de protocolos en la interfaz iQoS

4.4.5 Interfaces de gestión de los recursos radio

4.4.5.1 Interfaz RAG-RRM (iRRM)

La interfaz iRRM conecta al RAG con el Gestor de Recursos Regionales (RRM) para la gestión de los recursos radio en Mobile-IP RAN. La interfaz iRRM utiliza un nuevo protocolo, cuya pila de transporte es indicada en la Figura 45.

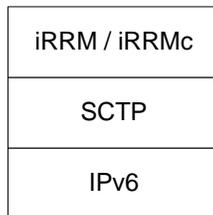


Figura 45 Pila de protocolos en las interfaces iRRM e iRRMc

Este protocolo está derivado de la propuesta iniciada en [TR25891] y adaptada al entorno Mobile-IP RAN, soportando los siguientes mensajes:

- *Resource Configuration Request*. Este mensaje es enviado por el RAG al RRM para solicitar al RRM la configuración de los algoritmos de gestión de los recursos radio (valores de los principales algoritmos de gestión de recursos radio) en el RAG.

- *Resource Configuration Command*. Este mensaje es utilizado por el RRM para enviar al RAG los parámetros de configuración de sus algoritmos de gestión de los recursos radio⁴⁹.
- *Resource Configuration Acknowledge*. Este mensaje es enviado por el RAG al RRM como asentimiento de la recepción del mensaje *[iRRM] Resource Configuration Command*.
- *Measurement Request*. Este mensaje es iniciado por el RRM, requiriendo el reporte de medida sobre uno o más recursos radio controlados por el RAG. En la petición se especifica el tipo y características del reporte asociado al recurso. Este mensaje asimismo, puede indicar el inicio, modificación o finalización de la petición de medida.
- *Measurement Report*. Este mensaje es enviado por el RAG al RRM, como respuesta a un mensaje *[iRRM] Measurement Request*. El RAG puede enviar uno o varios mensajes *[iRRM] Measurement Report* como respuesta a un mensaje *[iRRM] Measurement Request*. El mensaje *[iRRM] Measurement Report* contiene el reporte de la medida realizada sobre uno o varios de los recursos requeridos.
- *Measurement Reject*. Este mensaje es enviado por el RAG en respuesta al mensaje *[iRRM] Measurement Request*, cuando éste no pueda reportar una o varias de las medidas requeridas por el RRM.
- *Assistance Request*. Este mensaje es enviado por el RAG al RRM para solicitar su asistencia en la toma de decisiones, por ejemplo, cuando en un handover vertical, el RAG envía al RRM la lista de vecinos, para que éste la analice y le proporcione la recomendación (por ejemplo, la lista de vecinos ordenada por prioridad de handover).
- *Assistance Response*. Este mensaje es enviado por el RRM al RAG en respuesta a un mensaje *[iRRM] Assistance Request*, e incluye la respuesta a la petición de asistencia al RAG (por ejemplo la lista de vecinos ordenada por prioridad, del ejemplo anterior).
- *Resource Command*. Este mensaje es utilizado por el RRM para indicar al RAG la ejecución de una acción sobre un recurso determinado. Esta acción consiste en la liberación o modificación de recursos.
- *Resource Command Acknowledge*. Este mensaje es enviado por el RAG al RRM como asentimiento de la recepción del mensaje *[iRRM] Resource Command*.

4.4.5.2 Interfaz RRM-RRM (iRRMc)

La interfaz iRRMc es una interfaz horizontal (*peer-to-peer*) entre dos servidores RRM. El objeto principal es el intercambio de información de recursos que están coordinados por otro RRM. La interfaz iRRMc utiliza un nuevo protocolo, subconjunto del protocolo utilizado en la interfaz iRRMc, con una pila de transporte que se muestra en la Figura 45. Esta interfaz soporta los siguientes mensajes:

⁴⁹ El procedimiento de configuración de los algoritmos de gestión de recursos radio en el RAG se incluye para proveer al RRM de un método de configuración dinámica de estos algoritmos. De forma alternativa, la configuración puede ser realizada por el sistema de operación y mantenimiento (en este caso la configuración sería estática o permanente).

- *Measurement Request*
- *Measurement Report*
- *Measurement Reject*

Al ser una interfaz horizontal, cualquiera de los dos servidores RRM en la interfaz iRRMc puede iniciar un procedimiento de petición de medidas.

4.4.6 Interfaz de descubrimiento de servicios (iSD)

La interfaz iSD es una interfaz genérica de todos los nodos Mobile-IP RAN, utilizada para el registro, anuncio y descubrimiento de los servicios de red, de acuerdo con la arquitectura propuesta en la sección 4.11. Está basada en el protocolo SLP (*Service Location Protocol*) definida en [SLPv2, Guttman2002, RFC3111].

En Mobile-IP RAN, esta interfaz tiene la siguiente pila de protocolos.

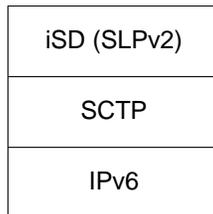


Figura 46 Pila de protocolos de la interfaz iSD

4.4.7 Interfaces del servicio de posicionamiento

4.4.7.1 Interfaz PDE – Móvil (iLM)

La interfaz iLM es utilizada por el PDE para enviar al móvil los resultados del cálculo de la posición así como el envío de los datos de asistencia y la petición de medidas al móvil. El móvil utiliza esta interfaz para pedir al PDE el inicio del cálculo de la posición y para enviar el resultado de las medidas realizadas, al PDE.

La interfaz iLM utiliza un nuevo protocolo, cuya pila de transporte es la indicada en la Figura 47

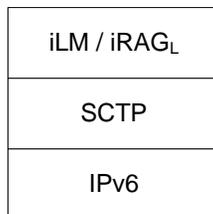


Figura 47 Pila de protocolos interfaces iLM e iRAG_L

Este protocolo, derivado de los protocolos de soporte a localización en la UTRAN [TS25305, TS25331] y en la RAN cdma2000 [CS0022-0, IS-801, AS0013], soporta los siguientes mensajes:

- *ASSISTANCE DATA*: Utilizado por el PDE para enviar información de asistencia a las medidas que debe realizar el móvil. Esta información, propia a cada tecnología radio y a cada método de posicionamiento utilizado, permite al móvil realizar las medidas. Ejemplos de estos datos incluyen los datos de asistencia OTDOA (*Observed Time*

Difference Of Arrival), datos DGPS (GPS Diferencial), Almanaque GPS, modelo ionosférico GPS, etc.

- *MEASUREMENT REQUEST*: Utilizado por el PDE para pedir al móvil que realice las medidas necesarias.
- *MEASUREMENT REPORT*: Utilizado por el móvil para enviar las medidas al PDE
- *POSITION REQUEST*: Utilizado por el móvil para pedir al PDE realizar el posicionamiento del móvil. En el mensaje *[iLM] POSITION REQUEST* el móvil indica la tecnología que utiliza (UMTS FDD, UMTS TDD, UMTS LCR-TDD, cdma2000, WLAN, etc), y los requisitos de la posición (precisión, edad, formato).
- *POSITION REPORT*: Utilizado por el PDE para enviar el resultado del posicionamiento al móvil.

4.4.7.2 Interfaz PDE – RAG (iRAG_L)

El PDE utiliza la interfaz iRAG_L para las siguientes funciones:

- Requerir al RAG la realización de medidas en el enlace radio. Ejemplos de estas medidas son la Diferencia de tiempo observada (OTD, *Observed Time Difference*), Temporización GPS de las trama, etc.
- Enviar información de asistencia al RAG para la realización de medidas en el enlace radio.
- Indicar al RAG, para ciertos métodos de posicionamiento, que active los períodos libres en el enlace radio (IPDL, *Idle Period on DownLink*), para que el móvil pueda realizar las medidas correspondientes.

La interfaz iRAG_L utiliza un nuevo protocolo, sub-conjunto del protocolo utilizado en la interfaz iLM, cuya pila de transporte es idéntica a la mostrada en la Figura 47.

Este protocolo, sobre la interfaz iRAG_L, soporta los siguientes mensajes:

- *ASSISTANCE DATA*, enviado desde el PDE al RAG
- *MEASUREMENT REQUEST*, enviado desde el PDE al RAG
- *MEASUREMENT REPORT*, enviado desde el RAG al PDE

4.4.8 Interfaces de la red troncal

Aunque el objetivo de Mobile-IP RAN no es especificar las interfaces de la red troncal, se han asumido durante este trabajo una serie de interfaces en la red troncal que ayuda a comprender el funcionamiento de la red de acceso bajo una red troncal 4G definida⁵⁰.

⁵⁰ Esto no implica que la arquitectura Mobile-IP RAN no sea aplicable a otros entornos o protocolos de red troncal, simplemente se han tomado como punto de partida la utilización de los protocolos mencionados.

4.4.8.1 Interfaz Móvil – Home Agent (iCN)

La interfaz iCN se utiliza para gestionar la movilidad global del móvil en la red. Esta interfaz utiliza [MIPv6] como protocolo base de movilidad.

4.4.8.2 Interfaz Servidor LBS-S – Móvil (iLBS)

A través de la interfaz iLBS, el servidor LBS-S y el Móvil se comunican para realizar las peticiones de localización y enviarse la respuesta. Esta interfaz está basada en un subconjunto del protocolo *Mobile Location Protocol* – MLP [TS101], donde la entidad que requiere el posicionamiento origina la petición (el LBS-S en el caso de una petición originada por la red, o el Móvil en el caso de una petición originada por éste). Los procedimientos soportados por la interfaz iLBS son aquellos indicados en [TS101]:

- *Standard Location Immediate Service*
- *Emergency Location Immediate Service*
- *Standard Location Reporting Service*
- *Emergency Location Reporting Service*
- *Triggerred Location Reporting Service.*

4.4.8.3 Interfaz Cliente LCS - Servidor LBS-S (iLCN)

La interfaz iLCN es la interfaz que comunica al cliente LCS con el servidor LBS-S. Al igual que en los sistemas 3G, esta interfaz se basa enteramente en el protocolo Mobile Location Protocol (MLP) del Location Interoperability Forum (actualmente OMA) [TS101].

4.4.8.4 Interfaz Servidor LBS-S – Servidor AAA (iAAA)

La interfaz iAAA comunica al servidor LBS-S con el servidor AAA, para autorizar al cliente y determinar si es posible el posicionamiento del móvil, así como para determinar el HA por medio del cual se debe cursar la petición. La interfaz AAA se basa en el diseño AAA de [D0401], con las extensiones de los parámetros necesarios para la autenticación entre los servidores LCS, así como la creación del registro de tarificación de los servicios LCS.

4.4.9 Configuración y cambios a los protocolos existentes para el soporte de Mobile-IP RAN

Esta sección describe los cambios en los protocolos existentes para el soporte de las funciones de red Mobile-IP RAN. Estos cambios consisten fundamentalmente en nuevos mensajes o parámetros, así como la extensión del uso de ciertos mensajes, en condiciones específicas de la red Mobile-IP RAN. Las secciones siguientes describen los cambios para cada uno de los protocolos afectados.

4.4.9.1 Protocolo [HMIPv6]

Para el soporte de la gestión de movilidad en la red Mobile-IP RAN, se han introducido algunas extensiones al protocolo [HMIPv6].

En el mensaje *Router Advertisement* se han realizado los siguientes cambios y extensiones.

- a) Se ha añadido a la opción MAP un *bit Mobile-IP RAN* con el objetivo de que el móvil reconozca que la red soporta la funcionalidad de Mobile-IP RAN, cuando realiza el registro y la actualización de localización⁵¹.

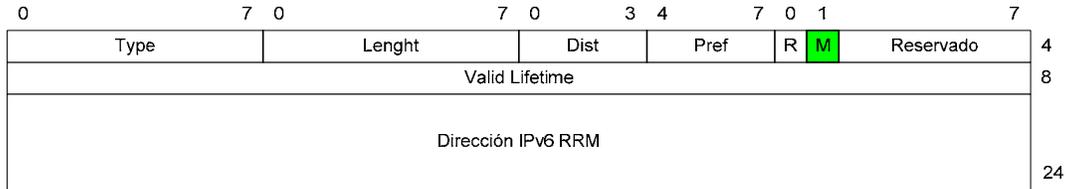


Figura 48 Opción MAP de [HMIPv6] con el bit M de Mobile-IP RAN

- Bit $M=1$ indica que la opción MAP pertenece a un RMM Mobile-IP RAN. Si $M=0$, la opción MAP pertenece a un MAP [HMIPv6].
- b) Se ha añadido la extensión de paging propuesta en [Hong2007]. Esta opción es utilizada durante el procedimiento de paging⁵² por el RAG, cuando no existe una integración entre el mecanismo de paging entre la red Mobile-IP RAN y la tecnología radio utilizada⁵³.
- Se introduce un *bit de paging (P)* en el mensaje *Router Advertisement* para indicar que el mensaje contiene Paging a móviles ($P=1$).
 - Se añade la extensión de paging, cuyo formato se muestra en la Figura 49.

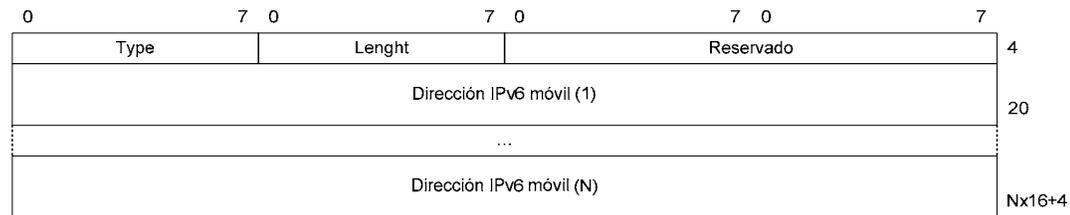


Figura 49 Opción de Paging en el mensaje Router Advertisement

- c) Se añade una extensión de parámetros Mobile-IP RAN, que incluye la información de los principales servidores de la red Mobile-IP RAN, para que el móvil conozca su dirección (PDE, LBS-S). Su formato es similar al utilizado para la opción MAP en [HMIPv6]⁵⁴.

En el mensaje *Local Binding Update (LBU)* se añade un *bit Mobile-IP RAN*, con el objetivo de que el móvil le indique a la red que soporta la funcionalidad de Mobile-IP RAN, cuando realiza el registro y la actualización de la localización.

⁵¹ Ver secciones 4.9.2 y 4.9.3 respectivamente, para mayor información sobre el procedimiento de registro y actualización de la localización en Mobile-IP RAN.

⁵² Para mayor información sobre el procedimiento de paging en Mobile-IP RAN, ver sección 4.9.4.

⁵³ Típicamente en el caso que la red radio no soporte paging de forma nativa (por ejemplo en 802.11).

⁵⁴ Cabe destacar que esta extensión (al igual que la extensión de paging descrita anteriormente) se utilizan sólo en el caso que la interfaz radio no provea de un mecanismo (o canal) de difusión de información del sistema a sus móviles (por ejemplo en 802.11). El Apéndice A describe el mapeo de estos parámetros al mensaje de información del sistema de UMTS.

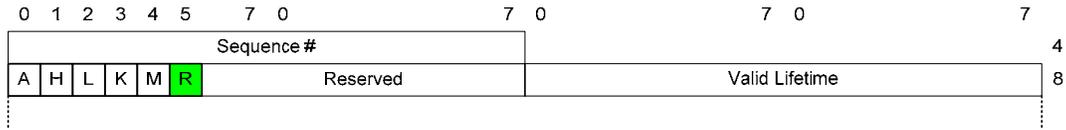


Figura 50 Nuevo bit R en el mensaje Local Binding Update indicando el soporte de Mobile-IP RAN

- Bit $R=1$ indica que el móvil soporta la red Mobile-IP RAN. Si $R=0$, el RMM debe (en caso esté soportado) tratar al móvil de acuerdo con [HMIPv6] y [FHMIPv6] sin tomar en cuenta las extensiones Mobile-IP RAN.

4.4.9.2 Extensión de Paging en Mobile-IP RAN [MIP RAN]⁵⁵ – Interfaz iRAG_R

Como indica la sección 4.9.4, Mobile-IP RAN define una nueva extensión para el paging, que utiliza ICMP como mecanismo de comunicación entre el RAG y el RMM. En Mobile-IP RAN se proponen los siguientes mensajes para la funcionalidad del paging.

Mensaje Paging. El mensaje *Paging* es enviado por el RMM al RAG para solicitar a éste que realice un paging al móvil identificado en el mensaje. El mensaje *Paging* tiene el siguiente formato:

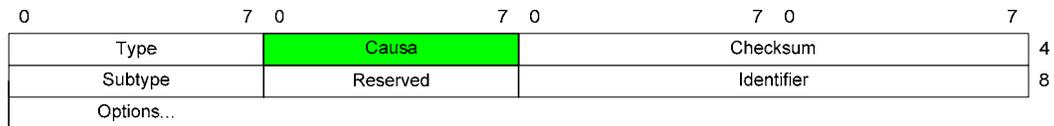


Figura 51 Formato del mensaje *Paging* en Mobile-IP RAN

- a) Type: 155 (Mensajes Mobile-IP RAN)
- b) Causa: Motivo del paging
 - 0: Desconocido
 - 1: Paging del Home Agent
 - 2: Paging del RAG, actualice su localización
 - 3: Paging del RMM, actualice su localización
 - 4: Desconocido
- c) Subtype: 1, mensaje *Paging*
- d) Options: Opciones posibles
 - Dirección IPv6 del móvil – LCoA, RCoA, *Home Address*
- e) Identifier – Identificador del paging, para relacionar la petición con una posible respuesta.

⁵⁵ [MIP RAN] es el término utilizado en esta tesis para los mensajes creados para Mobile-IP RAN y que no son extensiones de un protocolo existente.

Mensaje Paging Response (de respuesta al paging): El mensaje *Paging Response* es enviado por el RAG al RMM para indicar que el móvil ha respondido al mensaje de paging. El mensaje *Paging Response* tiene el siguiente formato:

0	7 0	7 0	7 0	7
Type	Reserved	Reserved	Checksum	4
Subtype	Reserved	Reserved	Identifier	8
Options...				

Figura 52 Formato del Mensaje Paging Response en Mobile-IP RAN

- a) Type: 155
- b) Subtype: 2, mensaje *Paging Response*
- c) Options: Opciones posibles
 - Dirección IPv6 del móvil – LCoA, en caso del realizarse el paging sobre la RCoA o la dirección *Home Address*, o en el caso en que el móvil haya cambiado de LCoA.
- d) Identifier – Identificador del paging, debe coincidir con el identificador del mensaje *Paging*.

4.4.9.3 Nuevos objetos COPS [RFC2748] – Interfaz iQoS

Como indican las secciones 4.4.4 y 4.6, Mobile-IP RAN utiliza el protocolo COPS [RFC2748] y la arquitectura definida en Moby Dick [D0202] para el aprovisionamiento de la calidad de servicio en la red. Para lograrlo, se proponen los siguientes nuevos objetos COPS, que combinados con los utilizados en [D0202] proporcionan los mensajes y parámetros utilizados en la interfaz iQoS.

Objeto de información específica para la configuración de enrutadores en Mobile-IP RAN. Este objeto contiene la definición de los distintos tipos de flujos en Mobile-IP RAN, es utilizado por el RQoS durante el proceso de inicialización de los dispositivos Mobile-IP RAN para la configuración de calidad de servicio (flujos) en los enrutadores.

1	2	3	4	
Object Length = 20		C-Num=9	C-Type=30	1
Class	Flow Descriptor No	BW		2
DSCP	Agreg. No	Borrow_flag		3
Min_gred_queue		Max_gred_queue		4
Limit_gred_queue		Prob_gred_queue		5

Figura 53 Objeto COPS de información específica para la configuración de enrutadores en Mobile-IP RAN

- a) *C-Num=9*, Información Específica de cliente
- b) *C-Type=30*, Descripción de Flujo en Mobile-IP RAN
- c) *Class*, clase de servicio asociada al flujo (Conversacional, Streaming, Interactivo, Por defecto, señalización).
- d) *Flow descriptor nr*, número de descriptor del flujo. Utilizado por el RAG en conjunto con la clase de servicio para mapear configuraciones de enlace radio.
- e) *BW*, Tasa de bit agregada. Tasa de bit agregada del tipo de flujo en pasos de 64 kbps.

- f) *DSCP*, corresponde al DSCP utilizado para el descriptor de flujo
- g) Los parámetros *Agreg. no*, *Borrow_flag*, *Min_gred_queue*, *Max_gred_queue*, *Limit_gred_queue* y *prob_gred_queue*, de acuerdo a [D0202].

Objeto de información específica de recursos de usuario en Mobile-IP RAN: Este objeto se utiliza en Mobile-IP RAN con doble propósito:

- Durante el registro el RA3c indica el perfil de usuario de calidad de servicio, y utiliza este objeto para indicar cada tipo de flujo autorizado al móvil durante la sesión.
- Durante la petición de recursos este objeto define los recursos solicitados al RAG o al RMM para un usuario determinado.

1	2	3	4	
Object Length = 16		C-Num=9	C-Type=31	1
Class	Flow Descriptor No	Precedence		2
Unsigned_int_BW_policer				3
Unsigned_int_burst_policer				4

Figura 54 Objeto COPS de información específica de recursos de usuario (*Client QoS Data*)

- a) *C-Num=9*, Información Específica de cliente
- b) *C-Type=31*, Datos de Calidad de servicio del usuario (*Client QoS Data*)
- c) *Class*, clase de servicio asociada al flujo (Conversacional, Streaming, Interactivo, Por defecto, señalización).
- d) *Flow descriptor nr*, número de descriptor del flujo. Utilizado por el RAG en conjunto con la clase de servicio para mapear configuraciones de enlace radio.
- e) *Precedence*, precedencia.
- f) Los parámetros *Unsigned_int_BW_policer* y *unsigned_int_burst_policer* definidos en [D0202], definen la tasa de bits (máxima en el caso de registro y promedio en el caso de petición de recursos) a ser utilizada. Si su valor es todo 1s (solo utilizado en el caso de petición de servicio), indica que debe utilizarse la tasa máxima autorizada al móvil, si su valor es todo 0s, indica que no se solicitan garantías de ancho de banda (por ejemplo para la clase por defecto).

4.4.9.4 Protocolo [FHMIPv6] - Interfaces iRAG_M, iRAG_R e iRAG_H

Como indica la sección 4.9.5, el protocolo de señalización de handover y soft-handover de las interfaces iRAG_M, iRAG_R e iRAG_H está basado en [FHMIPv6]. En Mobile-IP RAN se proponen las siguientes modificaciones sobre el protocolo [FHMIPv6].

Mensaje *Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)*: El mensaje *Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)* es enviado por el móvil, para solicitar información al RAG sobre el RAG destino. Cuando se utiliza en Mobile-IP RAN, el mensaje *Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)* tiene la siguiente configuración:

0	7 0	7 0	7 0	7	
Type	Code	Checksum			4
Subtype	M	Reserved	Identifier		8
Options...					

Figura 55 Formato del mensaje [FHMIPv6] RtSolPr en Mobile-IP RAN

- a) Se define un nuevo bit “Mobile-IP RAN” (*M*), que describe si el móvil soporta la señalización Mobile-IP RAN para handover ($M=1$). Al recibir el RAG, el mensaje, debe responder con el mensaje *Proxy Router Advertisement*, también marcando el bit *Mobile-IP RAN* (*M*). El objeto de este bit es ofrecer en el móvil compatibilidad con [FHMIPv6] en el caso el móvil se conecte con redes [FHMIPv6] que no soporten las extensiones Mobile-IP RAN.

Mensaje *Proxy Router Advertisement* (PrRtAdv): El mensaje *Proxy Router Advertisement* (PrRtAdv) es enviado por el RAG, ya sea en respuesta a un mensaje *Router Solicitation for Proxy Advertisement* o como mensaje no solicitado para iniciar el procedimiento de handover a nivel de red. Cuando se utiliza en Mobile-IP RAN, el mensaje *Proxy Router Advertisement* (PrRtAdv) tiene la siguiente configuración:

0	7 0	7 0	7 0	7	
Type	Code	Checksum			4
Subtype	M	Reserved	Identifier		8
Options...					

Figura 56 Formato del mensaje [FHMIPv6] Proxy Router Advertisement en Mobile-IP RAN

- a) Se define el bit “Mobile-IP RAN” (*M*), que describe si el RAG soporta la señalización Mobile-IP RAN para handover ($M=1$). El objeto de este bit es ofrecer en el móvil compatibilidad con [FHMIPv6] en el caso el móvil se conecte con redes [FHMIPv6] que no soporten las extensiones Mobile-IP RAN.

Mensaje *Handover Initiate* (HI): El mensaje *Handover Initiate* (HI) es enviado por el RAG origen al RAG destino para iniciar el procedimiento de handover o soft-handover. Cuando se utiliza en Mobile-IP RAN, el mensaje *Handover Initiate* (HI) tiene la siguiente configuración:

0	7 0	7 0	7 0	7	
Type	Code	Checksum			4
Subtype	S U L R	Reserved	Identifier		8
Options...					

Figura 57 Formato del mensaje [FHMIPv6] Handover Initiate en Mobile-IP RAN

- a) *Code* = 0. El mensaje incluye la LCoA actual, ya que no se requiere que el RAG destino asigne una nueva dirección IP.
- b) *S* (bit de asignación de dirección) = 0. Se utiliza la CoA actual como dirección IP origen
- c) *U* (bit de buffer)
- o Para Handover $U=1$. Se solicita al RAG destino almacenar (para posteriormente entregar) los paquetes que van al móvil.
 - o Para Soft Handover $U=0$. No se solicita almacenar ningún paquete que se dirija al móvil.

- d) Se define un nuevo bit "*Leg*" (*L*), que define si el mensaje es para un handover común (0) o para soft-handover (1).
- e) Se define un nuevo bit "*Relocation*" (*R*), que define si el mensaje es para pedir un cambio del RAG de anclaje⁵⁶ durante un soft-handover (*R*=1).
- f) *Identifier*. El campo *Identifier* es un valor único por interfaz utilizado por el RAG origen para que las respuestas puedan ser relacionadas con la petición. Esta tesis no especifica como se calcula el identificador pero debe ser único por transacción para diferenciar diferentes peticiones de handover y/o soft handover.
- g) Se incluye la opción *Previous Care of Address* = LCoA del móvil. La LCoA del móvil se incluye para relacionar esta petición con una posible petición de handover o de transferencia de contexto.
- h) Se incluye la opción *Link Layer Address* = Identificador de enlace radio del móvil. Se incluye para identificar el móvil en el sistema origen (cdma2000, UMTS TDD, UMTS FDD, IS-95, etc.) y para poder identificar unívocamente al móvil por la dupla (LCoA, *Link Layer Address*). Su formato sigue el establecido en [RFC5271].
- i) En el caso de handover, también se incluye *New Care-of Address*=LCoA nueva (propuesta).
- j) Los demás campos siguen la especificación [FHMIPv6].

Mensaje *Handover Acknowledge* (Hack): En los procedimientos de handover y soft-handover de Mobile-IP RAN, a diferencia de lo especificado en [FHMIPv6]⁵⁷, el RAG destino puede enviar al RAG origen varios mensajes *Handover Acknowledge* en respuesta a un mensaje *Handover Initiate*: para indicar que el mensaje *Handover Initiate* ha sido recibido correctamente, que el handover o soft-handover ha sido completado exitosamente o que el procedimiento ha fallado. Asimismo, a diferencia de lo especificado en [FHMIPv6], un nodo puede enviar el mensaje *Handover Acknowledge* (HAck) en respuesta a otro mensaje *Handover Acknowledge* (HAck)⁵⁸.

Cuando el mensaje *Handover Acknowledge* se utiliza durante el procedimiento de handover o soft-handover en Mobile-IP RAN, tiene la siguiente configuración:

- a) *Code*: Se añaden cinco nuevas opciones relativas al handover y soft-handover:
 - o *131 - Soft-handover Accepted*. Se utiliza para indicar al RAG origen que el mensaje *Handover Initiate* (Indicando el inicio de un soft-handover) ha sido recibido correctamente.
 - o *132 - Soft-handover Completed*. Se utiliza para indicar al RAG origen que el móvil se ha sincronizado en la interfaz aire y que el soft handover ha sido completado⁵⁹.

⁵⁶ Ver sección 4.9.6.3.1 para una definición de RAG de anclaje

⁵⁷ Aunque [FHMIPv6] no prohíbe el envío de varios mensaje *Handover Acknowledge* en respuesta a un mensaje *Handover Initiate*, los flujos de señalización mostrados como ejemplo solo tienen una respuesta.

⁵⁸ Se utiliza en el procedimiento de soft-handover, para el cambio del RAG de anclaje, ver sección 4.9.6.3.1.

⁵⁹ El momento en el cual el RAG destino considera que el soft-handover ha sido completado, depende de la tecnología radio, por lo que no se especifica en esta tesis.

- 133 – *Soft-handover Failure*. Se utiliza para indicar al RAG origen, que el procedimiento de soft-handover ha fallado.
- 134 – *Handover Complete*. Se utiliza para indicar al RAG origen que el procedimiento de handover se ha completado.
- 135 – *Handover Failure*. Se utiliza para confirmar al RAG origen la recepción del mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)*, indicando que el procedimiento de handover ha fallado y debe abortarse.
- 136 – *Relocation Prepared*. Se utiliza durante el cambio del RAG de anclaje en soft-handover, para confirmar al RAG destino, que los recursos en la interfaz iRAG están preparados.
- 137 – *Relocation Commit*. Se utiliza durante el cambio del RAG de anclaje en soft-handover, para indicar al que se debe aplicar el cambio del RAG de anclaje.
- 138 – *Relocation Completed*. Se utiliza durante el cambio del RAG de anclaje en soft-handover, para indicar que se ha aplicado el cambio del RAG de anclaje.
- 139 – *Relocation Failure*. Se utiliza durante el cambio del RAG de anclaje en soft-handover, para indicar que el cambio (o la preparación de los recursos para el cambio) ha fallado.

b) Los demás campos siguen la especificación [FHMIPv6].

Se introduce un nuevo Mensaje *Handover Cancel (HC)*. El mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)* es enviado por el RAG origen para cancelar el procedimiento de handover cuando aun no se ha completado (caso en el que no se haya establecido aun el contexto en la interfaz iRAG_H⁶⁰). El RAG origen puede cancelar el handover por diversas razones, tales como un fallo radio en el origen, un cambio rápido en las condiciones del enlace radio, etc. El formato del mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)* se muestra en la Figura 58:

0	7 0	7 0	7 0	7	
Type	Code	Checksum			4
Subtype =6	A	Reserved	Identifier		8
Options...					

Figura 58 Formato del nuevo mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)*

- e) Type: 154
- f) Code: Razón del Fallo
 - 0: No especificado
 - 1: Fallo del handover en origen
 - 2: Fallo del handover en destino
 - 3: Fallo en el Contexto
- g) Subtype: 6, mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)*

⁶⁰ En caso de estar completado el handover (y el contexto) el handover se cancelaría utilizando el mensaje [COTP] *Context Transfer Cancel (CTC)*.

- h) A: bit de asentimiento
 - 0: No se requiere asentimiento
 - 1: Se requiere asentimiento
- i) Options: Opciones posibles
 - LCoA actual
 - Identificador del móvil en el enlace
- j) Los demás campos siguen la especificación [FHMIPv6].

4.4.9.5 Protocolo [CXTP] – Interfaces iRAG_H e iRAG_{SHO}

Las interfaces iRAG_H e iRAG_{SHO} utilizan el protocolo de transferencia de contexto [CXTP] durante el handover y el soft-handover para el establecimiento del enlace radio y, para (en el caso del handover) la transferencia de los contextos de AAA y calidad de servicio. El RAG origen utiliza el mensaje *Context Transfer Data (CTD)* para pedir al RAG destino el establecimiento, modificación o supresión del enlace radio y del establecimiento del contexto AAA y de calidad de servicio, y el RAG destino utiliza el mensaje *Context Transfer Data Reply (CTDR)* para responder al RAG origen el éxito o fallo del establecimiento del enlace radio y del contexto de AAA y de calidad de servicio.

Los cambios respecto a la especificación [CXTP] son los siguientes:

- a) En Mobile-IP RAN, tanto el RAG origen como el RAG destino pueden enviar el mensaje *Context Transfer Cancel (CTC)*, para cancelar el procedimiento de handover o soft-handover o para indicar que el RAG destino debe liberar los recursos sobre la interfaz iRAG_H en el caso de handover.
- b) Se añade un nuevo bit (A) en el *Context Transfer Cancel (CTC)* para requerir asentimiento a una cancelación del contexto. El nodo que recibe en *Context Transfer Cancel (CTC)* con $A=1$, después de borrar el contexto (identificado por el *Context ID*), debe responder con un mensaje *Context Transfer Cancel (CTC)*. El mensaje de respuesta debe tener el bit $A=0$.
- c) Se añade un nuevo bit (T) en el *Context Transfer Cancel (CTC)* para indicar al RAG destino, en caso de handover, si los recursos deben ser liberados inmediatamente ($T=0$) o si deben ser liberados cuando el RAG destino lo considere necesario ($T=1$), por ejemplo, una vez que entregue todos los paquetes provenientes del RAG origen, al móvil.
- d) Se utilizan 3 bits reservados de la cabecera de los mensajes de transferencia de contexto para enlazar la petición genérica de handover o soft-handover con la transferencia de contexto. Esto permite que un mismo móvil (misma LCoA) pueda mantener varias sesiones (hasta 7^{61}) de soft-handover con el mismo RAG (con distintas células) y diferentes transferencias de contexto, sin necesidad de separar las peticiones a nivel transporte (mismo flujo SCTP).

⁶¹ El valor 0 está reservado por razones de compatibilidad hacia atrás con Routers de Acceso que no soportan la funcionalidad de soft-handover.

- e) Se crean nuevos contenedores *Feature Profile Type* para la información relativa al enlace radio en los procedimientos de handover y soft-handover.

La Figura 59, Figura 60 y Figura 61 muestran la configuración de los mensajes *Context Transfer Data (CTD)*, *Context Transfer Data Reply (CTDR)* y *Context Transfer Cancel (CTC)* utilizados en Mobile-IP RAN para la funcionalidad de handover y soft-handover.

Mensaje *Context Transfer Data (CTD)*: El mensaje *Context Transfer Data (CTD)* es utilizado por el RAG origen para la transferencia de contextos de AAA, calidad de servicio y enlace radio en el caso del handover, o para añadir un enlace radio al soft-handover. Al añadir un enlace radio, se transfiere la configuración del enlace radio para ser añadido en el RAG destino, incluido los parámetros de conexión en el plano de usuario (dirección IP y puerto UDP RAG origen). Cuando el mensaje *Context Transfer Data (CTD)* se utiliza para la funcionalidad de handover o soft-handover la configuración es la siguiente:

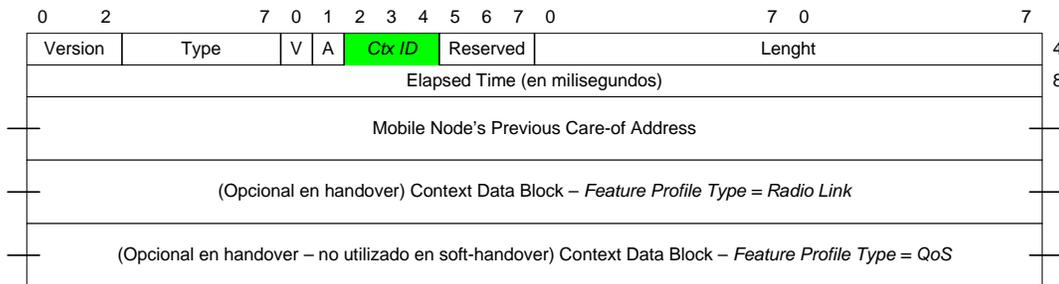


Figura 59 Mensaje Context Transfer Data (CTD) para la funcionalidad de handover y soft-handover

- a) *Type = CTD*. Corresponde al mensaje *Context Transfer Data*
- b) $V = 0$. Se utiliza una dirección IPv6 para identificar el móvil
- c) $A = 1$. Se requiere asentimiento
- d) *Context ID = 001 a 111*. Identificador del contexto del móvil (identificado por su LCoA) en las interfaces $iRAG_H$ e $iRAG_{SHO}$.
- e) *Mobile Node's Previous IP Address*. Corresponde a la LCoA del móvil
- f) *Context Data Block - Feature Profile Type = Radio Link*⁶². Corresponde a los parámetros del enlace radio y de transporte de datos del RAG origen en la interfaz $iRAG_H$ e $iRAG_{SHO}$. Este bloque es opcional en el caso de handover.
- g) *Context Data Block - Feature Profile Type = QoS*. Corresponde a los requisitos de calidad de servicio necesarios en el acceso radio.
- h) *Context Data Block - Feature Profile Type = AAA*. Corresponde al perfil de cifrado del usuario móvil.

Mensaje *Context Transfer Data Reply (CTDR)*: El mensaje *Context Transfer Data Reply (CTDR)* es utilizado por el RAG destino para responder a la petición de establecimiento del enlace radio, y en el caso del handover también el contexto de calidad de servicio y AAA. Como

⁶² Cada interfaz radio tendrá su propio Feature Profile Type, por ejemplo "Radio Link – UMTS FDD", "Radio Link – cdma2000".

parte del mensaje, el RAG destino incluye la información de los parámetros radio y de calidad de servicio finalmente utilizados y en el caso de soft-handover los parámetros de conexión en el plano de usuario (dirección IP y puerto UDP del RAG destino). Cuando el mensaje *Context Transfer Data Reply (CTDR)* se utiliza para la funcionalidad de handover o soft-handover la configuración es la siguiente:

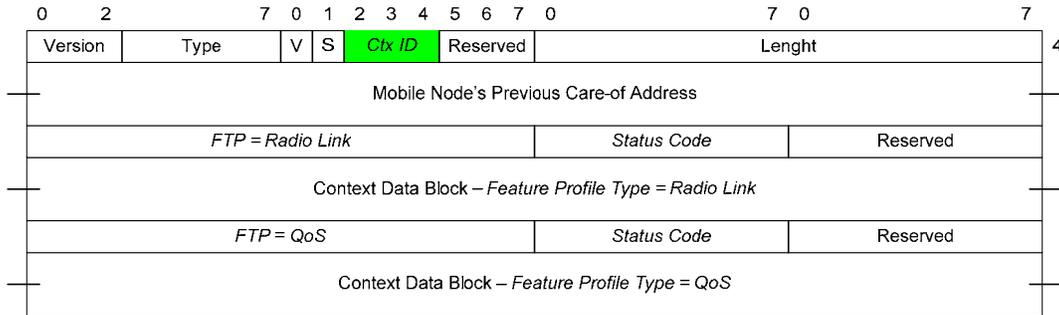


Figura 60 Mensaje Context Transfer Data Reply (CTDR) para funcionalidad de handover y soft-handover

- a) *Type = CTDR*. Corresponde al mensaje *Context Transfer Data Reply*
- b) $V = 0$. Se utiliza una dirección IPv6 para identificar el móvil
- c) $S = 1$, si se recibe la información del enlace radio correctamente. $S = 0$ de no recibirse la información correctamente, en cuyo caso habrá un fallo en el establecimiento del enlace radio.
- d) *Context ID*. Corresponde al Identificador del contexto del móvil (identificado por su LCoA) utilizado en el mensaje *Context Transfer Data (CTD)*.
- e) *Mobile Node's Previous IP Address*. Corresponde a la LCoA del móvil
- f) *Context Data Block - Feature Profile Type = Radio Link, QoS o AAA*. Corresponde a los parámetros del enlace radio y de transporte de datos del RAG destino en la interfaz $iRAG_H/iRAG_{SHO}$, a los parámetros de calidad de servicio aplicados a la conexión del móvil y a los parámetros de cifrado y AAA aplicados al usuario móvil.
- g) Los demás campos siguen la especificación [CXTP].

Mensaje *Context Transfer Cancel (CTC)*: El mensaje *Context Transfer Cancel (CTC)* puede utilizarlo tanto el RAG origen como el RAG destino, para abortar el procedimiento de handover y soft-handover. También puede ser utilizado por el RAG destino (en soft-handover), en cualquier momento durante la vida útil del enlace radio, para eliminarlo. Cuando el mensaje *Context Transfer Cancel (CTC)* se utiliza para la funcionalidad de handover o soft-handover la configuración es la siguiente:

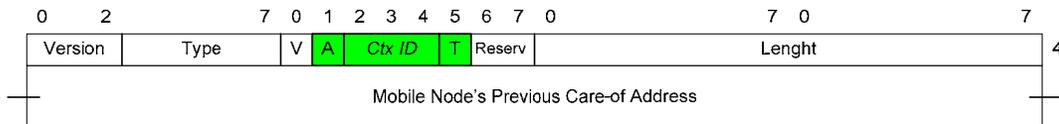


Figura 61 Mensaje Context Transfer Cancel (CTC) para la funcionalidad de handover y soft-handover

- a) *Type = CTC*. Corresponde al mensaje *Context Transfer Cancel*
- b) $V = 0$. Se utiliza una dirección IPv6 para identificar el móvil

- c) Se añade un nuevo bit *A*, similar al bit *A* del mensaje *Context Transfer Data (CTD)*. En Mobile-IP RAN, se utiliza bit $A=1$, cuando el mensaje se utiliza para solicitar asentimiento.
- d) Se añade un nuevo bit *T*, para indicar al RAG destino, en caso de handover, si los recursos deben ser liberados inmediatamente ($T=0$, en el caso de un handover fallido) o si deben ser liberados cuando el RAG destino lo considere necesario ($T=1$, por ejemplo, una vez que entregue todos los paquetes provenientes del RAG origen, al móvil en el caso de un handover exitoso).
- e) *Context ID*. Corresponde al Identificador del contexto del móvil (identificado por su LCoA) que se desea cancelar.
- f) *Mobile Node's Previous IP Address*. Corresponde a la LCoA del móvil

4.4.9.6 Protocolo de sincronismo de tramas sobre la interfaz iRAG_{SHO}

La interfaz iRAG_{SHO} especifica un protocolo de sincronismo de trama/plano de usuario, basado en los protocolos [TS25427] y [TS25435], cuyo objetivo es el transporte de las tramas radio (de usuario) entre el RAG origen (anclaje) y los RAGs en soft-handover. La sección 4.10.4 define la función de sincronización de tramas en Mobile-IP RAN.

La Figura 62 muestra el formato de trama utilizado por el protocolo de sincronismo de soft-handover de la interfaz iRAG_{SHO}.

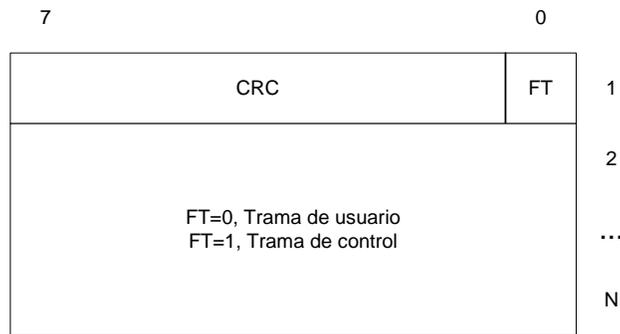


Figura 62 Formato genérico de trama en la interfaz iRAG_{SHO}

- a) Bit *FT (Frame Type)*. El bit de tipo de trama (*FT*) define si la trama en cuestión contiene un mensaje de señalización (sincronismo) o una trama de usuario.
- b) CRC (7 bits). Los bits CRC se utilizan para comprobar la validez de la trama⁶³.

Las tramas de usuario se utilizan para enviar los datos del usuario (que está en soft-handover). La Figura 63 muestra el formato de las tramas de usuario para el (a) enlace descendente y (b) ascendente.

- a) *Número de trama FN (Frame Number)* (16-24 bits): Número de trama en el enlace (radio) hacia el móvil en que debería ser transmitida la trama.
 - o Longitud FN (4 bits): Define la longitud, en bits, del Número de trama

⁶³ Existen diversos mecanismos para el cálculo del CRC. Esta tesis no especifica un algoritmo específico.

- Uso Reservado (4 bits): Para uso futuro
 - Valor FN (8-16 bits): Define el valor del número de trama en el enlace radio⁶⁴. El Valor FN es orientado a octeto por lo que se rellena con ceros hasta alcanzar 8 o 16 bits.
- b) *Tiempo de llegada* (16 bits): Tiempo absoluto medido desde el final de la ventana de transmisión^{65,66}.
- Granularidad: 125 μ s
 - Rango de valores: {-1280 ms ; +1279,875 ms}
- c) *Información específica de trama*: Contiene la trama (radio) de usuario, tal y como está definida por la tecnología radio utilizada en el soft-handover⁶⁷.

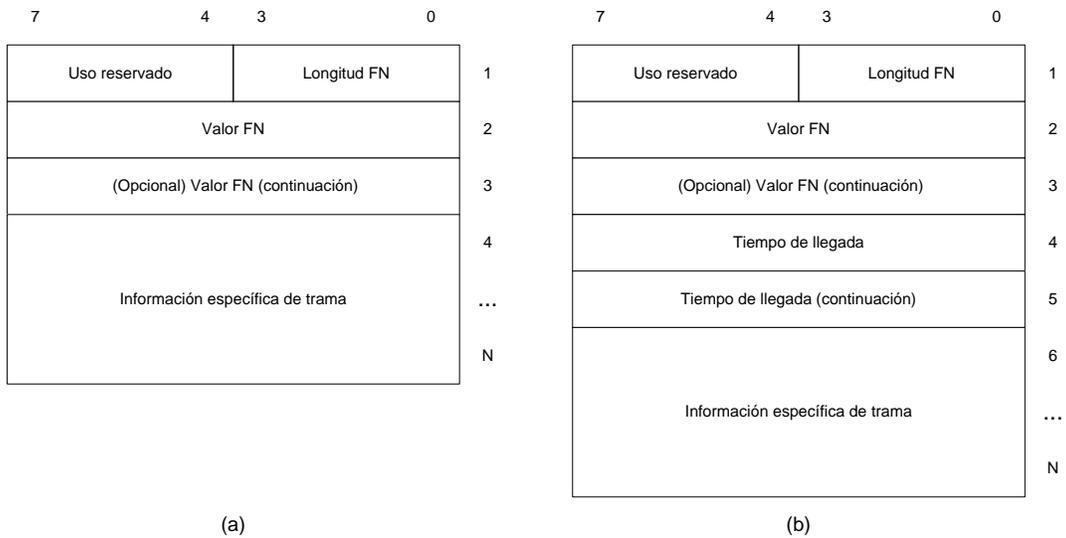


Figura 63 Formato de tramas de usuario sobre la interfaz iRAG_{SHO}

Las tramas de control, se utilizan para lograr el sincronismo sobre esta interfaz y por ende el sincronismo de trama durante el soft-handover. Las tramas de control utilizadas sobre la interfaz iRAG_{SHO} son:

⁶⁴ Para UMTS son 8 bits (CFN - ciclos de 255 tramas) ó 12 bits (SFN - ciclos de 4096 tramas), para cdma2000 son 4 bits (FSN – ciclos de 16 tramas).

⁶⁵ Corresponde al *Time of Arrival* (ToA) de UMTS [TS25402, TS25427] y al *Packet Arrival Time Error* (PATE) de cdma2000 [AS0015-C]

⁶⁶ El formato del tiempo de llegada corresponde exactamente al valor del ToA en [TS25427]. El mismo proporciona cobertura a los rangos de tiempo de llegada utilizado en UMTS [TS25427, TS25435] y en cdma2000 ([AS0015-C] especifica un rango máximo de PATE, incluido el escalado, de {-155 ms ; +155 ms} y una granularidad máxima de 125 μ s.

⁶⁷ Las especificaciones [TS25427], [TS25435] y [AS0015-C] definen formatos de trama radio para UMTS y cdma2000. La trama de usuario Mobile-IP RAN es un contenedor de estas tramas radio.

Trama de DL Synch (Sincronización en el enlace descendente). La trama *DL Synch* se utiliza durante el procedimiento de sincronización de tramas para el usuario, descrito en la sección 4.10.4.2.1. El formato y contenido de la trama *DL Synch* se muestra en la Figura 64:



Figura 64 Formato de la trama de control *DL Synch*

- a) FN (16-24 bits): En este caso es el valor de referencia para medir el tiempo de llegada (ya que esta trama de control no es transmitida al móvil).
 - Longitud FN (4 bits): Define la longitud, en bits, del Número de trama
 - Uso Reservado (4 bits): Para uso futuro
 - Valor FN (8-16 bits): Define el valor del número de trama en el enlace radio⁶⁸. El Valor FN es orientado a octeto por lo que se rellena con ceros hasta alcanzar 8 o 16 bits.

Trama de UL Synch (Sincronización en el enlace ascendente). La trama *UL Synch* se utiliza durante el procedimiento de sincronización de tramas para el usuario, descrito en la sección 4.10.4.2.1. El formato y contenido de la trama *UL Synch* se muestra en la Figura 65:

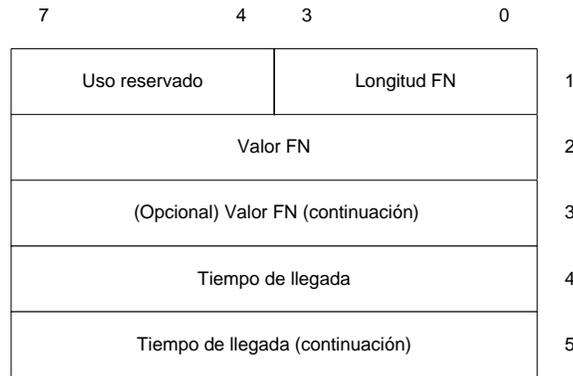


Figura 65 Formato de trama de control *UL Synch*

- a) FN (16-24 bits): Número de trama en el enlace radio sobre la cual se ha medido el tiempo de llegada.

Tramas DL RAG Synch (Sincronización de RAG en el enlace descendente) y *UL RAG Synch* (Sincronización de RAG en el enlace ascendente). Estas tramas se utilizan durante el procedimiento de determinación de las diferencias de tiempo entre dos RAGs, descrito en la

⁶⁸ Para UMTS son 8 bits (CFN - ciclos de 255 tramas) ó 12 bits (SFN - ciclos de 4096 tramas), para cdma2000 son 4 bits (FSN – ciclos de 16 tramas).

sección 4.10.4.2.2. El formato de los mensajes *DL RAG Synch* y *UL RAG Synch* siguen el formato de los mensajes *DL Node Synchronisation* y *UL Node Synchronisation* de [TS25402], respectivamente.

4.5 Modelo AAA en Mobile-IP RAN

Mobile-IP RAN proporciona mecanismos de autenticación, autorización y tarificación de los usuarios que utilizan los recursos de la red de acceso. Uno de los conceptos utilizados en Mobile-IP RAN es considerar a la red de acceso como un ente, que dependiente de una red troncal, proporciona estos mecanismos de forma independiente⁶⁹.

La arquitectura AAA propuesta en Mobile-IP RAN, se basa íntegramente en la arquitectura AAA del proyecto Moby Dick especificada en [D0401, D0402], con las adaptaciones necesarias para cumplir con los objetivos de independencia y multiprotocolo de Mobile-IP RAN.

La Figura 66 muestra el modelo de arquitectura AAA Moby Dick extendida, para el soporte del acceso radio Mobile-IP RAN.

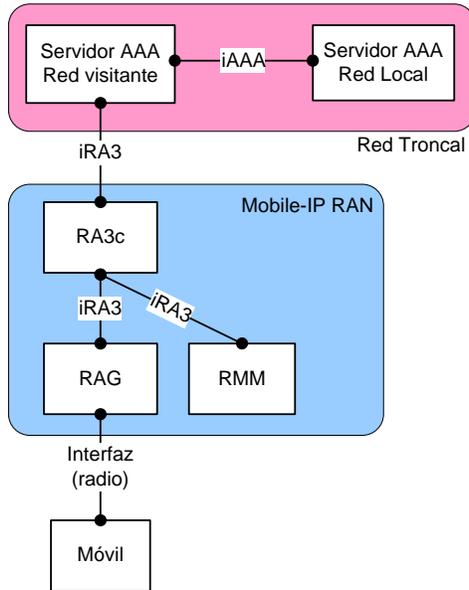


Figura 66 Arquitectura AAA en Mobile-IP RAN

4.5.1 Funciones de los elementos de red Mobile-IP RAN en los procedimientos AAA

La arquitectura AAA de Moby Dick especifica un mapeo de las funciones AAA y los distintos elementos de red. Este mapeo, adaptado al entorno Mobile-IP RAN, se presenta en la Tabla 5.

⁶⁹ Aunque esta tesis elabora una arquitectura AAA independiente en la red de acceso, la elaboración y definición de políticas AAA independientes, se deja como un posible trabajo futuro.

- El RAG, en la arquitectura Mobile-IP RAN, es el enrutador de acceso de la red, por lo que durante el primer acceso del móvil (registro), el mismo inicia, a través de su cliente AAA una petición de autenticación del móvil al RA3c. Asimismo, para la tasación en el RAG, crea los registros locales de envío y transmisión de paquetes hacia/desde el móvil. Esta información es enviada al RA3c para su correcto formato y tratamiento después de cada sesión.
- El RMM, como gestor de la movilidad en Mobile-IP RAN, interviene en la autenticación y autorización del usuario para el uso de los recursos de la red, también a través de su cliente AAA.
- El RA3c es el bróker AAA de la red Mobile-IP RAN. La función del R3Ac es coordinar la autenticación, autorización, y tasación dentro del entorno Mobile-IP RAN exclusivamente. Su función principal es recibir las peticiones de los RAGs y del RMM y reenviarla al servidor AAA de la red troncal⁷⁰. Asimismo, para la tasación, el RA3c, se encarga de recibir los reportes de uso de recursos de un móvil en los diferentes RAGs, y compilarlos (y opcionalmente formatearlos) para su envío al servidor AAA.

	Móvil	RAG	RA3c	RMM	ROoSb
Móvil	X				
Attendant		X		X	
Agente Paging				X	
Broker QoS					X
Gestor QoS	X	X	X	X	X
Medidor		X			
Sistema AAAC			X		
Tasación y tarificación		X	X		
Auditoria			X		

Tabla 5 Mapeo de funciones a los elementos Mobile-IP RAN

4.5.2 Identificadores del usuario móvil en Mobile-IP RAN para las funciones AAA

Mobile-IP RAN soporta distintos tipos de identificadores de usuario para las distintas tecnologías (redes) de acceso radio existentes, a través de un contenedor denominado en esta tesis L2-ID, y

⁷⁰ Esta tesis, si bien utiliza la arquitectura AAA de Moby Dick, no establece ni define una jerarquía de servidores AAA en la red troncal, por lo que el RA3c podría comunicarse con el servidor AAA de la red local o el servidor AAA de la red origen. Esto dependerá de la arquitectura definitiva de la red troncal y la definición de políticas en el RA3c, para definir por ejemplo si el RA3c siempre se comunica con un servidor AAA o puede enrutar la petición dependiendo de la información proporcionada por el móvil.

con un formato que corresponde al definido como identificador de nodo móvil en [RFC5271]. Este contenedor permite al móvil identificarse con el IMSI, NAI [RFC4282] u otro identificador de red de acceso.

Adicionalmente, de forma opcional, es posible utilizar un identificador del dispositivo (dirección MAC, IMEI) que permita la autorización de uso del dispositivo determinado.

4.5.3 Adaptación de la arquitectura Moby Dick para Mobile-IP RAN

Si bien la arquitectura AAA de Moby Dick puede implantarse en el entorno Mobile-IP RAN sin cambios en sus principios fundamentales, hay algunas particularidades a considerar:

1. Moby Dick propone el uso de URP como protocolo AAA entre el móvil y el enrutador de acceso. Mobile-IP RAN no excluye su uso, sin embargo, incluye otras opciones (protocolos) en la interfaz radio. Dado que uno de los requisitos fundamentales en Mobile-IP RAN es la reutilización, siempre que sea posible, de los protocolos radio existentes, se permite la utilización de distintos protocolos que incluyen el componente AAA, tales como EAP, RRC, protocolo de aplicación cdma2000, etc, como mecanismos de transporte de los parámetros AAA. El mecanismo de autenticación en la interfaz radio, depende de la tecnología radio utilizada⁷¹ y su mapeo con el procedimiento AAA en la interfaz [iRA3] es función del RAG.
2. Al introducir el RA3c, como bróker de AAA en la red de acceso Mobile-IP RAN, se mueve parte de la funcionalidad del cliente AAA (en Moby Dick) del enrutador de acceso al RA3c, con el objetivo de reducir la carga de procesamiento en el RAG a favor de un uso centralizado de los recursos. Esto, aunque no cambia el comportamiento lógico de la arquitectura, significa un cambio en los requisitos de procesamiento en el RAG.

4.5.4 Escenarios

4.5.4.1 Autenticación y Autorización en el acceso

Durante el procedimiento de autenticación y autorización en el acceso, el móvil, que solicita el acceso a la red Mobile-IP RAN, es autenticado por la red y obtiene autorización para su acceso. El objetivo de este procedimiento es evitar que un móvil no autorizado utilice recursos radio. El procedimiento que se describe a continuación utiliza el modelo de autenticación de las redes móviles, utilizando el mecanismo del reto de autenticación. Aunque no se muestra el escenario, el mecanismo de autenticación y autorización en Mobile-IP RAN también soporta la autenticación a través de credenciales estáticas que son proporcionadas por el móvil con su identidad y que son validadas por el RA3c/servidor AAA.

1. Una vez que el usuario ha completado el establecimiento del enlace radio (a través de los métodos específicos de la red radio, por ejemplo, una conexión RRC para el sistema UMTS), el RAG (que no tiene registros de la identidad del móvil) requiere al móvil su identificación. El móvil responde con la identidad del mismo (por ejemplo IMSI o NAI).

⁷¹ Por cuestiones de compatibilidad con el móvil, cada tecnología de interfaz radio, debe tener al menos un mecanismo AAA especificado en la interfaz radio.

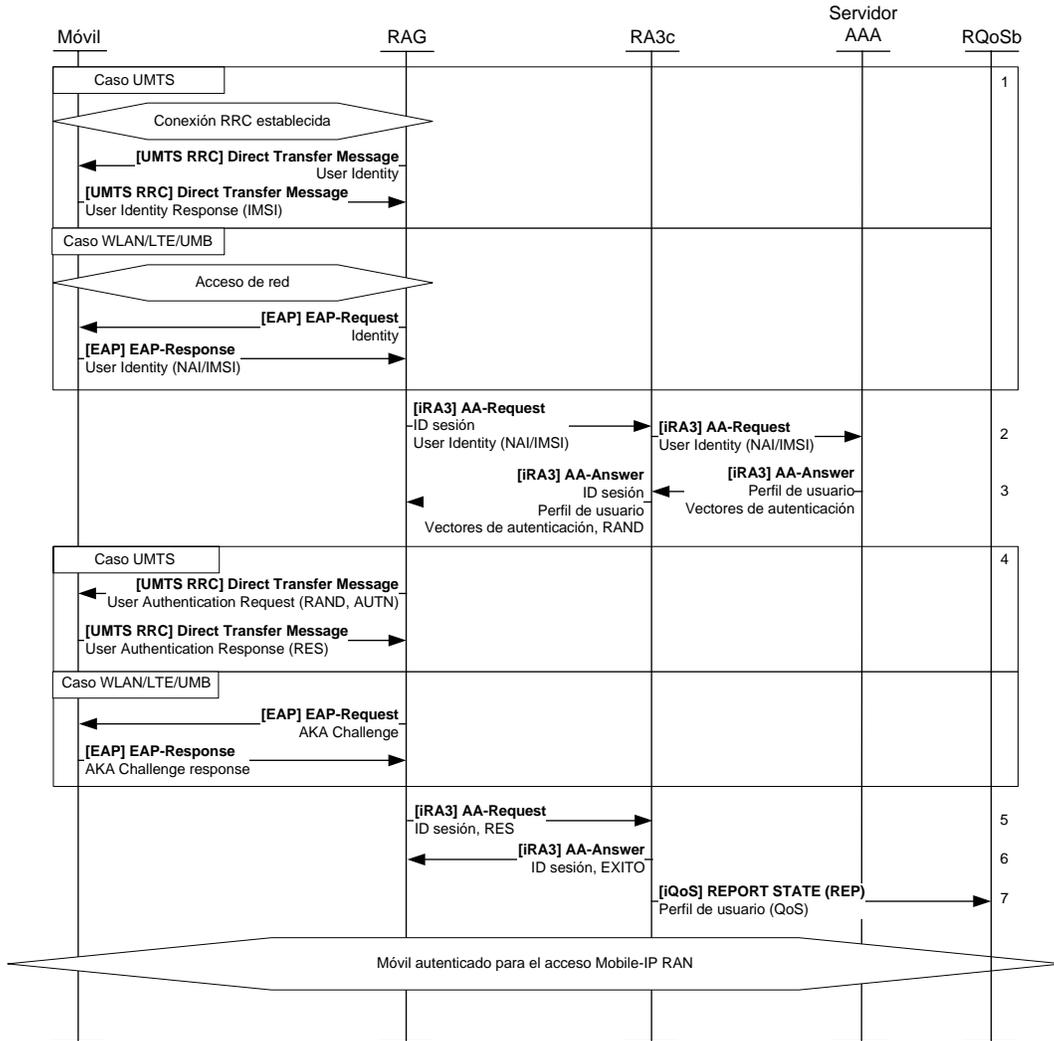


Figura 67 Procedimiento de autenticación y autorización

- El RAG, solicita al RA3c el inicio del proceso de autenticación Mobile-IP RAN, enviando el mensaje *[iRA3] AA-Request* a través de la interfaz iRA3. Este mensaje contiene el identificador de la sesión del usuario, y su identidad. El RA3c registra la petición, y si no posee el perfil y los vectores de autenticación del usuario, envía el mensaje *[iRA3] AA-Request* al servidor AAA para obtener los vectores de autenticación.
- El servidor AAA envía el perfil de usuario y los vectores de autenticación al RA3c a través del mensaje *[iRA3] AA-Answer*. El RA3c deriva el número aleatorio RAND y envía el mensaje *[iRA3] AA-Answer*, incluyendo el RAND al RAG.
- El RAG inicia el reto de autenticación al móvil enviando la petición/reto de autenticación al móvil. El móvil responde al reto de autenticación.
- El RAG envía el resultado el reto de autenticación al RA3c a través del mensaje *[iRA3] AA-Request*.

6. El RA3c indica el resultado exitoso de la autenticación a través del mensaje *[iRA3] AA-Answer*.
7. El RA3c envía el perfil del usuario autenticado y autorizado al RQoSB, a través del mensaje *[iQoS] REPORT STATE*⁷².

A partir de este momento el RAG autoriza el acceso del móvil, y el mismo debe completar el proceso de registro con la red Mobile-IP RAN.

4.5.4.2 Procedimiento de Autenticación y Autorización RMM

Este procedimiento opcional, consiste en el establecimiento de una asociación de seguridad entre el móvil y el RMM, con el objetivo de autenticar al móvil para el uso de los recursos Mobile-IP RAN y para permitir el acceso a la red troncal. Asimismo este procedimiento puede ser utilizado por el móvil (en el caso de redes Mobile-IP RAN de acceso compartido a varias redes troncales) el descubrimiento de su Home Agent designado.

Este procedimiento sigue la especificación [HMIPv6] en lo que respecta al uso de IKEv2 [RFC4301] para el establecimiento de la asociación de seguridad entre el móvil y el RMM.

4.5.4.3 Tasación

Una vez que el móvil es autorizado, y completa su registro, el RAG, como medidor de recursos (radio), realiza las medidas de tráfico de entrada y salida del móvil y lo envía al RA3c.

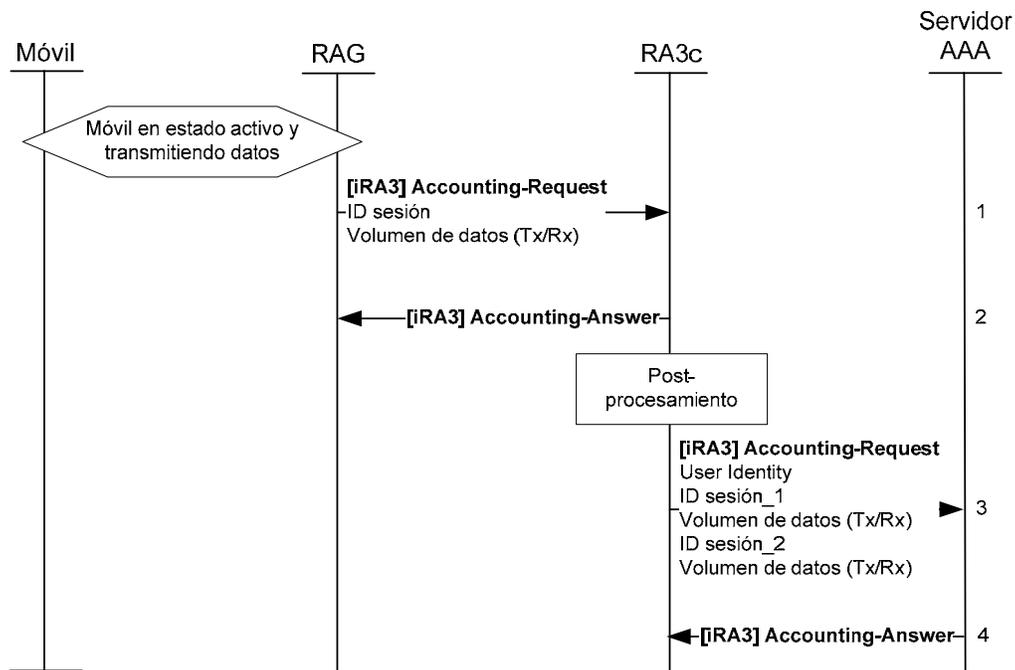


Figura 68 Procedimiento de tasación en Mobile-IP RAN

⁷² Aunque no se muestra en el diagrama, antes de enviar este mensaje, se ha abierto una conexión COPS entre el RA3c y el RQoSB.

1. El RAG, de acuerdo a la configuración de envío de datos de tasación (por ejemplo, periódicamente, cada volumen de datos o una vez que termine la sesión), envía el reporte de tasación de la sesión del móvil (que incluye el volumen de datos transmitidos y recibidos) al RA3c a través del mensaje *[iRA3] Accounting-Request*.
2. El RA3c asiente la recepción del reporte enviando el mensaje *[iRA3] Accounting-Answer*.
3. El RA3c, de acuerdo a la configuración de envío de datos de tasación de usuario (por ejemplo periódicamente o cuando se cumpla un cierto volumen de datos), envía el reporte de tasación del usuario (que puede incluir reportes de varias sesiones) al servidor AAA, a través del mensaje *[iRA3] Accounting-Request*.
4. El servidor AAA asiente la recepción con el mensaje *[iRA3] Accounting-Answer*.

4.5.4.4 Cifrado durante AAA

De forma genérica, el cifrado en la interfaz radio ocurre posteriormente a la autenticación y autorización del usuario móvil. El mecanismo AAA de Mobile-IP RAN ofrece la opción del envío de las claves de cifrado desde el servidor AAA hasta el RAG, para el soporte de cifrado de datos en las interfaces radio, de forma similar al mecanismo utilizado en las redes 3G. Este mecanismo es opcional, pudiendo utilizarse otros mecanismos específicos a la tecnología radio utilizada.

4.5.4.5 AAA durante handover

Mobile-IP RAN ofrece la opción, a través del contenedor AAA en el mensaje *[CXTP] Context Transfer Data (CTD)*, de transferir al RAG destino, el contexto AAA (claves de cifrado y autenticación) para que el RAG destino (si se requiere) inicie el procedimiento de (re)autenticación o aplique el cifrado utilizando las claves (pre)existentes.

4.6 Modelo de Calidad de Servicio en Mobile-IP RAN

La calidad de servicio en Mobile-IP RAN se propone con el objetivo de proporcionar la mejor calidad de servicio posible, diferenciando los servicios que fluyen en la red, y tomando en cuenta las características del acceso, tales como el acceso radio, enlace, con el objetivo de proporcionar a la red troncal la posibilidad de mantener un servicio extremo a extremo. El modelo de calidad de servicio en Mobile-IP RAN permite servicios diferenciados en la interfaz radio y en la red de transporte, dependiendo del tipo de tráfico y de la precedencia⁷³ del usuario.

Mobile-IP RAN utiliza la clasificación de los tipos de tráfico a través del concepto de clases de servicios definidos en [TS23107] y [SR0079A], descritas en la Tabla 6. Adicionalmente a las clases de tráfico de usuario, Mobile-IP RAN define una clase de señalización por defecto, aplicada a toda la señalización de red y de usuario (no asociada a servicio) en Mobile-IP RAN.

⁷³ Del inglés *precedence*, se refiere a la importancia o jerarquía relativa del usuario.

Clase de servicio	Atributos del tráfico asociado
Conversacional	Flujo bidireccional, requiere bajo retardo, baja pérdida de paquetes y baja variación del retardo. Tasa de datos fija con ancho de banda dependiente de la aplicación (por ejemplo una llamada de voz o video)
Streaming	Flujo unidireccional, requiere retardos acotados a un valor bajo, pero mayor que en la clase conversacional, menos sensible a las pérdidas de paquete y a la variación del retardo. Normalmente requiere una tasa de datos constante con un ancho de banda medio a alto dependiente de la aplicación (por ejemplo señal de televisión).
Interactivo	Flujo bidireccional, posiblemente asimétrico, soporta retardos medios a altos, permite pérdida de paquetes (que son corregidos por la aplicación). Tasa de datos variable, con comportamiento a ráfagas (por ejemplo mensajería instantánea).
Por defecto	Flujo bidireccional, típicamente asimétrico, sin valores acotados de calidad de servicio. Tasa de datos variable dependiente de la aplicación (navegación web, correo electrónico).
Señalización Mobile-IP RAN	Flujo bidireccional, requiere bajo retardo y baja pérdida de paquetes. No es susceptible a la variación del retardo. Tasa de datos variable dependiente del volumen de procedimientos en la interfaz.

Tabla 6 Atributos de las clases de servicio en Mobile-IP RAN

4.6.1 Perfil de usuario – Calidad de servicio

Mobile-IP RAN, como acceso (radio) de una red 4G, define un perfil de usuario que incluye las clases de servicio de usuario autorizadas a un usuario determinado. El objetivo de esta definición es que el RAG (en el enlace de subida) y el RMM (en el enlace de bajada) marquen los paquetes de usuario de acuerdo a un perfil de usuario definido.

Mobile-IP RAN no maneja calidades de servicios individuales, sino por tipo agregado de flujo, es decir, cada usuario es caracterizado como perteneciente a una clase de servicio y a un tipo de flujo determinado, en línea con otras arquitecturas de calidad de servicio en el acceso tales como [TS23107] y [SR0079A], con el objetivo de simplificar la gestión de la calidad de servicio en el acceso.

Mobile-IP RAN utiliza el mecanismo de precedencia para indicar la prioridad relativa de un usuario respecto al resto. La precedencia es utilizada por los nodos RAG y RMM, cuando en situación de una sobrecarga o falta de recursos, puedan determinar cuales recursos de usuario pueden ser liberados para solventar la situación.

El perfil de usuario en Mobile-IP RAN define cuales son las clases de servicio que el usuario tiene autorizadas. Por cada clase de servicio autorizada, se define la tasa de bit máxima, cuales son los tipos de flujo autorizados⁷⁴, la precedencia y los valores DSCP autorizados. Estos parámetros son comunicados desde la red troncal (servidor AAA) hasta el RA3c, RQoSb y RAG

⁷⁴ Los tipos de flujos definen grupos de parámetros que se aplican sobre la interfaz radio con el objeto de garantizar, por ejemplo, un número máximo de pérdida de paquetes o un retardo (o su variación) determinado, tal como se define en [XS0054-3].

durante el procedimiento de registro. Los siguientes parámetros definen el perfil del usuario de calidad de servicio en Mobile-IP RAN:

- Clase de servicio autorizada 1: Conversacional/streaming/interactivo/Por defecto
 - Por cada clase de servicio autorizada
 - Tasa de bit máxima autorizada
 - Identificadores de flujos autorizados
 - Precedencia
 - Valores DSCP autorizados
- Clase de servicios autorizada N: ...

Es de notar que los elementos de red Mobile-IP RAN tienen un perfil definido por configuración para la señalización Mobile-IP RAN, que se utilizará en todos los casos, por lo que los parámetros de esta clase de servicio no se señalizan durante el procedimiento de registro.

4.6.2 Arquitectura de calidad de servicio en Mobile-IP RAN

La arquitectura de calidad de servicio (QoS) en Mobile-IP RAN se incluye en el contexto de una arquitectura de calidad de servicio de red y usuario de una red Móvil 4G. En el contexto de esta tesis se ha utilizado la arquitectura de calidad de servicio especificada en MobyDick en [D0202], adaptada para proporcionar soporte a la calidad de servicio en la red de acceso tal y como está definida en las redes móviles (ver [XS0054-3] y [TS23107]).

La Figura 69 muestra la arquitectura de servicio Moby Dick extendida para el soporte de la red de acceso Mobile-IP RAN.

4.6.2.1 Funciones de los elementos Mobile-IP RAN en el soporte de la calidad de servicio

La Tabla 7 especifica un mapeo de las funciones de calidad de servicio y los distintos elementos de la red Mobile-IP RAN.

- El Gestor Regional de Calidad de Servicio (RQoSb, *Regional QoS Broker*) es el elemento central de la gestión de la calidad de servicio en Mobile-IP RAN. Es la entidad que realiza las configuraciones de los enrutadores de la red Mobile-IP RAN (RAG y RMM), a partir de las peticiones del QoS bróker de la red troncal.
- El RAG, como enrutador de acceso de la red Mobile-IP RAN es la entidad encargada de marcar los paquetes en el enlace terrestre de subida, así como mapear los parámetros de calidad de servicio requeridos a parámetros de la interfaz radio⁷⁵. Asimismo, el RAG realiza control de admisión sobre los recursos radio de la red y sus propios recursos ante

⁷⁵ La caracterización del mapeo de los parámetros genéricos de calidad de servicio a parámetros del enlace radio, depende de cada tecnología radio utilizada, y se encuentra fuera de los objetivos específicos de esta tesis. El proyecto europeo AROMA, presenta algunos ejemplos de esta caracterización para el sistema UMTS en [AROMAD05].

la petición de configuración del RQoSb. Durante el handover, el RAG origen indica al RQoSb, la realización del mismo⁷⁶.

- El RMM, como enrutador (de egreso) de la red Mobile-IP RAN es el encargado de marcar los paquetes que entran/salen desde/hacia la red troncal. Al igual que el RAG, el RMM aplica la política de calidad de servicio requerida por el RQoSb y realiza control de admisión de acuerdo a sus propios recursos y a los recursos de red (interfaz).
- El RA3c posee los parámetros de calidad de servicio del perfil de usuario, adquiridos durante el procedimiento de registro (desde el servidor AAA). El RQoSb, al ser requerido por el QoS Broker de la red troncal de aplicar una calidad de servicio determinada a un usuario, solicita al RA3c los valores del perfil de usuario. Con esto, el RQoSb conoce si la calidad de servicio que se solicita está de acuerdo con el perfil contratado por el usuario⁷⁷. De igual forma, el RA3c envía el perfil de usuario al RAG durante el procedimiento de registro. Este perfil es utilizado por el RAG durante el handover (como RAG origen) al incluirlo en el mensaje [COTP] Context Transfer Data (CTD).

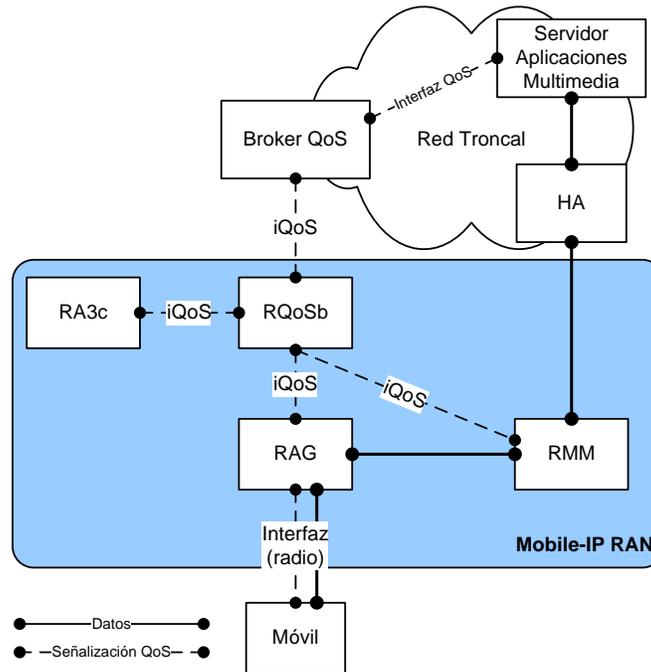


Figura 69 Arquitectura de calidad de servicio en Mobile-IP RAN

⁷⁶ Esto se realiza de acuerdo a [D0202], para permitir la implantación de algoritmos de gestión y planificación de recursos en el RQoSb. Este punto no es parte de los objetivos específicos de la tesis, considerándose parte de un posible trabajo futuro.

⁷⁷ Aunque el QoS Broker de la red troncal es considerada una entidad de confianza por el RQoSb, éste comprueba el perfil con el RA3c para permitir que existan políticas (perfiles) diferenciados en el acceso y en la red troncal (por ejemplo para el caso de redes de acceso compartidas o arrendadas). Los escenarios mostrados en esta tesis, consisten en perfiles únicos, es decir, donde el perfil de usuario del RA3c corresponde al perfil del usuario en el servidor AAA de la red troncal.

Función	Móvil	RAG	RMM	RQoSb	RA3c
Distribución del perfil de usuario					X
Gestión de la calidad de servicio asociada a los recursos		X (radio)		X	
Aplicación de políticas de calidad de servicio (radio y transporte)	X	X	X		
Gestión de la calidad de servicio en el handover		X			
Reporte de estadísticas de calidad de servicio		X	X	X	

Tabla 7 Mapeo de funciones de calidad de servicios a los elementos Mobile-IP RAN

4.6.3 Escenarios

4.6.3.1 Calidad de servicio durante el registro

Durante el procedimiento de registro, específicamente en la fase de autenticación y autorización, el RA3c envía al RQoSb, a través de la interfaz iQoS, el perfil de calidad de servicio del usuario, para que éste pueda utilizarlo en las peticiones de recursos de la red troncal y de los elementos de red Mobile-IP RAN. La sección 4.5.4.1 describe el escenario de autenticación y autorización, donde se muestra el envío del mensaje *[iQoS] REPORT STATE*, desde el RA3c al RQoS, que contiene el perfil de calidad de servicio del usuario.

A partir del momento de registro, los elementos de red utilizarán los parámetros de calidad de servicio definidos por defecto para la señalización Mobile-IP RAN hasta que se realice una petición de servicio, iniciada por el móvil o por la red.

4.6.3.2 Petición de servicio – Iniciado por el móvil

Una vez registrado, el móvil puede iniciar una sesión con un servidor de aplicaciones. En este escenario se utiliza como ejemplo un servidor de sesiones multimedia SIP.

Depende de la configuración de la red troncal si la reserva de recursos se realiza durante o después de la señalización del servicio, en este caso, la reserva se realiza durante el establecimiento la sesión.

1. El móvil envía el mensaje de establecimiento de la sesión *[SIP] INVITE*, indicando las características de la conexión en el SDP. El servidor de sesiones multimedia envía el mensaje *[SIP] TRYING* indicando que está contactando al usuario llamado.
2. Una vez que el usuario/servicio llamado es contactado y en conjunto con los elementos de la red troncal, determina los recursos de red necesarios (parámetros de calidad de servicio) e inicia el proceso de reserva de recursos para esta sesión, enviando el mensaje de reserva de recursos al Broker de calidad de servicio (QoS) de la red troncal. En este ejemplo se utiliza el mensaje *COPS DECISION (DEC)*, tal y como está especificado en [D0202]. El Broker QoS recibe el mensaje e inicia una petición de asignación de recursos al RQoS.

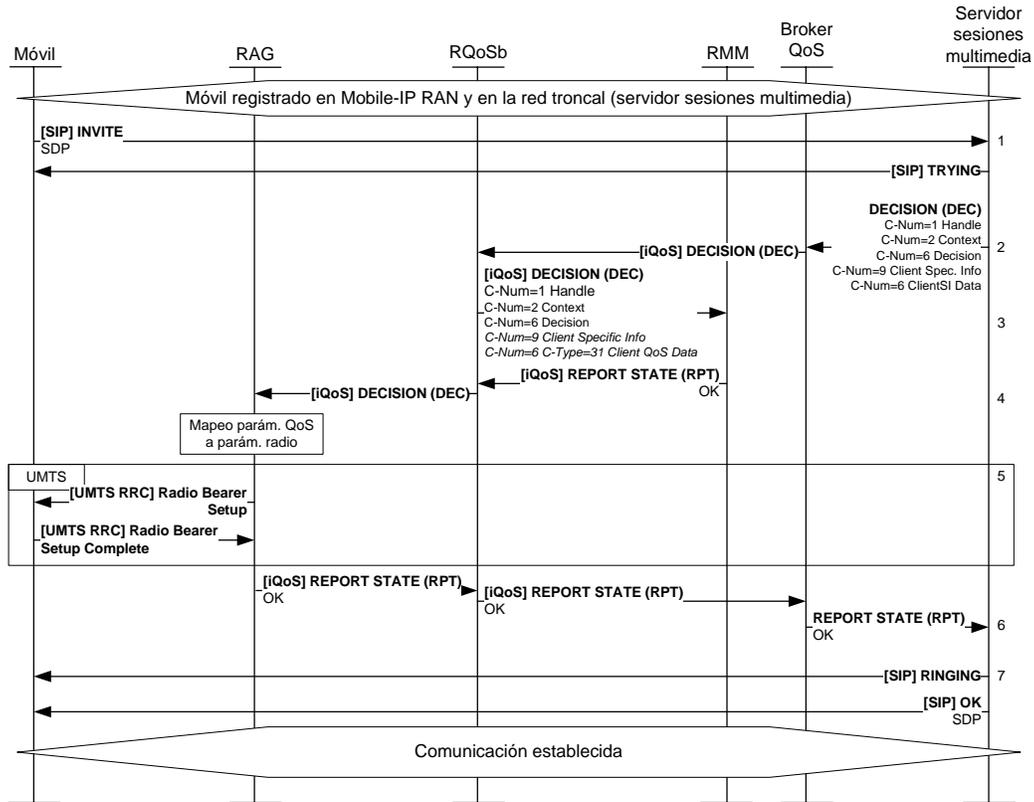


Figura 70 Procedimiento de petición de servicio – iniciado por el móvil

3. El RQoS**b** inicia el proceso de asignación de recursos reservando los recursos en los distintos elementos de red Mobile-IP RAN, comenzando por el RMM⁷⁸. El RQoS**b** envía el mensaje *[iQoS] DECISION (DEC)* al RMM, indicando la dirección del móvil (*Client Specific Info*) y los parámetros de calidad de servicio (*Client QoS Data*)⁷⁹. El RMM reserva los recursos y responde con el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)* indicando la reserva positiva de los recursos.
4. Una vez realizada con éxito la reserva en el RMM, el RQoS**b** inicia la reserva de recursos radio y de transporte en el RAG, enviando el (mismo) mensaje *[iQoS] DECISION (DEC)*. El RAG reserva los recursos de transporte y realiza el mapeo de los parámetros genéricos de calidad de servicio a los parámetros de la interfaz radio⁸⁰.
5. Una vez realizado el mapeo, el RAG reserva los recursos radio. Dependiendo de la tecnología radio, esta reserva puede involucrar señalización en el enlace radio para que

⁷⁸ Se ha tomado la decisión de que la reserva comience por el RMM, para que el procedimiento sea común para los casos de peticiones de sesión iniciados por el móvil o por la red. En la petición iniciada por la red (ver sección 4.6.3.3), el RMM debe iniciar el procedimiento de paging en caso que el móvil se encuentre en un estado de movilidad Disponible-Ahorro.

⁷⁹ Ver sección 4.4.9.3 para la definición del objeto *Client QoS Data*.

⁸⁰ Se asume que este mapeo es estático, dependiendo de la clase de servicio, del descriptor de Flujo (*Flow Descriptor*) y de la tasa de bits.

el móvil configure los parámetros del enlace radio que aseguren la calidad de servicio requerida. En este ejemplo, se utiliza un enlace radio UMTS, y se utiliza el mensaje *[UMTS RRC] Radio Bearer Setup*. Una vez realizada la configuración del enlace, el móvil responde con el mensaje *[UMTS RRC] Radio Bearer Setup Complete*.

6. Al completar la reserva de los recursos radio, el RAG responde con el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)* indicando al RQoSB la reserva positiva de los recursos radio y de transporte. El RQoSB, al completar la reserva de los recursos en la red Mobile-IP RAN responde al Broker QoS y este al servidor de sesiones SIP para completar la sesión, una vez han sido establecidos todos los recursos de red que aseguren la calidad de servicio necesaria.
7. Una vez establecidos los recursos, el servidor de sesiones SIP continúa el procedimiento de establecimiento de sesión, enviando el mensaje (opcional) *[SIP] RINGING* y el mensaje *[SIP] OK* de establecimiento de sesión (se omiten los mensajes de asentimiento/confirmación). A partir de este momento, la sesión multimedia está establecida.

4.6.3.3 Petición de servicio – Iniciado por la red

Una vez el móvil está registrado con la red troncal, ésta puede iniciar una sesión con el móvil. Dependiendo del estado de movilidad del mismo (ACTIVO, DISPONIBLE-Ahorro o LIBRE), la petición del servicio puede involucrar el procedimiento de paging.

1. El servidor de sesiones multimedia envía el mensaje de establecimiento de la sesión *[SIP] INVITE* al móvil, indicando las características de la conexión en el SDP.
2. Dependiendo del estado de movilidad del móvil, el Home Agent (estado LIBRE) o el RMM (estados Disponible-Ahorro) pueden iniciar el procedimiento de paging para inducir al móvil al estado ACTIVO y así poder procesar el mensaje *[SIP] INVITE*. Una vez recibido el mensaje *[SIP] INVITE*, el móvil envía el mensaje *[SIP] TRYING* indicando que está contactando al usuario llamado.
3. Una vez el servidor de sesiones ha recibido el mensaje *[SIP] TRYING* y en conjunto con los elementos de la red troncal, determina los recursos de red necesarios (parámetros de calidad de servicio) e inicia el proceso de reserva de recursos para esta sesión, enviando el mensaje de reserva de recursos al Broker de calidad de servicio (QoS) de la red troncal, de la misma forma que en el procedimiento de petición de servicio iniciado por el móvil (ver sección 4.6.3.2).
4. Al completar la reserva de los recursos radio, el RAG responde con el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)* indicando al RQoSB la reserva positiva de los recursos radio y de transporte. El RQoSB, al completar la reserva de los recursos en la red Mobile-IP RAN responde al Broker QoS y este al servidor de sesiones SIP para completar la sesión, una vez han sido establecidos todos los recursos de red que aseguren la calidad de servicio necesaria.
5. Una vez configurados los recursos radio en el móvil, éste responde con el mensaje *[SIP] RINGING* indicando que el dispositivo llamado está siendo avisado (sonando) y con el mensaje *[SIP] OK*, una vez que el usuario ha respondido. A partir de este momento, la sesión multimedia está establecida.

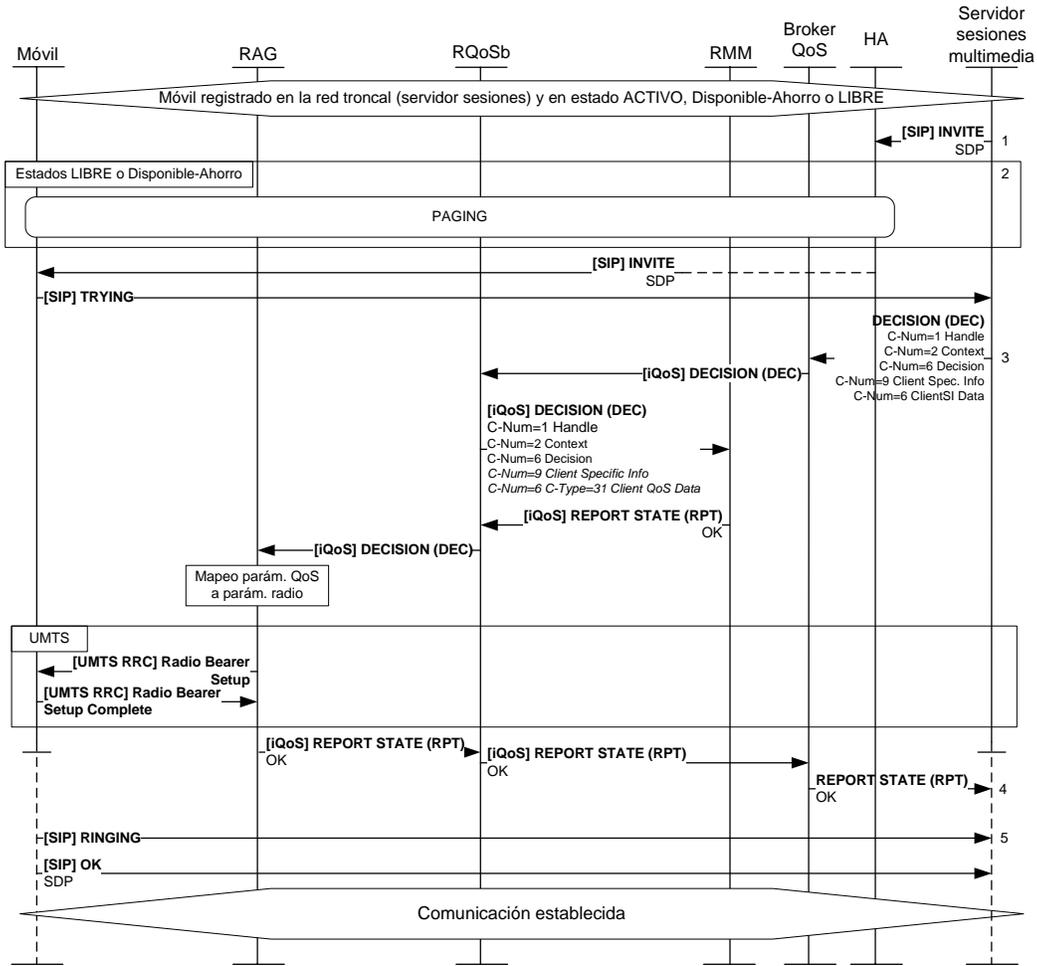


Figura 71 Procedimiento de petición de servicio – iniciado por la red

Es importante destacar que existe la probabilidad teórica, aunque pequeña, que en el caso de reserva durante la sesión (caso descrito aquí), el servidor de sesiones SIP reciba el mensaje *[SIP] OK* antes de recibir el mensaje *REPORT STATE (RPT)* indicando que los recursos han sido establecidos. El servidor de sesiones SIP debe asumir que los recursos han sido reservados en el enlace radio, y puede establecer un temporizador para recibir el mensaje *REPORT STATE (RPT)*. Si no se recibe, la comunicación debería cerrarse. Ya que este es un procedimiento comandado por la red troncal, al igual que en el caso iniciado por el móvil, el momento de la reserva de recursos depende de la configuración de la red troncal, que puede realizarse antes, durante o después de la señalización de establecimiento de la sesión del servicio.

4.6.3.4 Petición de autorización de servicio con precedencia

En este escenario, el móvil (con una precedencia alta) intenta acceder a los servicios de red. Al hacer la reserva de recursos, el RAG determina que no hay recursos disponibles, y decide liberar los recursos utilizados por otro móvil con menos precedencia.

1. El móvil (móvil_1) envía el mensaje de establecimiento de la sesión [SIP] INVITE, indicando las características de la conexión en el SDP. El servidor de sesiones multimedia envía el mensaje [SIP] TRYING indicando que está contactando al usuario llamado.
2. Una vez que el usuario/servicio llamado es contactado y en conjunto con los elementos de la red troncal, determina los recursos de red necesarios (parámetros de calidad de servicio) e inicia el proceso de reserva de recursos para esta sesión, de la misma forma que en el procedimiento de petición de servicio iniciado por el móvil (ver sección 4.6.3.2).
3. Una vez realizada con éxito la reserva en el RMM, el RQoSB inicia la reserva de recursos radio y de transporte en el RAG, enviando el (mismo) mensaje [iQoS] DECISION (DEC). En este caso, el RAG no tiene los recursos necesarios para satisfacer los requisitos de calidad de servicio para la conexión del usuario (móvil 1). Sin embargo, debido a su alta prioridad (precedencia), el RAG decide liberar recursos asociados con la conexión de otro móvil (móvil 2).

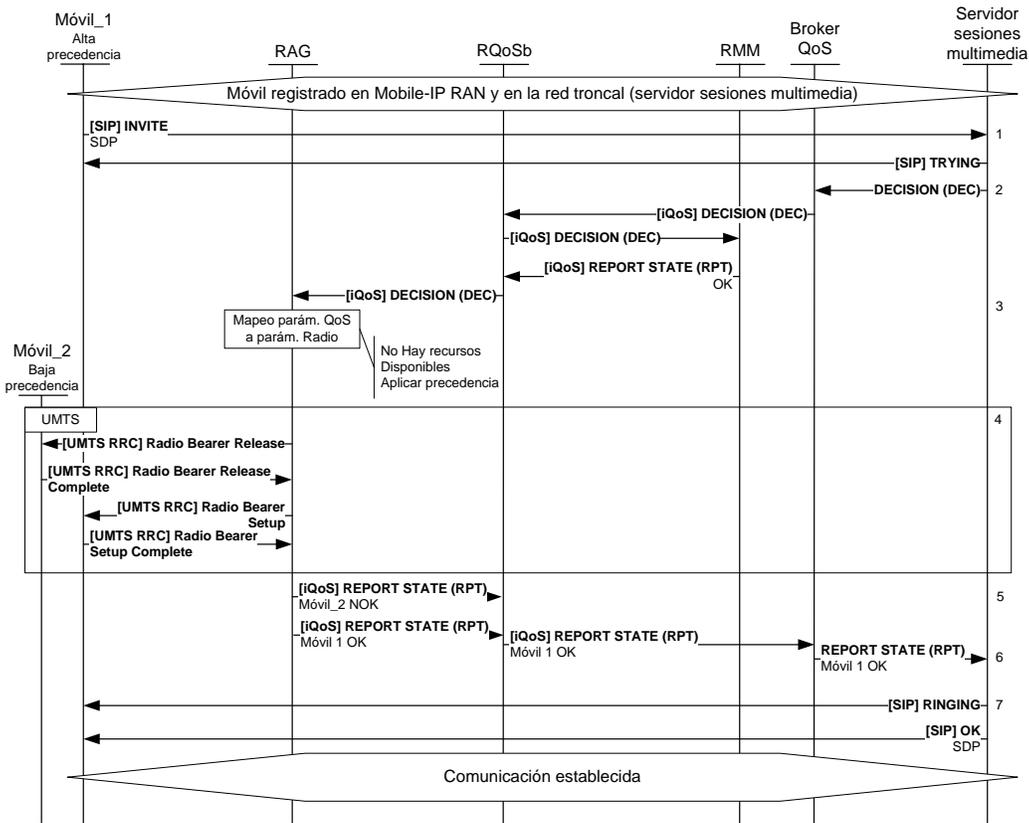


Figura 72 Procedimiento de petición de servicio iniciado por el móvil, con precedencia

4. Dependiendo de la tecnología radio, esta reasignación de recursos puede involucrar señalización en el enlace radio. En este ejemplo, se utiliza un enlace radio UMTS, y se utiliza el procedimiento RRC Radio Bearer Release (mensajes [UMTS RRC] Radio Bearer Release y [UMTS RRC] Radio Bearer Release Complete) para liberar los recursos del móvil de baja precedencia (móvil_2). Para la configuración del enlace en el móvil_1, se utiliza el mensaje [UMTS RRC] Radio Bearer Setup. Una vez realizada la

configuración del enlace, el móvil responde con el mensaje *[UMTS RRC] Radio Bearer Setup Complete*.

5. El RAG indica al RQoSb que los recursos reservados para el móvil_2 han sido liberados enviando el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)* indicando que los recursos reservados ya no están disponibles.
6. Al completar la reserva de los recursos radio para el móvil_1, el RAG responde con el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)* indicando al RQoSb la reserva positiva de los recursos radio y de transporte. El RQoSb, al completar la reserva de los recursos en la red Mobile-IP RAN responde al Broker QoS y este al servidor de sesiones SIP para completar la sesión, una vez han sido establecidos todos los recursos de red que aseguren la calidad de servicio necesaria.
7. Una vez establecidos los recursos, el servidor de sesiones SIP continúa el procedimiento de establecimiento de sesión, enviando el mensaje (opcional) *[SIP] RINGING* y el mensaje *[SIP] OK* de establecimiento de sesión (se omiten los mensajes de asentimiento/confirmación). A partir de este momento, la sesión multimedia está establecida.

4.6.3.5 Calidad de servicio durante el handover

Durante la preparación del handover, el RAG origen señala al RAG destino a través de la interfaz iRAG_H, los parámetros de calidad de servicios requeridos para la conexión del móvil. El RAG destino puede asignar los recursos directamente (para agilizar el tiempo de handover) o puede solicitar los recursos al RQoSb. Este procedimiento es considerado opcional ya que esta señalización sería de provecho de existir en el RQoSb un algoritmo de control de los recursos, de lo contrario, simplemente añadiría más retardo al procedimiento de handover. En este escenario, sólo se mencionan aquellos mensajes relevantes en la reserva de recursos. Para una completa descripción de la preparación del handover, ver la sección 4.9.5.1.2.

1. El RAG origen inicia la transferencia de los contextos AAA, de Calidad de servicio y del enlace radio, enviando el mensaje *[CXTP] Context Transfer Data (CTD)*.
2. El RAG destino, al recibir el contexto de calidad de servicio, decide iniciar una petición de recursos al RQoSb enviando el mensaje *[iQoS] REQUEST (REQ)* indicando la identificación del cliente y (opcionalmente) los datos de calidad de servicio del cliente.
3. El RQoSb decide que el RAG destino reserve los recursos mencionados (u otros modificados), enviando el mensaje *[iQoS] DECISION (DEC)*.
4. El RAG destino confirma la reserva de los recursos mencionados enviando el mensaje *[iQoS] REPORT STATE (RPT)*.
5. El RAG destino, al tener los recursos reservados, envía la respuesta con el mensaje *[CXTP] Context Transfer Data Reply (CTDR)*. Al recibir el mensaje, el RAG origen indica al móvil la ejecución del handover.

6. Una vez que se ejecuta el handover, el RAG origen envía al RQoS un reporte de ejecución del handover, con el mensaje *[iQoS] FHO REPORT*⁸¹.

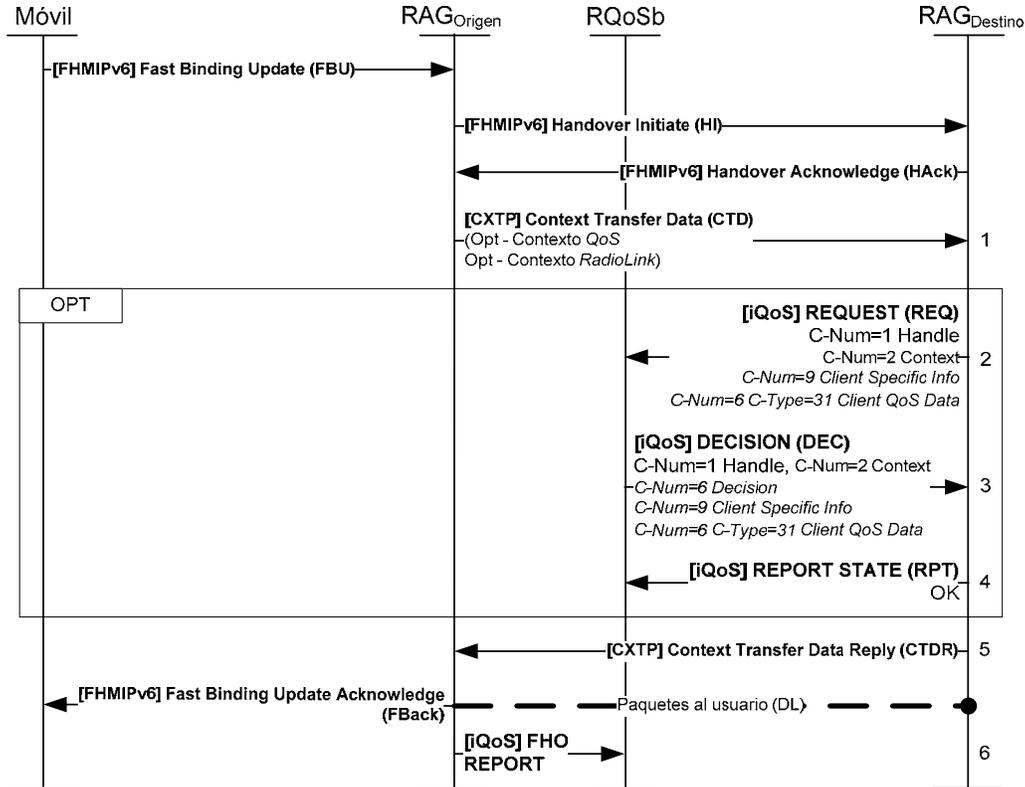


Figura 73 Procedimiento de reserva de recursos durante el handover en Mobile-IP RAN

4.7 Modelo de Gestión de los Recursos Radio en Mobile-IP RAN

La gestión de los recursos radio es uno de los aspectos más importantes en la gestión de la calidad de servicio y de la capacidad de la red de acceso móvil. Mobile-IP RAN incluye en su arquitectura el soporte a la gestión de recursos radio. Este modelo está basado en el modelo funcional de gestión de los recursos radio descrita en [TR25881] y [TR25891], y en el modelo de gestión global de recursos descrito en [CAUTIOND21].

El modelo de gestión de los recursos radio en Mobile-IP RAN define una función de gestión de recursos radio individuales (conocida como RRM, *Radio Resource Management*) y una función de gestión y coordinación de un grupo de recursos radio (conocida como CRRM – *Common RMM*)⁸².

⁸¹ El mensaje *[iQoS] FHO REPORT* está definido en [D0202]. En Mobile-IP RAN este mensaje se utiliza para indicar que el móvil ha abandonado el RAG y que sus recursos han sido liberados, por lo que la información que contiene el mensaje se limita al tipo de mensaje (*FHO REPORT*) y a la identificación del móvil.

⁸² Para mayor información, ver [TR25891].

- La función RRM es la responsable de la gestión de recursos radio considerados individuales, que están típicamente asociados a una célula o punto de acceso o grupo de células pertenecientes a una misma estación base o punto de acceso.
- La función CRRM es responsable de la gestión RRM de un grupo de recursos considerados independientes. Este grupo de recursos puede tener la misma o diferente naturaleza (por ejemplo diferentes tecnologías radio). En Mobile-IP RAN, la función CRRM coordina recursos que pertenecen a distintas tecnologías (por ejemplo cdma2000, WiMAX, UMTS, WLAN).

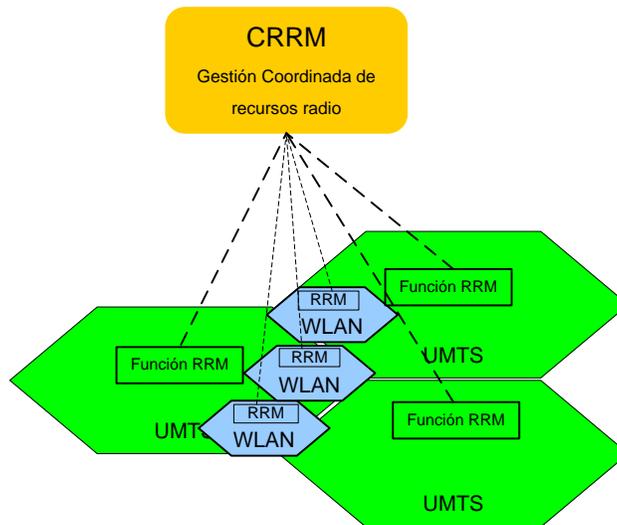


Figura 74 Modelo de gestión de recursos radio, utilizando UMTS y WLAN

En el modelo de gestión de recursos radio de Mobile-IP RAN, la función RRM gestiona las funciones de los recursos individuales (considerados locales por estar ubicados en la misma estación base), y la función CRRM, basada en las medidas de la(s) función(es) RRM y de sus algoritmos de gestión, indica a la función RRM acciones para cambiar el estado de los recursos locales, con el objeto de mejorar los indicadores de la red Mobile-IP RAN (y con esto mejorar los indicadores globales de la red móvil). Estos indicadores incluyen por ejemplo, la carga de la red radio, interferencia, pérdida de tramas radio, tasa de bloqueo de canales, etc.

4.7.1 Arquitectura de Gestión de los Recursos Radio en Mobile-IP RAN

La Figura 75 muestra la arquitectura de gestión de los recursos radio en Mobile-IP RAN.

- El RAG es el elemento encargado de realizar las funciones de gestión de los recursos radio asociados a él (función RRM).
- El Gestor de Recursos Regionales (RRM, *Regional Resource Manager*) es el encargado de las funciones de gestión de los recursos radio comunes (función CRRM). Adicionalmente el RRM se posiciona dentro de la arquitectura CAUTION++ (para la gestión global de la red móvil) como una unidad de monitorización de tráfico de interfaz (ITMU, *Interface Traffic Monitoring Unit*), que reporta el estado de los principales

indicadores del desempeño de la red Mobile-IP RAN (como red de acceso), a la unidad de gestión de recursos (RMU) de la arquitectura CAUTION++⁸³.

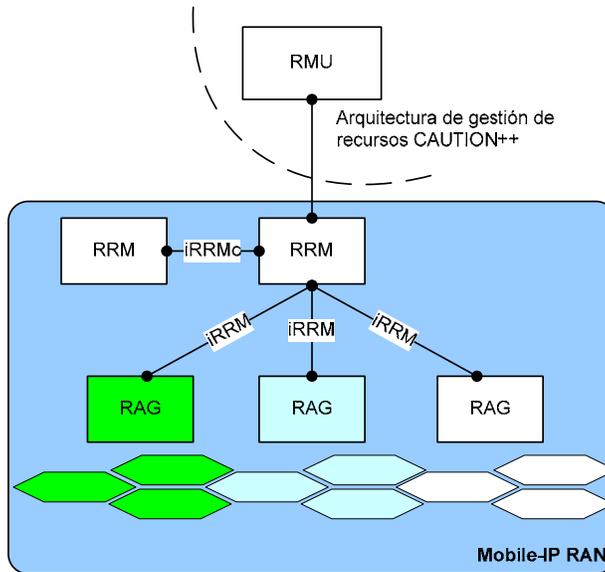


Figura 75 Arquitectura de gestión de recursos radio en Mobile-IP RAN

4.7.1.1 Funciones de los elementos Mobile-IP RAN en el soporte de la gestión de recursos radio

La arquitectura de gestión de recursos radio de Mobile-IP RAN especifica el mapeo de las funciones de gestión de los recursos radio y los distintos elementos de red. La Tabla 8 muestra el mapeo de las funciones de gestión de recursos radio a los distintos elementos de red Mobile-IP RAN.

4.7.2 Procedimientos

Mobile-IP RAN especifica una serie de procedimientos para la gestión coordinada de sus recursos radio. Estos procedimientos están basados en los mensajes definidos para las interfaces iRRM e iRRMc (ver sección 4.4.5).

4.7.2.1 Configuración

El procedimiento de configuración es utilizado por el RAG durante el proceso de inicialización (y posterior al descubrimiento del servicio RRM por parte del RAG, ver sección 4.11) para solicitar al RRM la configuración de los parámetros de sus algoritmos de gestión de los recursos radio.

⁸³ Para más información, ver [CAUTIOND61].

Función	RAG	RRM	Fuera de Mobile-IP RAN	Comentarios
Gestión de los recursos locales				
Gestión de medidas del móvil	X			
Control de parámetros radio (control de potencia, códigos, etc)	X			
Mapeo parámetros QoS a parámetros radio	X			
Control de admisión	X	Opc.		La gestión de los recursos locales por el RRM depende de que éste implemente los algoritmos de gestión de los recursos locales.
Gestión de movilidad (handover)	X	Opc.		
Control de congestión	X	Opc.		
Gestión/coordinación de grupo de recursos				
Gestión de medidas de recursos		X		
Asistencia en el handover		X		
Selección de tecnología radio (acceso)	X	X		El RRM distribuye al RAG los valores de los parámetros relacionados con la selección de tecnología radio.
Gestión de indicadores generales de desempeño de red troncal			X	Función del RMU en la arquitectura CAUTION++

Tabla 8 Mapeo de funciones RRM a los elementos de red Mobile-IP RAN

El procedimiento inicia con el RAG enviando el mensaje *[iRRM] Resource Configuration Request*, indicando el(los) recurso(s) a configurar. El RRM responde con el mensaje *[iRRM] Resource Configuration Command* indicando el valor de los parámetros de los algoritmos de gestión de los recursos radio en el RAG. El RAG asiente la recepción del mensaje con el mensaje *[iRRM] Resource Configuration Acknowledge*.

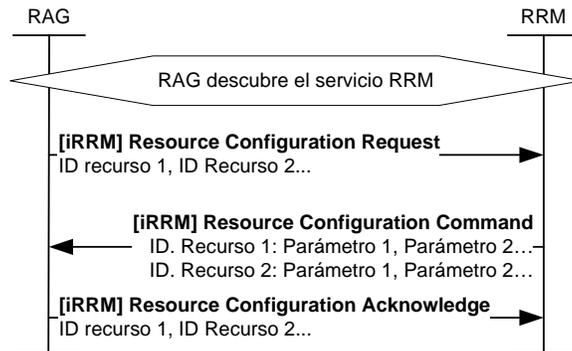


Figura 76 Procedimiento de configuración de algoritmos RRM

4.7.2.2 Medidas

El procedimiento de medidas es utilizado por el servidor RRM para solicitar al RAG información sobre el estado de los indicadores del desempeño de uno o más recursos gestionados por el RAG. El RRM inicia el procedimiento enviando el mensaje *[iRRM] Measurement Request* indicando el(los) recurso(s), el tipo de medida (por ejemplo nivel de carga) y las características del reporte (periódica, por evento, etc.). El RAG responde con uno o más mensajes *[iRRM] Measurement Report* indicando el valor de los indicadores para cada uno de los recursos.

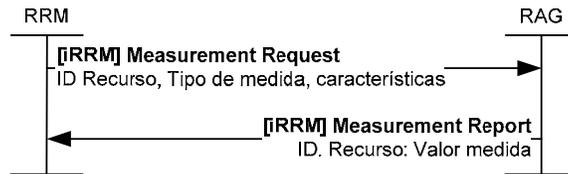


Figura 77 Procedimiento de reporte de medidas de recursos radio

El procedimiento de reporte de medidas también puede ser utilizado entre RRM, sobre la interfaz iRRMc, para solicitar información sobre uno o más recursos que se encuentran bajo la jerarquía del RRM vecino.

4.7.2.3 Procedimiento de asistencia

El procedimiento de asistencia es utilizado por el RAG para solicitar la asistencia del RRM en la toma de una decisión que puede afectar los recursos de otro RAG (por ejemplo un handover o la selección de la tecnología radio/otro RAG).

El RAG inicia el proceso enviando el mensaje *[iRRM] Assistance Request*, indicando el recurso asociado, el evento (por ejemplo handover vertical) e información adicional (por ejemplo la lista de vecinos para el handover y el descriptor de flujo (QoS) del servicio asociado al handover o la velocidad del móvil). El RRM a través de sus algoritmos proporciona la información de asistencia (por ejemplo la lista de vecinos ordenada por prioridad de handover) en el mensaje *[iRRM] Assistance Response*.



Figura 78 Procedimiento de asistencia

4.7.2.4 Procedimiento de comando de gestión de recursos

El procedimiento de comando de gestión de recursos es utilizado por el RRM para indicar al RAG que debe ejecutar una acción sobre el recursos (por ejemplo disminuir la carga en la célula). El RAG, al recibir el comando, realizará las acciones necesarias (de acuerdo a sus propios algoritmos), para alcanzar el valor objetivo indicado en el comando.

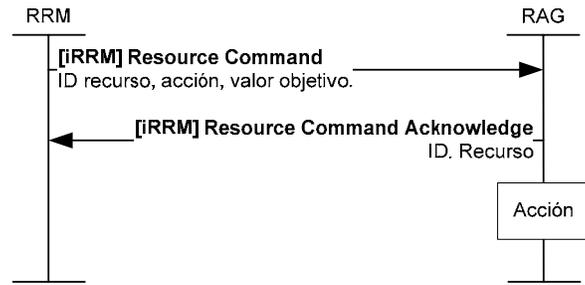


Figura 79 Procedimiento de comando de gestión de recursos

El RRM inicia el procedimiento con el mensaje *[iRRM] Resource Command*, indicando el recurso, la acción y el valor objetivo (por ejemplo, disminuir la carga en la célula al 60%). El RAG, al recibir el mensaje, responde con el mensaje *[iRRM] Resource Command Acknowledge* para asentar la recepción del mensaje. El RAG entonces iniciará las acciones necesarias para cumplir con el comando del RRM⁸⁴.

4.8 Direccionamiento en Mobile-IP RAN

El direccionamiento en Mobile-IP RAN está basado en la arquitectura definida en [RFC4291] y adaptada al entorno jerárquico de la red Mobile-IP RAN, siguiendo el concepto de [Shah2004]⁸⁵.

- El móvil crea la LCoA como una dirección unicast global, con la configuración que se muestra en la Figura 80.

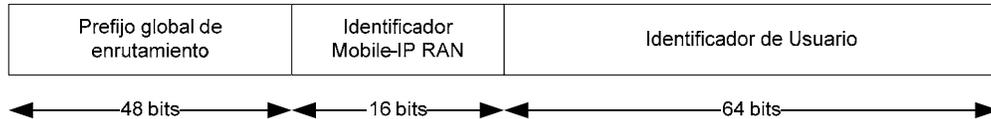


Figura 80 Formato de dirección CoA en Mobile-IP RAN

- El identificador global de enrutamiento es asignado al/por el operador.
- El identificador Mobile-IP RAN del RAG (RAG-ID) corresponde a un identificador único del RAG en el RMM. Su función es evitar la duplicación de direcciones entre distintos RAGs (en el RMM) cuando el móvil crea la LCoA.
- El identificador de usuario permite identificar la interfaz del usuario unívocamente. El móvil puede generar este identificador a partir de otros identificadores permanentes, tales como el IMSI, la dirección MAC, etc⁸⁶. El

⁸⁴ Nótese que el RAG responde inmediatamente a la recepción del mensaje *[iRRM] Resource Command*. Se entiende que la acción necesaria para la modificación de los recursos (carga en el ejemplo) se ejecutará durante un plazo mayor de tiempo. El RRM evaluará el éxito del comando a través del análisis de los (nuevos) reportes de las medidas recibidas.

⁸⁵ Como se mencionó en la discusión del estado del arte, no es posible la utilización directa de la propuesta [Shah2004] al haber cambiado la arquitectura de direccionamiento IPv6 [RFC4291], sin embargo. Mobile-IP RAN sigue los principios de [Shah2004] pero adaptados a la arquitectura actual de direcciones IPv6.

⁸⁶ El estudio de los algoritmos de creación del identificador de usuario a partir de los identificadores permanentes implica dos aspectos: potencia de procesamiento y privacidad de la ubicación del usuario. El Apéndice A de [RFC4291] describe algunos ejemplos de mapeo. Sin embargo estos no cumplen con el requisito de privacidad de la

objeto de este identificador es evitar la duplicación de direcciones bajo un mismo RAG cuando el móvil crea la LCoA.

- Para la creación de la RCoA, el móvil utiliza el prefijo de enrutamiento global y el identificador Mobile-IP RAN del RMM (RMM-ID), tal como se define en [HMIPv6]. Cabe destacar que este prefijo de enrutamiento global puede ser distinto al utilizado para la creación de la LCoA.

Los identificadores de Mobile-IP RAN para el RAG (RAG-ID) y el RMM (RMM-ID) son proporcionados al móvil a través del mensaje de difusión del sistema o del mensaje *Router Advertisement*. En modo LIBRE, en aquellas redes que no soporten difusión de información del sistema, el móvil debe obtener conectividad IP básica para poder leer el mensaje *Router Advertisement*.

4.9 Movilidad en Mobile-IP RAN

El modelo y los procedimientos de movilidad de movilidad en Mobile-IP RAN permiten al móvil mantener conectividad con la red troncal, en distintos escenarios de movilidad y actividad del móvil, al mismo tiempo que se optimiza la reserva de recursos de la red radio.

4.9.1 Modelo de Movilidad

Mobile-IP RAN define 4 estados de movilidad en la red de acceso. La Figura 81 muestra el diagrama de transición de estados de movilidad.

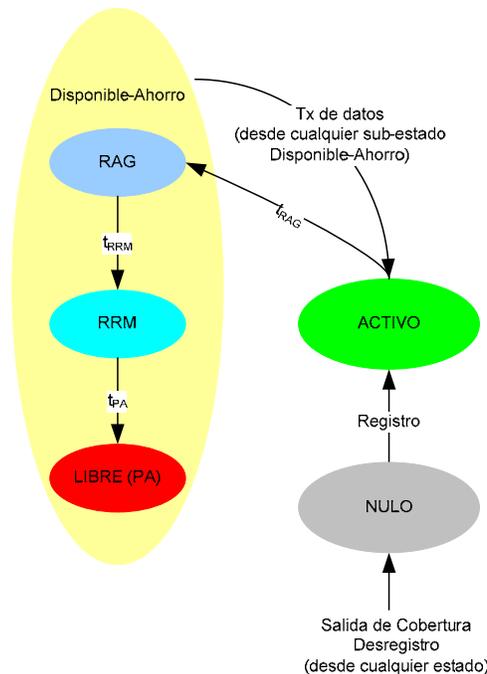


Figura 81 Transiciones entre los estados de movilidad radio (red y móvil)

ubicación del usuario. Queda por determinar, en un trabajo futuro, ejemplos de algoritmos que permitan este mapeo de una forma sencilla y con el nivel de seguridad adecuado.

1. NULO: La red no conoce la ubicación del terminal. No es posible enviar datos al móvil ni recibir datos del mismo. El móvil entra en este estado cuando se desregistra (por ejemplo apaga el terminal) o cuando sale fuera de cobertura.
2. Disponible-Ahorro: La red conoce la ubicación del terminal, dentro de la red de acceso. En este estado no es posible enviar datos al móvil aunque sí es posible recibir datos de la red, a través del procedimiento de paging. El móvil pasa al estado Disponible-Ahorro desde el estado ACTIVO. Existen dos sub-estados en el estado Disponible-ahorro:
 - a. A nivel de RAG (Disponible-Ahorro RAG): La red (es decir el RMM) conoce la ubicación del Terminal a nivel del RAG. Se pasa a este sub-estado a partir del ACTIVO, una vez cumplido el tiempo de inactividad (t_{RAG}) en el terminal. Para enviar datos al móvil, el agente de paging de la red troncal envía el mensaje de paging al RMM, desde allí es enviado al RAG donde se encuentra el móvil.
 - b. A nivel del RMM (Disponible-Ahorro RMM): El agente de paging de la red troncal conoce el RMM donde se encuentra el móvil. El RMM no conoce el RAG donde se encuentra el móvil así que realiza el paging sobre todos los RAG que se encuentran bajo su jerarquía⁸⁷. Se pasa a este sub-estado, una vez cumplido el tiempo de inactividad en el sub-estado de Disponible-Ahorro RAG (t_{RMM}).
3. ACTIVO: La red conoce la ubicación del móvil, y además el mismo está actualmente activo, transmitiendo información.
4. LIBRE: El móvil está disponible a nivel del paging agent de la red troncal: El agente de paging no conoce el RMM donde se encuentra el Terminal, así que envía un paging a todos los RMM bajo su dominio. Se pasa a este estado, una vez cumplido el tiempo de inactividad en el sub-estado Disponible-Ahorro RMM (t_{PA}) en el Terminal.

4.9.2 Registro en Mobile-IP RAN

Mediante el procedimiento de registro, el móvil adquiere la conectividad Mobile-IP RAN. El registro consiste en adquirir el acceso radio, la autenticación y autorización de acceso a la red y la actualización de la localización en el RMM.

La Figura 82 muestra el procedimiento de registro en Mobile-IP RAN, destacando los procedimientos de Autenticación y Autorización (ver sección 4.5.4.1), y actualización de la localización (ver sección 4.9.3).

1. El móvil establece la conexión radio con el RAG, a través de los métodos específicos de cada tecnología radio (por ejemplo establecimiento de la conexión RRC).
2. Una vez adquirido el acceso radio, se realiza el procedimiento de autenticación y autorización Mobile-IP RAN. A partir de este momento el móvil está autorizado para acceder a los servicios de la red Mobile-IP RAN. Este procedimiento se describe en la sección 4.5.4.1.
3. El móvil realiza el procedimiento de actualización de la localización para adquirir conectividad de red.

⁸⁷ Esta tesis no especifica el algoritmo del área de paging, es decir, cómo el RMM realiza el paging a todos los RAGs bajo su dominio.

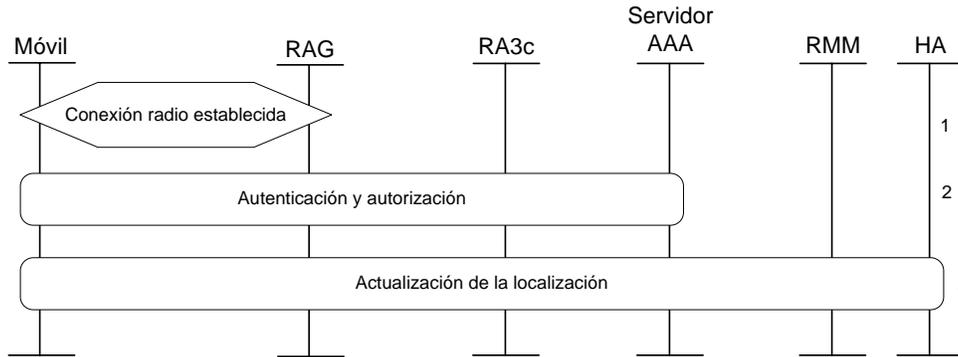


Figura 82 Procedimiento de registro en Mobile-IP RAN

4.9.3 Actualización de localización en Mobile-IP RAN

La actualización de localización en Mobile-IP RAN se realiza en los siguientes eventos:

- Como parte del procedimiento de registro, cuando el móvil está en estado NULO.
- Al cambiar de área de localización: al cambiar de RAG si el móvil se encuentra en estado Disponible-Ahorro RAG o al cambiar de RMM si el móvil se encuentra en estado Disponible-Ahorro RMM.
- De forma periódica, iniciada por el móvil.
- Cuando lo indica la red, a través del mensaje [MIP-RAN] PAGING, indicando como el origen una petición de actualización de localización. La sección 4.9.4 describe el procedimiento de actualización de localización como respuesta al paging.

Como se menciona en la sección 4.3.1 la actualización de localización en Mobile-IP RAN sigue el procedimiento de Binding Update de [HMIPv6]. La Figura 83 muestra el escenario general del procedimiento de actualización de la localización, tomando como ejemplo un RAG con acceso UMTS.

1. El RAG UMTS, a través de su función de mapeo, extrae la información del RMM y HA, y lo envía al móvil a través del mensaje [UMTS RRC] System Information, en el Bloque Mobile-IP RAN propuesto⁸⁸. En este ejemplo, el usuario se encuentra en cualquier estado ahorro (Disponible-Ahorro RAG o Disponible-Ahorro RMM) sin recursos radio asociados, por lo que este mensaje se recibe a través del canal de difusión BCCH. En otras tecnologías de acceso donde no hay un canal de comunicación en modo ahorro, tales como [802.11], el RAG (sin función de mapeo) envía el mensaje Router Advertisement⁸⁹ con la opción Mobile-IP RAN al móvil.

⁸⁸ El Apéndice A muestra el contenido del bloque propuesto para el mensaje de información del sistema UMTS

⁸⁹ En la arquitectura Mobile-IP RAN, el RAG puede adquirir la información de la red, que se incluye en el mensaje Router Advertisement, a través de la arquitectura de descubrimiento de servicios (o a través del centro de operación y mantenimiento en caso que no se utilice la arquitectura de descubrimiento de servicios). Para la información del Home Agent, es posible la utilización de algún otro mecanismo/protocolo para proporcionar esta información al móvil. En el caso de que la red Mobile-IP RAN esté compartida por múltiples proveedores (con sus HA), es posible que el móvil, durante su acceso a la red troncal, obtenga la dirección de su Home Agent a través del servidor AAA (a través del mecanismo conocido como Mobile-IPv6 bootstrapping).

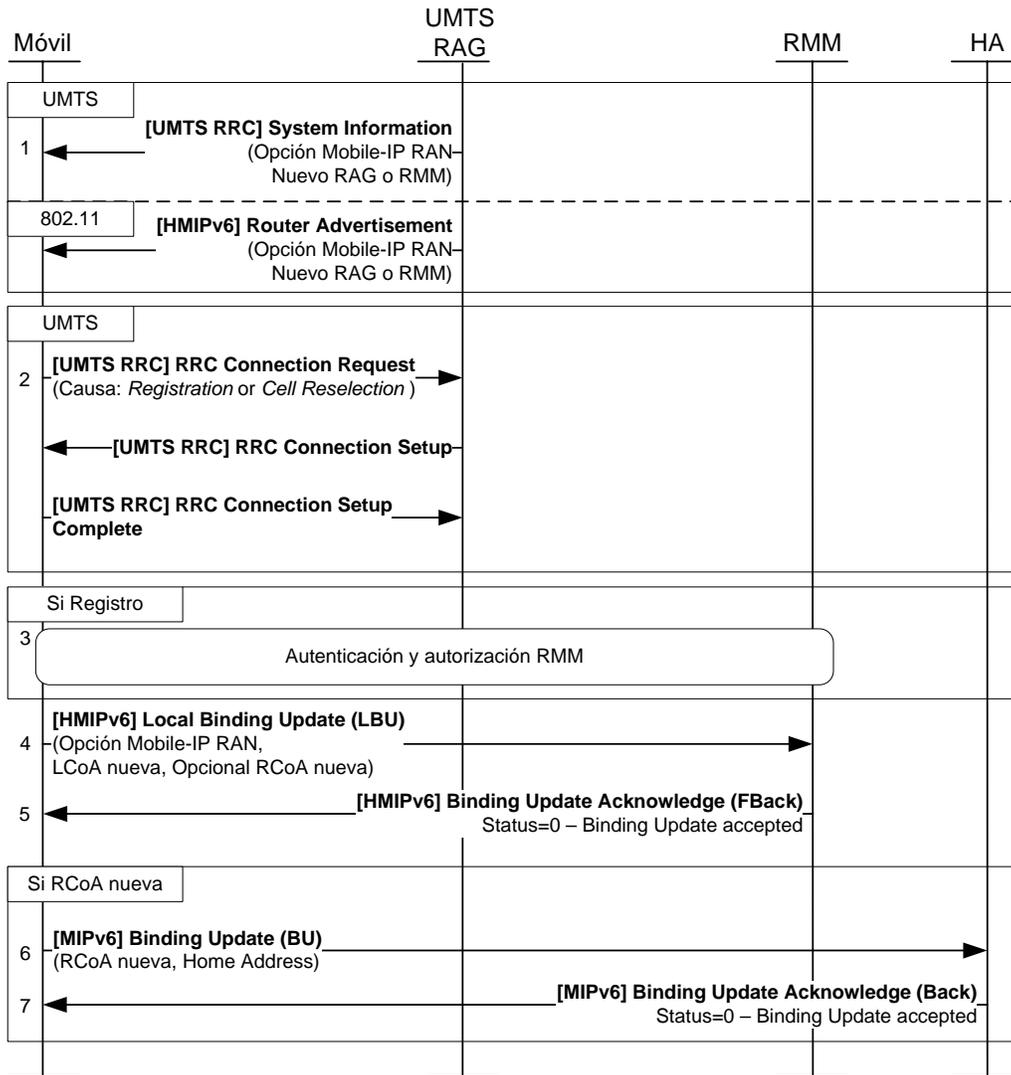


Figura 83 Escenario de actualización de la localización

2. En el caso de acceso UMTS, el móvil inicia el proceso de actualización de la localización (ya sea por un nuevo indicador de RAG o de RMM) enviando el mensaje *UMTS RRC Connection Request*, indicando la causa, ya sea un registro o una actualización de la localización. El RAG asigna un canal de control dedicado para continuar el proceso de registro, a través del mensaje *UMTS RRC Connection Setup* y el móvil asiente enviando el mensaje *RRC Connection Setup Complete*.
3. En caso de registro (y opcionalmente en el caso de una actualización de la localización), el móvil inicia el procedimiento de autenticación, y autorización con el RMM. El objetivo

de esta (doble) autenticación y autorización es permitir al móvil el acceso a la red troncal y el uso de los servicios de movilidad de Mobile-IP RAN⁹⁰.

4. El móvil forma una LCoA y posiblemente una RCoA (si es un nuevo RMM), utilizando los prefijos recibidos y de acuerdo al direccionamiento propuesto en 4.7, y envía un mensaje *[HMIPv6] Local Binding Update* al RMM indicando la opción Mobile-IP RAN⁹¹. La RCoA se incluye en la opción *Home Address* y la LCoA es la dirección origen del BU.
5. El RMM crea la nueva relación RCoA-LCoA y envía un *[HMIPv6] Binding Acknowledgement* al móvil. A partir de este momento, todos los paquetes que se transfieran desde/hasta el móvil, pasarán por el RMM.
6. Si el móvil ha cambiado de RCoA, el móvil, una vez recibido al asentimiento, envía el mensaje *[MIPv6] Binding Update* al Home Agent utilizando la RCoA como *Care-of-Address* y su Home Address en el campo *Home Address*.
7. El Home Agent envía el asentimiento al móvil a través de un mensaje *[MIPv6] Binding Update Acknowledgement*. El proceso de *Binding Update* se puede repetir con los nodos con los que mantiene comunicación.

Desde este momento el móvil pasa al estado ACTIVO, listo para enviar y/o recibir datos.

4.9.4 Paging (Aviso) en Mobile-IP RAN

El paging en Mobile-IP RAN, se utiliza para ubicar al móvil e indicarle una futura interacción (por ejemplo actualizar su localización o iniciar una sesión), cuando éste se encuentra en un estado NO ACTIVO, es decir Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM o LIBRE. Si el móvil se encuentra en el estado ACTIVO, la red Mobile-IP RAN simplemente reenvía los paquetes al móvil a través de su conexión activa.

Estado de Movilidad	Inicio Paging Mobile-IP RAN	Inicio paging red troncal
ACTIVO	No hay paging	Posible
Disponible-Ahorro RAG	Si	Posible
Disponible-Ahorro RMM	Si	Posible
LIBRE	No	Si

Tabla 9 Inicio de paging al móvil dependiendo del estado de movilidad

Dependiendo del estado de movilidad, el paging en Mobile-IP RAN puede iniciarse en la propia red Mobile-IP RAN o en la red troncal. La Tabla 9 muestra el origen del paging, dependiendo del estado de movilidad. La misma muestra que la red troncal puede hacer paging al móvil en cualquier momento (siendo el paging opcional en estados ACTIVO y Disponible-Ahorro y

⁹⁰ No confundir este procedimiento con el de autenticación y autorización en el acceso. Ver sección 4.5 para más información sobre los procedimientos AAA en Mobile-IP RAN. El procedimiento de autenticación y autorización con el RMM se describe en la sección 4.5.4.2.

⁹¹ Esta opción se introduce por compatibilidad, sirve para que el móvil indique al RMM que soporta la funcionalidad Mobile-IP RAN (actualización de la localización, paging, handover, etc.).

obligatorio en el estado LIBRE), mientras que la red Mobile-IP RAN solo puede iniciar paging al móvil en los estados Disponible-Ahorro RAG y Disponible-Ahorro RMM. En el estado LIBRE, la red Mobile-IP RAN solo puede hacer paging al móvil, al recibir un paging de la red troncal que debe ser difundido a través de sus interfaces.

4.9.4.1 Tipos de paging en Mobile-IP RAN

En Mobile-IP RAN existen dos tipos de paging:

- Iniciado por la red Mobile-IP RAN: Este tipo de paging se utiliza para avisar al móvil que se encuentra en un estado Disponible-Ahorro RAG o Disponible-Ahorro RMM. Un ejemplo de este tipo de paging es que el HA envíe paquetes destinados al móvil, mientras éste se encuentra en estado Disponible-Ahorro RAG. En este tipo de paging el móvil es identificado por su LCoA en el estado Disponible-Ahorro RAG y por su RCoA en el estado Disponible-Ahorro RMM.
- Iniciado por la red troncal: Este tipo de paging es utilizado por la red troncal para avisar al móvil cuando éste se encuentra en el estado LIBRE. En este tipo de paging, el móvil es identificado por su *Home Address*⁹².

La Tabla 10 resume las identidades del móvil utilizadas en el paging de Mobile-IP RAN.

Estado	Identidad del móvil en el paging
ACTIVO	No hay paging
Disponible-Ahorro RAG	LCoA
Disponible-Ahorro RMM	RCoA
LIBRE	<i>Home Address</i>

Tabla 10 Identidades del móvil en el paging de Mobile-IP RAN

4.9.4.2 Relación e interacción entre el paging en Mobile-IP RAN y otras tecnologías radio

Uno de los requisitos que debe cumplir el paging en Mobile-IP RAN es su integración con las tecnologías radio existentes, para evitar la redundancia en la señalización y también minimizar el impacto en la señalización en el móvil. La Tabla 11 muestra la relación entre el paging en Mobile-IP RAN y el paging en varias tecnologías radio que soportan la funcionalidad de paging.

Una de las principales características del paging en Mobile-IP RAN, compartida por la tecnología LTE, es que no existe el paging en el modo activo, ya que se considera que existe un único dominio multimedia de red troncal⁹³.

⁹² Dirección IP en la red origen. Mobile-IP RAN asume que la red troncal 4G especifica el paging basado en la *Home Address*.

⁹³ Por ejemplo, en UMTS existe el paging en modo conectado para poder coordinar en el móvil, la sesión en el dominio de conmutación de circuitos, con las sesiones en el dominio de conmutación de paquetes.

Tipos de paging	Mobile-IP RAN	UMTS	cdma2000	LTE
Paging modo conectado	No hay paging	Paging Type 2 Conexión RRC activa	Page message	No hay paging
Paging modo durmiente	Paging iniciado por Mobile-IP RAN	Paging Type 1 Sin conexión RRC	Page message	Paging sobre el área de búsqueda
Paging modo disponible	Paging iniciado por la red troncal	Paging iniciado por la red troncal	Paging iniciado por la red troncal	Paging iniciado por la red troncal

Tabla 11 Tipos de paging respecto al estado general de movilidad para distintas tecnologías radio

Para una mejor interacción entre el paging en Mobile-IP RAN y el de las tecnologías radio, se añade una función de mapeo de paging en el RAG. Esta función mapea el mensaje de paging recibido del RMM al protocolo de la interfaz (radio) donde va a difundir el mensaje (por ejemplo cdma2000 o UMTS). La Figura 84 muestra un ejemplo de la señalización debido a la función de mapeo en el RAG con interfaz UMTS.

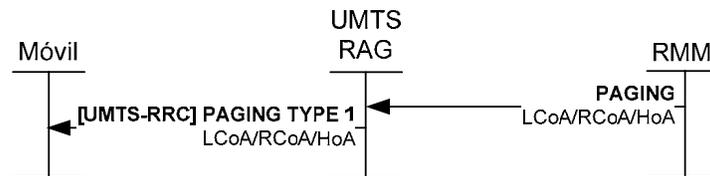


Figura 84 Señalización de inicio de paging en un RAG UMTS

4.9.4.3 Escenarios de paging

Los siguientes escenarios muestran el procedimiento de paging en los diferentes estados de movilidad Mobile-IP RAN para los que el paging es aplicable: Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y estado LIBRE. Los escenarios muestran la señalización utilizada en la interfaz radio para el sistema UMTS, cdma2000 y un entorno genérico WLAN sin soporte nativo a paging, en el que se utiliza la extensión del mensaje *[HMIPv6] Router Advertisement* propuesta en la sección 4.4.9.1.

4.9.4.3.1 Paging en estado Disponible-Ahorro RAG

En el paging en estado Disponible-Ahorro RAG, el móvil es identificado por su dirección LCoA.

1. El Home Agent, envía paquetes destinados a la RCoA del usuario al RMM. El RMM, al recibir el primer mensaje inicia el procedimiento de paging enviando el mensaje *[MIP RAN] PAGING* al RAG donde se encuentra el móvil e indicando la LCoA como dirección de aviso del móvil.
2. El RAG, utiliza su función de mapeo para realizar el paging al móvil utilizando los mensajes *[UMTS-RRC] PAGING TYPE 1*, *[cdma2000] General Page Message* o el mensaje *[HMIPv6] Router Advertisement* indicando el paging y la LCoA como dirección del móvil.
3. El móvil responde al paging con el mensaje *[UMTS-RRC] Cell Update*, *[cdma2000] Page Response* o el mensaje *[FHIPv6] Unsolicited Neighbor Advertisement* indicando la

LCoA del móvil. Al recibir este mensaje el RAG responde al RMM con el mensaje *[MIP RAN] PAGING Response* indicando la LCoA del móvil.

- Al recibir el mensaje *[MIP RAN] PAGING Response* el RMM comienza a reenviar los paquetes de usuario al móvil.

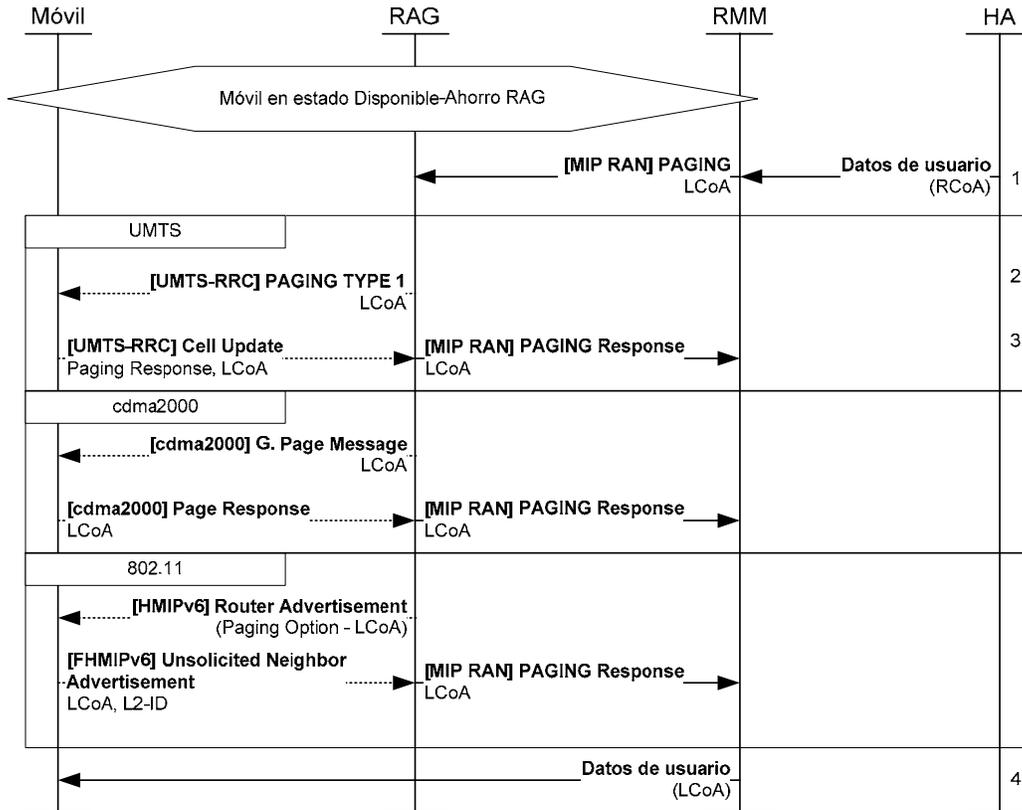


Figura 85 Escenario de Paging en Mobile-IP RAN, móvil en estado Disponible-Ahorro RAG

4.9.4.3.2 Paging en estado Disponible-Ahorro RMM

En el paging en estado Disponible-Ahorro RMM, el móvil es identificado por su dirección RCoA.

- El Home Agent, envía paquetes destinados a la RCoA del usuario al RMM. El RMM, al recibir el primer mensaje inicia el procedimiento de paging enviando el mensaje *[MIP RAN] PAGING* a los RAGs del área de paging⁹⁴ donde se encuentra el móvil e indicando la RCoA como dirección de aviso del móvil.
- Cada RAG, utiliza su función de mapeo para realizar el paging al móvil utilizando los mensajes *[UMTS-RRC] PAGING TYPE 1*, *[cdma2000] General Page Message* o el mensaje *[HMIPv6] Router Advertisement* indicando el paging y la RCoA como dirección del móvil.

⁹⁴ Mobile-IP RAN no utiliza la señalización explícita de áreas de búsqueda (áreas de paging). El RMM tiene una base de datos de vecindad entre los RAGs, identificados estos por su (prefijo de) dirección IPv6.

3. El móvil responde al paging con el mensaje *[UMTS-RRC] Cell Update*, *[cdma2000] Page Response* o el mensaje *[FHMIpV6] Unsolicited Neighbor Advertisement* indicando la LCoA del móvil. Al recibir este mensaje el RAG responde al RMM con el mensaje *[MIP RAN] PAGING Response* indicando la LCoA del móvil.
4. Al recibir el mensaje *[MIP RAN] PAGING Response* el RMM comienza a reenviar los paquetes de usuario al móvil.

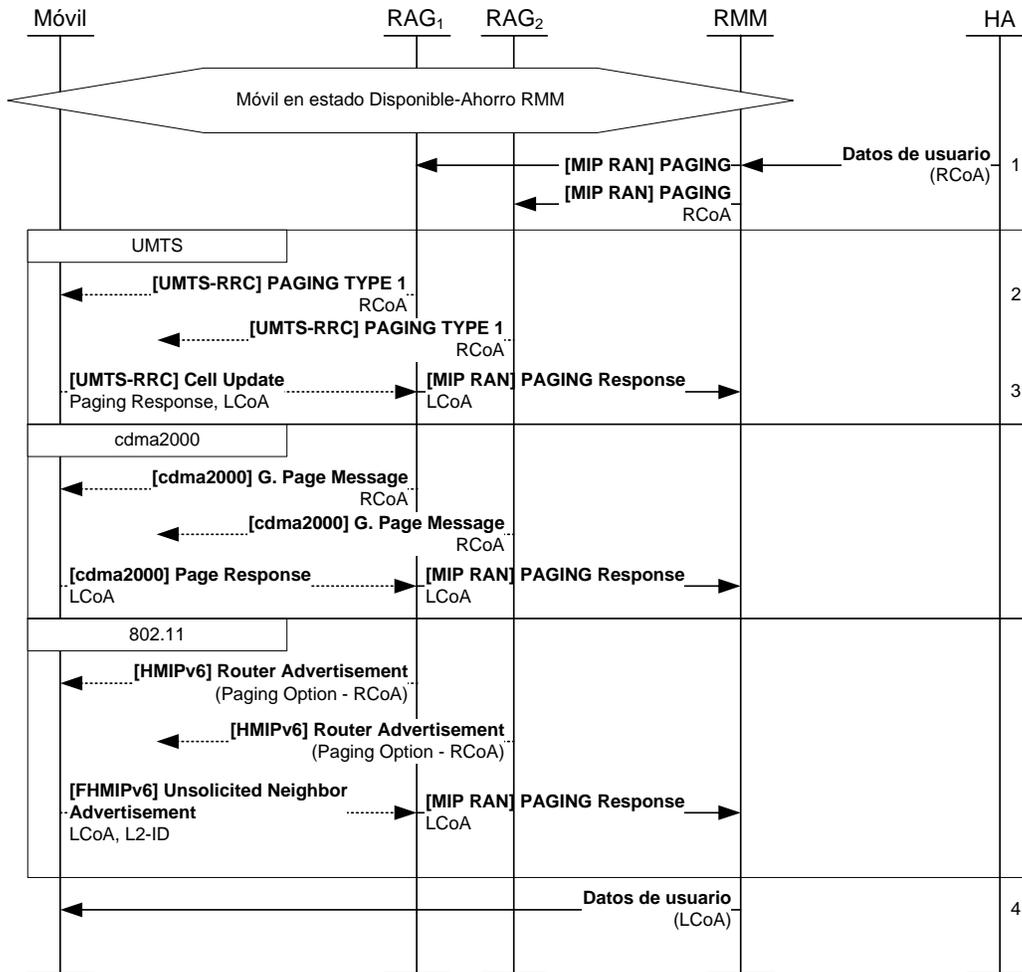


Figura 86 Escenario de paging en Mobile-IP RAN, móvil en estado Disponible-Ahorro RMM

4.9.4.3.3 Paging en estado LIBRE

En el paging en estado LIBRE, el móvil es identificado por su dirección IPv6 *Home Address*.

1. El Home Agent envía el mensaje de paging⁹⁵ a los RMM en el área de paging⁹⁶. Al recibir el mensaje, el RMM inicia el procedimiento de paging enviando el mensaje *[MIP*

⁹⁵ Como se ha mencionado anteriormente, esta tesis no especifica el formato de este mensaje, el único requisito impuesto sobre el formato, es que el mismo debe contener la dirección *Home Address* del móvil.

RAN] PAGING a los RAGs del área de paging donde se encuentra el móvil e indicando la Home Address como dirección de aviso del móvil.

2. Cada RAG, utiliza su función de mapeo para realizar el paging al móvil utilizando los mensajes [UMTS-RRC] PAGING TYPE 1, [cdma2000] General Page Message o el mensaje [HMIPv6] Router Advertisement indicando el paging y la Home Address como dirección del móvil.

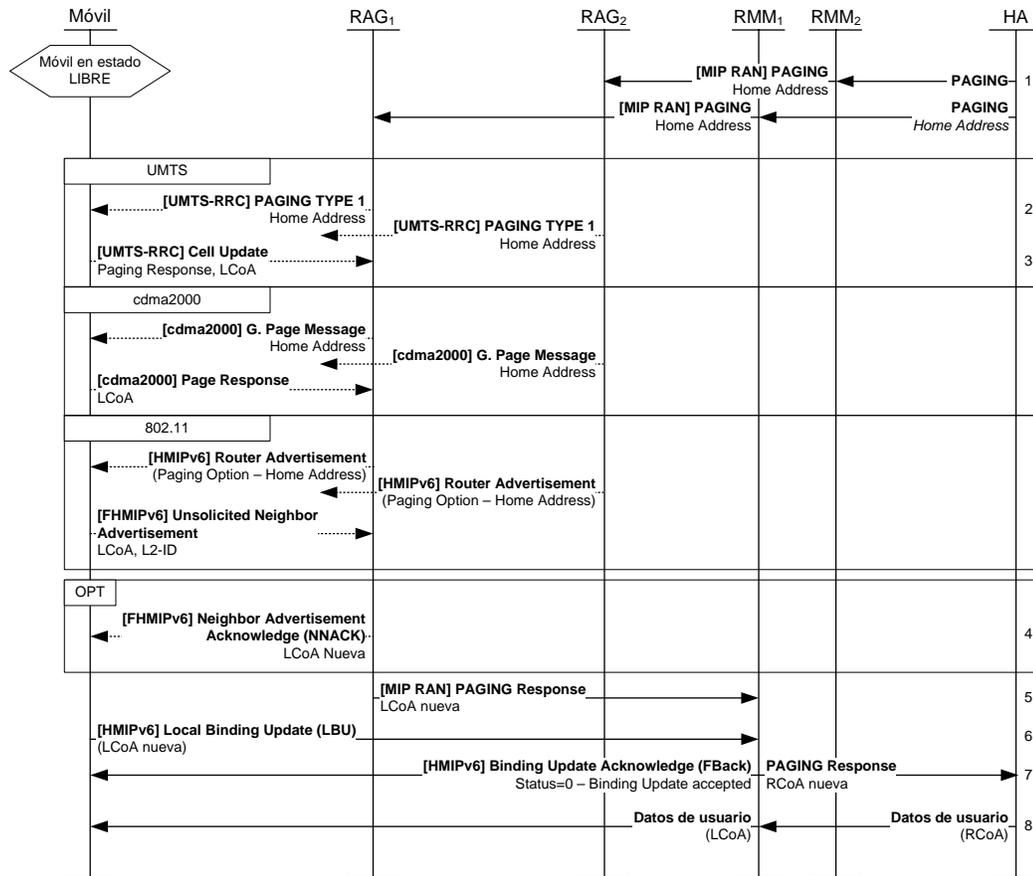


Figura 87 Escenario de paging en Mobile-IP RAN, móvil en estado LIBRE

3. El móvil responde al paging con el mensaje [UMTS-RRC] Cell Update, [cdma2000] Page Response o el mensaje [FHMIPv6] Unsolicited Neighbor Advertisement indicando la LCoA del móvil. Al recibir este mensaje el RAG responde al RMM con el mensaje [MIP RAN] PAGING Response indicando la LCoA que el móvil ha creado.
4. Si la LCoA propuesta por el móvil no puede ser utilizada (por ejemplo porque está siendo utilizada por otro móvil) el RAG responde con el mensaje [FHMIPv6] Neighbor Advertisement Acknowledge (NNACK) indicando una nueva LCoA.

⁹⁶ Al igual en el paging originado por el RMM, Mobile-IP RAN no utiliza la señalización explícita de áreas de búsqueda en la red troncal. Se asume que el Home Agent tiene una base de datos de vecindad entre los RMMs, identificados estos por su (prefijo de) dirección IPv6.

5. El RAG responde al RMM que ha encontrado al móvil enviando el mensaje *[MIP RAN] PAGING Response* incluyendo la LCoA.
6. El móvil inicia el procedimiento de actualización de la localización con el RMM enviando el mensaje *[HMIPv6] Local Binding Update*, indicando la LCoA y la nueva RCoA.
7. El RMM actualiza la asociación RCoA/LCoA y envía la confirmación con el mensaje *[HMIPv6] Local Binding Update Acknowledge*. Al mismo tiempo el RMM indica a la red troncal que ha localizado al móvil y su nueva RCoA a través del mensaje *Paging Response*. Si la RCoA ha cambiado, el móvil debe iniciar el procedimiento *[MIPv6] Binding Update* con el HA (no se muestra en la figura).
8. Al recibir el mensaje de respuesta de paging, el Home Agent comienza a reenviar los paquetes de usuario al móvil, a través del RMM.

4.9.5 Handover en Mobile-IP RAN

El handover en Mobile-IP RAN es el proceso mediante el cual el móvil, en estado de movilidad ACTIVO, cambia de enrutador de acceso en la red Mobile-IP RAN, por lo que debe cambiar su LCoA y posiblemente su RCoA. El objetivo del handover, como en cualquier otra red móvil, es permitir la movilidad del usuario a través de la red, manteniendo la calidad de sus comunicaciones. La Figura 88 muestra los diferentes escenarios de handover en Mobile-IP RAN:

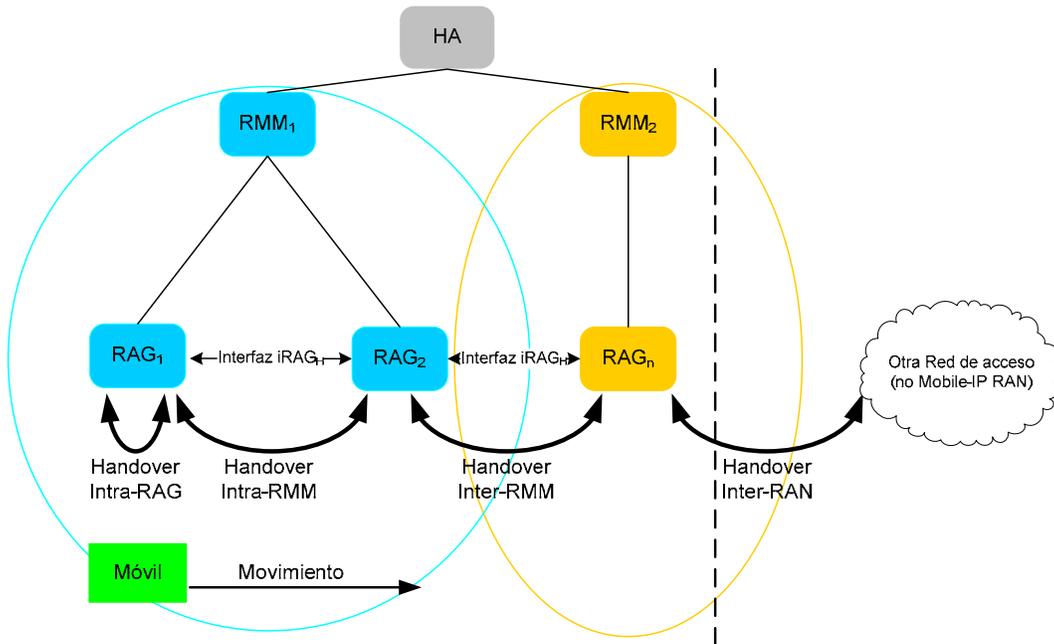


Figura 88 Escenarios de Handover en Mobile-IP RAN

- Intra-RAG: Dependiendo de la arquitectura del RAG (ver sección 4.3.2), éste puede estar formado por uno o más interfaces (sub-redes) de acceso. En el caso de un RAG con más de una sub-red de acceso, es posible realizar handovers entre estas sub-redes.
- Intra-RMM: En este escenario de handover, el móvil cambia de RAG, estando el RAG destino en el mismo dominio RMM que el RAG origen.

- Inter-RMM: En este escenario de handover, el móvil cambia de RAG y de RMM, es decir el RAG destino se encuentra en otro dominio RMM que el RAG origen.
- Inter-RAN: En este escenario de handover, el móvil sale de una red Mobile-IP RAN a otro tipo de red.

En Mobile-IP RAN, se han tomado los siguientes criterios de diseño:

- El cambio de punto de acceso en la capa de enlace (por ejemplo entre puntos de acceso WLAN) no se considera un handover Mobile-IP RAN⁹⁷.
- Mobile-IP RAN no especifica un mecanismo de notificación de inicio de handover desde la capa de enlace a la de red. Sin embargo, en aquellos protocolos de capa de enlace que no especifican estos puntos de comunicación con la capa de red, se recomienda la utilización de [802.21] que proporciona, entre otros servicios, el de notificación de inicio de handover. Para explicar los procedimientos de handover en Mobile-IP RAN se utiliza [802.21] como protocolo genérico de handover L2, que también especifica los mensajes (primitivas y comandos) entre el nivel de enlace (L2) y el nivel de red (L3). Sin embargo, la señalización de handover en L2 está basada en el protocolo de cada tecnología, tal como muestran los escenarios de handover mostrados al final de esta sección.
- En la preparación del handover, con el objetivo de evitar la pérdida de paquetes, se establece un túnel entre el RAG origen y el RAG destino para el reenvío de la información del móvil. Esta propuesta contradice a aquellas derivadas de [Jung2005]⁹⁸ donde se utiliza el MAP (equivalente al RMM en Mobile-IP RAN) como elemento central del reenvío de paquetes entre el RAG origen y destino. Esta decisión, de no involucrar al RMM en el handover, está fundamentado en una razón importante: El RAG origen es el elemento más cercano al móvil, y el que, en la mayoría de las tecnologías decide el momento del handover (conmutación de interfaz) para el móvil, por lo cual es el elemento que mejor puede minimizar la pérdida de paquetes. El RMM, al no tener conocimiento de la capa de enlace, tiene un menor control del momento de conmutación de la interfaz, por lo cual puede influir negativamente en la calidad del handover (por ejemplo al conmutar el tráfico al RAG origen demasiado temprano o demasiado tarde), independiente de su utilización en modo unicast o bi-cast. El mecanismo utilizado por Mobile-IP RAN, disminuye la probabilidad de pérdida de paquetes, a expensas de una utilización menos eficiente de los recursos de transporte, en el caso en que no haya un enlace directo entre el RAG origen y destino (caso en el cual los datos se enlutarían a través del RMM, creando un lazo de ida y vuelta para los paquetes transmitidos a/desde el móvil, durante el tiempo de existencia del tunel entre los RAGs origen y destino).
- Además de reenviar los paquetes al RAG destino, el RAG origen también almacena los mismos paquetes. Los mismos serán descartados en el RAG origen si el handover es exitoso, o serán enviados el móvil (de ser posible), si el handover falla⁹⁹.

⁹⁷ En este tipo de handover, a diferencia del Intra-RAG, no implica un cambio de la interfaz del enrutador de acceso, por lo que se considera que cada tecnología de capa de enlace proporciona sus propios mecanismos de handover.

⁹⁸ Ver el capítulo 2 - Estado del arte, para más información sobre [Jung2005] y otros trabajos de handover.

⁹⁹ Para más información sobre los casos de fallos de handover, ver sección 4.9.5.1.4.

- Con el objetivo de evitar el desorden de paquetes durante el handover, el RAG proporciona una función de reordenamiento de paquetes. Tal como comenta [Racz2007], es el factor que más influye en el desempeño del enlace radio durante un handover. El reordenamiento de paquetes en el RAG (destino) asegura, a través de un sistema de dos colas (una para los datos provenientes del RAG origen – que ocurre durante la preparación del handover y otra para los datos provenientes del RMM – que ocurre durante la ejecución del handover), que el RAG entregue al móvil los paquetes enviados desde el RAG Origen antes de la entrega de los paquetes recibidos del RMM.
- El mecanismo es independiente de que se mantenga los estados de los buffers radio del móvil al reconectar en el RAG destino. De acuerdo a [Racz2007] no es necesario que se mantengan los estados ya que las tramas que el móvil descarta por no llegar el PDU entero (trama completa) no influyen significativamente en la velocidad del enlace radio. Sin embargo para su optimización, se ofrece, de forma opcional, una función de transferencia del contexto del enlace radio, para enviar esta información¹⁰⁰.

4.9.5.1 Procedimiento de handover

El procedimiento de handover en Mobile-IP RAN sigue el diagrama genérico mostrado en la Figura 89.

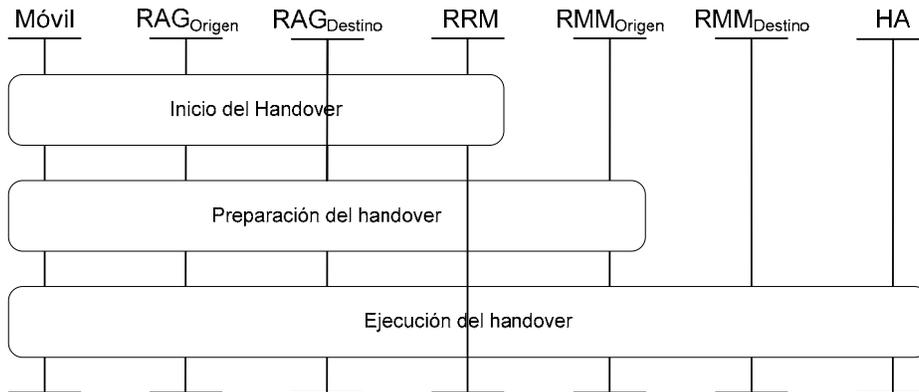


Figura 89 Procedimiento genérico de handover en Mobile-IP RAN

4.9.5.1.1 Inicio del handover

El inicio de handover es el proceso en el cual el móvil o el RAG toman la decisión de realizar el handover e iniciar el proceso. En Mobile-IP RAN, se definen los siguientes casos de inicio de handover:

- a) Originado por el móvil: El móvil puede iniciar la petición de handover a la red Mobile-IP RAN, por diversas causas¹⁰¹, entre ellas se encuentran:

¹⁰⁰ Se considera que esta puede ser una línea de investigación de un trabajo futuro: el estudio del mantenimiento del estado de los buffer de capa de enlace y control de enlace radio en un entorno Mobile-IP como Mobile-IP RAN.

¹⁰¹ Esta tesis no especifica los algoritmos de decisión de handover en el móvil, solo se asumen los casos considerados más comunes.

- Bajo nivel o calidad de la señal recibida desde el RAG origen (enlace descendente)
- Mejor capacidad del enlace (radio) en el RAG destino, por ejemplo en casos de móviles con múltiples tecnologías de acceso radio.

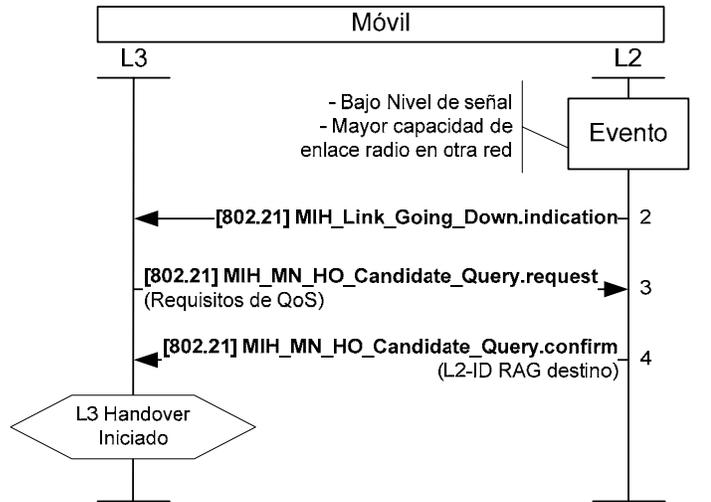


Figura 90 Handover Iniciado por el móvil

En handover iniciado por el móvil:

1. El móvil detecta un evento, que dispara el inicio del handover (por ejemplo, bajo nivel de señal o mayor capacidad del enlace radio de otra red).
 2. La capa de enlace (L2 – radio) del móvil, indica a la capa de red (L3) que el enlace puede cambiar (o perderse), a través del mensaje [802.21] MIH_Link_Going_Down.indication. Este mensaje incluye la razón del cambio y opcionalmente el tiempo en que la capa de enlace espera que el enlace caiga.
 3. Al recibir el mensaje, la capa de red solicita a la capa de enlace información sobre los posibles RAGs destinos enviando el mensaje [802.21] MIH_MN_Candidate_Query.request. El mensaje incluye los requisitos de calidad de servicio, para que el móvil seleccione el candidato de acuerdo a sus requisitos de recursos (que a su vez vienen destinados por la aplicación).
 4. La capa de enlace (L2 - radio) del móvil, indica a la capa de red (L3) la petición del handover a través del mensaje [802.21] MIH_MN_HO_Candidate_Query.confirm. El mensaje contiene el identificador L2-ID de uno o más RAGs destino¹⁰².
- b) Originado por el RAG: El RAG puede iniciar la petición de handover al móvil por diversas causas¹⁰³, entre ellas se encuentran:

¹⁰² Se asume (no mostrado en el diagrama) que el móvil, ya sea de forma periódica, o cuando ocurre el evento, realiza mediciones sobre los estados (por ejemplo nivel de señal) de los puntos de acceso vecinos. Mobile-IP RAN no especifica el algoritmo de selección de los vecinos.

¹⁰³ Esta tesis no especifica los algoritmos de decisión de handover en el RAG, solo se asumen los casos considerados más comunes.

- Bajo nivel o calidad de la señal recibida por el RAG origen (enlace ascendente)
- Reporte de medidas del móvil que indiquen un bajo nivel o calidad de la señal recibida desde el RAG origen (enlace descendente)
- Debido a una instrucción del RRM. El RRM, a través del análisis de las condiciones de la carga o interferencia de la red Mobile-IP RAN, puede determinar que las comunicaciones de una serie de móviles que cumplen un perfil específico, deben moverse a otro RAG, con el objeto, por ejemplo de reducir la interferencia de red.
- Debido a condiciones de sobrecarga de la red de transporte hacia el RMM.

En el handover iniciado por la red:

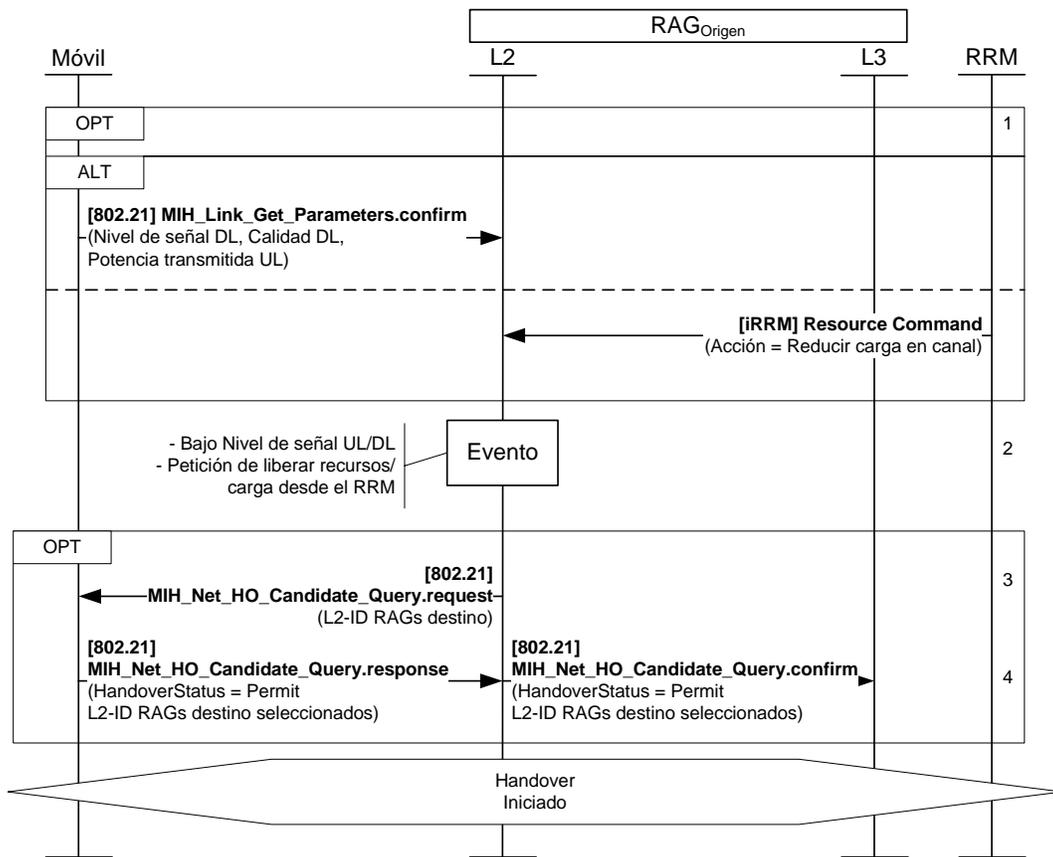


Figura 91 Inicio de handover por la red Mobile-IP RAN

1. Opcional. El RAG origen puede iniciar el handover debido a su propia decisión, o a partir de las medidas reportadas por el móvil (por ejemplo a través del mensaje [802.21] MIH_Link_Get_Parameters.confirm) o a partir de un comando enviado por el RRM para el balanceo de recursos (mensaje [iRRM] Resource Command indicando una petición de reducción de carga de un recurso o canal).
2. El RAG origen, decide, a través de sus algoritmos, inicia el proceso de handover para el móvil determinado.

3. Opcional. En aquellos RAGs con tecnologías de capa de enlace que no reciben automáticamente reportes del móvil del estado (nivel de señal) de los RAGs vecinos (por ejemplo en redes basadas en los estándares 802.11), el RAG origen pide al móvil el análisis/selección de los vecinos existentes a través del mensaje [802.21] *MIH_Net_HO_Candidate_Query.request*.
4. Opcional. Al recibir el mensaje, el móvil analiza la lista de vecinos y decide/selecciona¹⁰⁴ una lista final de vecinos y confirma el inicio del handover enviando el mensaje *MIH_Net_HO_Candidate_Query.request* al RAG origen. La capa de enlace del RAG origen informa a la capa de red del inicio del handover.

4.9.5.1.2 Preparación del handover

4.9.5.1.2.1 Preparación de handover intra-RAG

La preparación del handover en el caso intra-RAG consiste en el establecimiento de los recursos del móvil para la ejecución del handover. Incluye la preparación de los recursos (radio) en el RAG, así como la creación de la nueva LCoA por parte del móvil.

La preparación del handover en el caso intra-RAG consiste en los siguientes pasos:

1. (Opcional) En el caso de handover iniciado por el móvil y que éste no conozca la información Mobile-IP RAN (en este caso para movilidad IP) del RAG y/o del RMM¹⁰⁵, el móvil envía al RAG el mensaje [FHMIPv6] *Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtrSolPr)*, incluyendo el identificador del móvil (L2-ID)¹⁰⁶ y del RAG en el enlace radio, e incluye el bit Mobile-IP RAN, para indicar a la red que el móvil soporta el handover Mobile-IP RAN.
2. (Opcional) En el caso de handover iniciado por la red, y que el RAG no difunda esta información periódicamente¹⁰⁷, o como respuesta al mensaje recibido el móvil, el RAG envía el mensaje [FHMIPv6] *Proxy Router Advertisement (PrRtrAdv)*, incluyendo el identificador y la dirección IP del RAG, la dirección del RMM y el bit Mobile-IP RAN, para indicar al móvil que la red soporta el handover Mobile-IP RAN.
3. En el caso del handover iniciado por el móvil, la capa de red indica a la capa de enlace que puede preparar los recursos de handover a través del mensaje [802.21] *MIH_MN_HO_Commit.request*, incluyendo los parámetros de la red destino (identificador y dirección IP del RAG).

¹⁰⁴ La selección/decisión de un (grupo de) vecino(s) depende de los algoritmos internos de la capa de enlace y física del móvil.

¹⁰⁵ Como se indica en la sección 4.9, en los sistemas móviles, tales como UMTS y cdma2000, el móvil constantemente lee información del sistema de las células vecinas. Se propone extender estos mensajes para incluir la información de la dirección IP del RAG destino y del RMM. Un ejemplo del mensaje de información del sistema (*System Information*) que señala la información de Mobile-IP RAN para UMTS se muestra en el Apéndice A.

¹⁰⁶ El identificador L2-ID del móvil y del RAG destino (L2-ID) sigue el formato establecido en [RFC5271].

¹⁰⁷ Se refiere a la optimización incluida en la sección 4.9, donde se incluye la información Mobile-IP RAN en los mensajes de información del sistema.

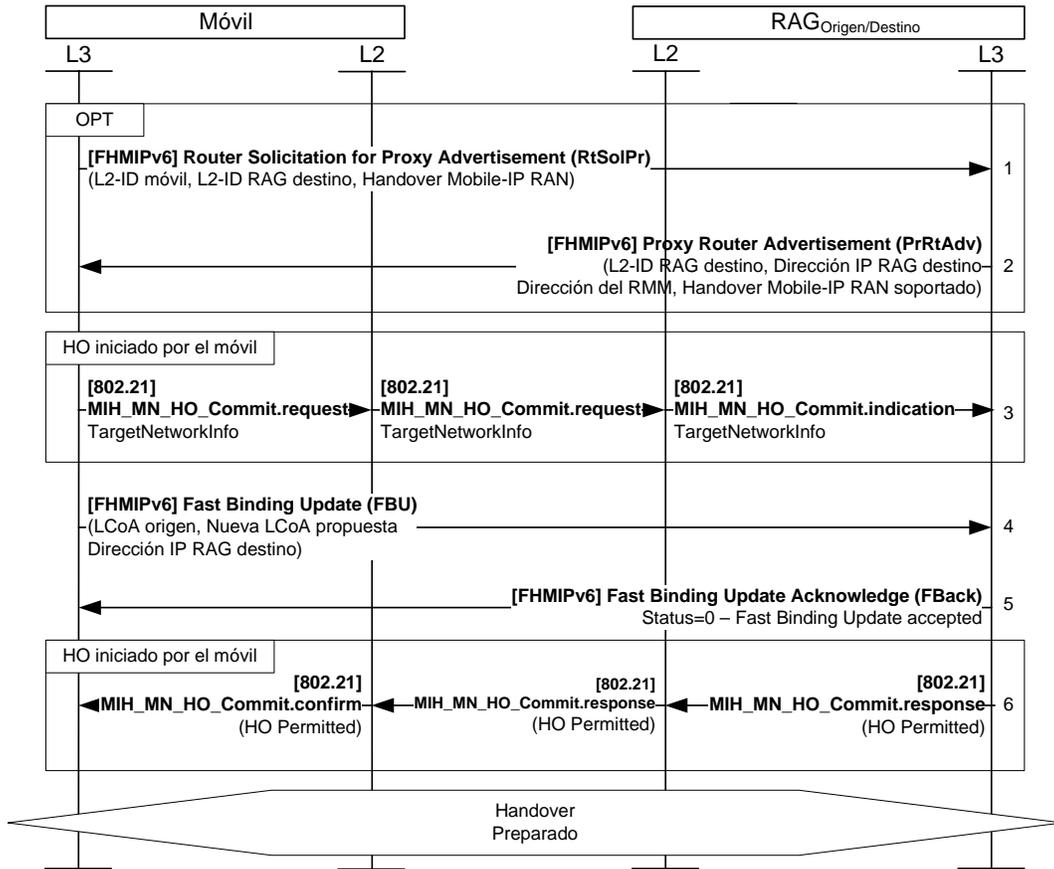


Figura 92 Preparación del handover en Mobile-IP RAN, caso intra-RAG

4. El móvil, con la información recibida en el mensaje *[FHMIPv6] Proxy Router Advertisement (PrRtrAdv)*, construye la nueva LCoA y envía el mensaje *[FHMIPv6] Fast Binding Update (FBU)* al RAG, indicando la LCoA actual, la nueva (propuesta) y la dirección IP del RAG. El RAG comprueba que la dirección no está siendo utilizada por otro móvil (en su base de datos, no es un proceso DAD). Cabe destacar que el RAG no espera a terminar el proceso de comprobación ya que la probabilidad de colisión es muy baja¹⁰⁸, con el objeto de no retrasar la señalización del handover y reducir la probabilidad de la pérdida de paquetes.
5. El RAG confirma al móvil la utilización de la nueva LCoA con el mensaje *[FHMIPv6] Fast Binding Update Acknowledge (FBack)*. A partir de este momento el RAG está preparado para la ejecución del handover.
6. Opcional, en el caso de handover iniciado por el móvil. El RAG confirma al móvil la preparación de los recursos de handover en el RAG, utilizando el mensaje *[802.21] MIH_MN_HO_Commit.response*. A partir de este momento, el móvil está preparado para la ejecución del handover.

¹⁰⁸ Ver sección 4.8 para más detalles de la construcción de las direcciones CoA en Mobile-IP RAN.

4.9.5.1.2.2 Preparación de handover intra-RMM e inter-RMM

La preparación del handover en los casos intra-RMM e inter-RMM consiste en el establecimiento de los recursos de red y del móvil para la ejecución del handover. Incluye la preparación de los recursos (radio) en el RAG, así como los recursos de transporte tanto en el RAG origen, como en el RAG destino, para asegurar, que independientemente del tipo de tecnología radio (y de enlace) no haya pérdida de paquetes en los enlaces descendente y ascendentes.

La preparación del handover consiste en los siguientes pasos:

1. (Opcional) En el caso de handover iniciado por el móvil y que éste no conozca la información Mobile-IP RAN (en este caso para movilidad IP) del RAG destino y/o del RMM¹⁰⁹, el móvil envía al RAG origen el mensaje *[FHMIPv6] Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtrSolPr)*, incluyendo el identificador del móvil y del RAG destino en el enlace radio, e incluye el bit Mobile-IP RAN, para indicar a la red que el móvil soporta el handover Mobile-IP RAN.
2. (Opcional) En el caso de handover iniciado por la red y que el RAG no difunda esta información periódicamente¹¹⁰, o como respuesta al mensaje recibido el móvil, el RAG origen envía el mensaje *[FHMIPv6] Proxy Router Advertisement (PrRtrAdv)*, incluyendo el identificador y la dirección IP del RAG destino, la dirección del RMM y el bit Mobile-IP RAN, para indicar al móvil que la red soporta el handover Mobile-IP RAN.
3. En el caso del handover iniciado por el móvil, la capa de red indica a la capa de enlace que puede preparar los recursos de handover a través del mensaje *[802.21] MIH_MN_HO_Commit.request*, incluyendo los parámetros de la red destino (L2-ID y dirección IP del RAG destino).
4. El móvil, con la información recibida en el mensaje *[FHMIPv6] Proxy Router Advertisement (PrRtrAdv)*, construye la nueva LCoA y envía el mensaje *[FHMIPv6] Fast Binding Update (FBU)* al RAG origen, indicando la LCoA actual, la nueva (propuesta) y la dirección IP del RAG destino.
5. El RAG origen, comienza el proceso de reserva de los recursos en el RAG destino, enviando el mensaje *[FHMIPv6] Handover Initiate (HI)* incluyendo la nueva LCoA propuesta, la LCoA origen e indicando que el RAG destino debe almacenar los paquetes destinados al móvil.
6. El RAG destino al recibir el mensaje, introduce la ruta de mapeo LCoA actual o LCoA nueva, indica al RAG origen que continúe utilizando la LCoA origen, con el objeto de establecer un túnel para el reenvío de los datos entre el RAG origen y destino, y envía al RAG destino el mensaje *[FHMIPv6] Handover Acknowledge (HACK)*. Asimismo, el RAG destino comprueba que la dirección no está siendo utilizada por otro móvil. Cabe destacar que el RAG no espera a terminar el proceso de comprobación ya que la

¹⁰⁹ Como se indica en la sección 4.9, en los sistemas móviles, tales como UMTS y cdma2000, el móvil constantemente lee información del sistema de las células vecinas. Se propone extender estos mensajes para incluir la información de la dirección IP del RAG destino y del RMM. Un ejemplo del mensaje de información del sistema (*System Information*) que señala la información de Mobile-IP RAN para UMTS se muestra en el Apéndice A.

¹¹⁰ Se refiere a la optimización incluida en la sección 4.9, donde se incluye la información Mobile-IP RAN en los mensajes de información del sistema.

probabilidad de colisión es muy baja¹¹¹, con el objeto de no retrasar la señalización del handover y reducir la probabilidad de la pérdida de paquetes.

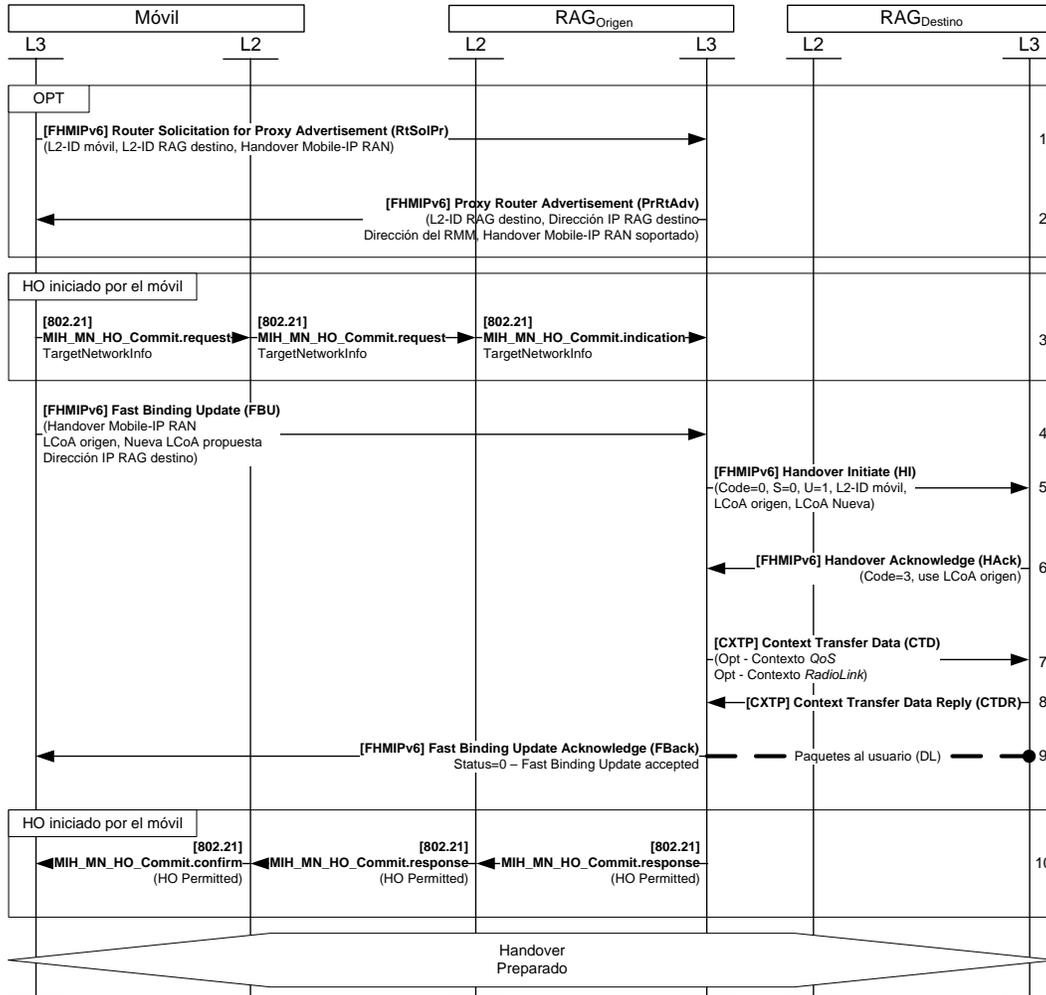


Figura 93 Preparación del handover en Mobile-IP RAN, caso intra-RMM e inter-RMM

7. El RAG origen envía al RAG destino la información de los contextos de AAA, calidad de servicio y/o del enlace radio¹¹² para la reserva de recursos, en un mensaje [CXTP] Context Transfer Data (CTD).
8. Opcional. El RAG destino al recibir el mensaje, comprueba la información de los contextos y responde con el mensaje [CXTP] Context Transfer Data Reply (CTDR).

¹¹¹ Ver sección 4.8 para más detalles de la construcción de las direcciones CoA en Mobile-IP RAN.

¹¹² En Mobile-IP RAN se considera que estos contextos son complementarios, ya que el contexto de calidad de servicio incluye los requisitos generales de calidad de servicio, de los cuales el RAG destino puede derivar los parámetros específicos del enlace radio así como los de transporte; sin embargo, para asegurar la continuidad del enlace radio de forma más sencilla (sin reconfigurar todos los parámetros de los buffer MAC por ejemplo) puede ser necesario el envío de la información del enlace radio para que el RAG destino la aplique en su configuración. Por supuesto, esto depende de la tecnología radio utilizada.

9. El RAG origen confirma al móvil la utilización de la nueva LCoA con el mensaje *[FHMIPv6] Fast Binding Update Acknowledge (FBack)*. A partir de este momento el RAG destino está preparado para la ejecución del handover. El RAG origen, asimismo, detiene la transmisión de datos al móvil, comienza a almacenar y a reenviar la información destinada al móvil origen al RAG destino, el cual almacenará los mismos para su posterior reenvío, una vez que el móvil alcance conectividad con el RAG destino.
10. Opcional, en el caso de handover iniciado por el móvil. El RAG origen confirma al móvil la preparación de los recursos de handover en el RAG destino, utilizando el mensaje *[802.21] MIH_MN_HO_Commit.response*. A partir de este momento, el móvil está preparado para la ejecución del handover.

4.9.5.1.3 Ejecución del handover

La ejecución de handover consiste en el cambio del enlace (radio) desde el RAG origen al RAG destino, así como lograr la conectividad de red Mobile-IP RAN, es decir actualizar la ubicación del usuario en el RMM (destino) y de ser necesario, en la red troncal (HA).

4.9.5.1.3.1 Ejecución del handover Intra-RAG

En la ejecución del handover intra-RAG, se realizan los siguientes pasos:

1. En el caso del handover iniciado por el móvil, la capa de red indica a la capa de enlace realizar la conmutación del enlace (radio) a través del mensaje *[802.21] MIH_Link_Actions.request*. La capa de enlace responde con el mensaje *[802.21] MIH_Link_Actions.confirm*. Seguidamente el móvil conmuta su interfaz (radio).
2. En el caso del handover iniciado por la red, la red indica al móvil la ejecución del handover a través del mensaje *[802.21] MIH_Net_HO_Commit.request*. Seguidamente el móvil conmuta su interfaz (radio).
3. Al sincronizar la interfaz radio destino, la capa de enlace del móvil notifica a la capa de red el evento, a través del mensaje *[802.21] MIH_Link_Up.indication*.
4. En el caso de handover originado por la red, el móvil confirma el éxito del handover (a nivel de enlace (radio) con el mensaje *[802.21] MIH_Net_HO_Commit.response*.
5. El móvil, envía el mensaje *[FHMIPv6] Unsolicited Neighbor Advertisement (UNA)* para confirmar el uso de la nueva LCoA en el RAG. El RAG, en caso de aceptar la LCoA, confirma el mapeo LCoA-L2-ID del móvil.
6. Opcional. El RAG, en caso de haber detectado una duplicidad de dirección LCoA¹¹³, el RAG envía la nueva LCoA en el mensaje *[FHMIPv6] Neighbor Advertisement Acknowledge (NNACK)*.
7. El móvil envía el mensaje *[HMIPv6] Local Binding Update (LBU)* indicando la nueva LCoA.

¹¹³ El proceso de detección duplicación de direcciones comienza en el RAG al recibir el mensaje *[FHMIPv6] Fast Binding Update (FBU)* del móvil, durante la fase de preparación del handover.

8. El RMM, actualiza el mapeo RCoA-LCoA y confirma al móvil la actualización por medio del mensaje [HMIPv6] Local Binding Update Acknowledge (LBAack).
9. El RAG libera los recursos (radio) relativos a la conexión origen.

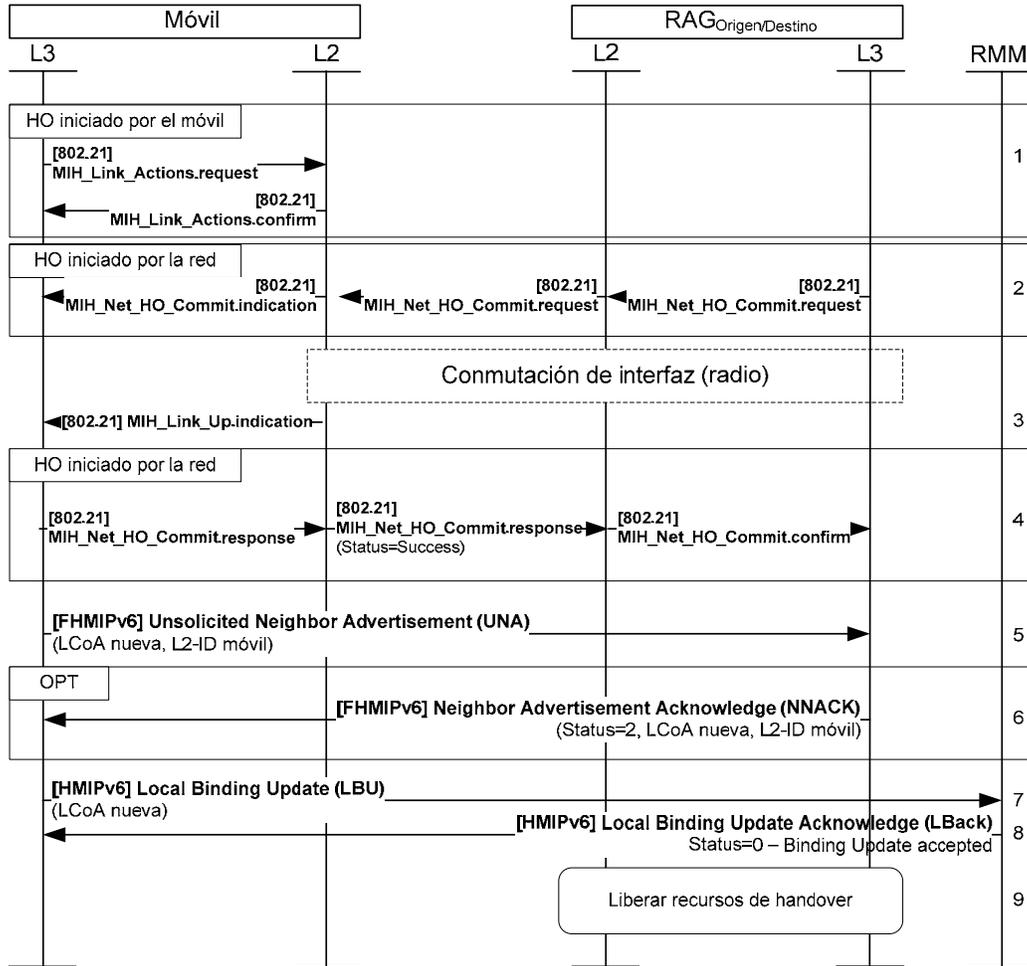


Figura 94 Ejecución del handover, caso intra-RAG

4.9.5.1.3.2 Ejecución del handover intra-RMM e inter-RMM

En la ejecución del handover intra-RMM e inter-RMM, se realizan los siguientes pasos:

1. En el caso del handover iniciado por el móvil, la capa de red indica a la capa de enlace realizar la conmutación del enlace (radio) a través de las primitivas [802.21] MIH_Link_Actions.request. La capa de enlace responde con el mensaje [802.21] MIH_Link_Actions.confirm. Seguidamente el móvil conmuta su interfaz (radio).
2. En el caso del handover iniciado por la red, la red indica al móvil la ejecución del handover a través del mensaje [802.21] MIH_Net_HO_Commit.request. Seguidamente el móvil conmuta su interfaz (radio) al RAG destino.
3. El móvil, al sincronizar la interfaz radio destino, la capa de enlace notifica a la capa de red el evento, a través de la primitiva [802.21] MIH_Link_Up.indication.

4. En el caso de handover originado por la red, el móvil confirma el éxito del handover al RAG destino (a nivel de enlace radio) con el mensaje [802.21] *MIH_Net_HO_Commit.response*.
5. El móvil, envía el mensaje [FHMIPv6] *Unsolicited Neighbor Advertisement (UNA)* al RAG destino para confirmar el uso de la nueva LCoA en el RAG destino. El RAG destino, en caso de aceptar la LCoA, confirma el mapeo LCoA-L2-ID del móvil. En este momento, el RAG destino, comienza a entregar los datos (que estaban almacenados) provenientes del RAG origen para el móvil.
6. Opcional. El RAG destino, en caso de haber detectado una duplicidad de dirección LCoA¹¹⁴, el RAG envía la nueva LCoA en el mensaje [FHMIPv6] *Neighbor Advertisement Acknowledge (NNACK)*.
7. En el caso de handover intra-RMM, el móvil envía el mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update (LBU)* indicando la nueva LCoA al RMM. El RMM actualiza el mapeo RCoA-LCoA y confirma al móvil la actualización por medio del mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update Acknowledge (LBAck)*. A partir de este momento el RMM comienza a enviar los datos al RAG destino directamente. El RAG destino, para evitar el desorden de los paquetes, comienza a enviar los paquetes que llegan del RMM, una vez que se han enviado todos los paquetes que provienen del RAG origen¹¹⁵.
8. En el caso de handover inter-RMM, el móvil envía el mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update (LBU)* al RMM destino, indicando la nueva LCoA y, en el caso del handover inter-RMM la nueva RCoA¹¹⁶. El RMM destino actualiza el mapeo RCoA-LCoA y confirma al móvil la actualización por medio del mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update Acknowledge (LBAck)*. A partir de este momento el RMM comienza a enviar los datos al RAG destino directamente.
9. En el caso de handover inter-RMM, el móvil envía el mensaje [MIPv6] *Binding Update (BU)* indicando la nueva RCoA para actualizar el mapeo RCoA-HA. El HA actualiza el mapeo y confirma al móvil la actualización por medio del mensaje [MIPv6] *Binding Update Acknowledge (Back)*. A partir de este momento, el HA comienza a enviar los datos al RMM destino y éste al RAG destino. El RAG destino, para evitar el desorden de los paquetes, comienza a enviar los paquetes que llegan del RMM destino, una vez que se han enviado todos los paquetes que provienen del RAG origen.
10. El RAG origen y destino y el RMM origen liberan los recursos (radio, transporte y mapeos) relativos a la conexión origen.

4.9.5.1.3.3 Liberación de recursos

Una vez culminado el handover, el RAG origen, el RAG destino (en caso de handover intra-RMM o inter-RMM) y el RMM origen (en el caso de handover inter-RMM) deben liberar los recursos utilizados en la conexión origen y durante la preparación y ejecución del handover.

¹¹⁴ El proceso de detección duplicación de direcciones comienza en el RAG destino al recibir el mensaje [FHMIPv6] *Handover Initiate (HI)* del RAG origen, durante la fase de preparación del handover.

¹¹⁵ Ver criterios de diseño de handover en Mobile-IP RAN en la sección 4.9.4.

¹¹⁶ Ver sección 4.8 para más detalles de la construcción de las direcciones CoA en Mobile-IP RAN.

En el caso de handover intra-RAG, los recursos involucrados se encuentran en el RAG destino, por lo cual, una vez el handover es considerado como exitoso por el RAG destino¹¹⁷, el mismo debe liberar los recursos radio.

En el caso de handover intra-RMM e inter-RMM:

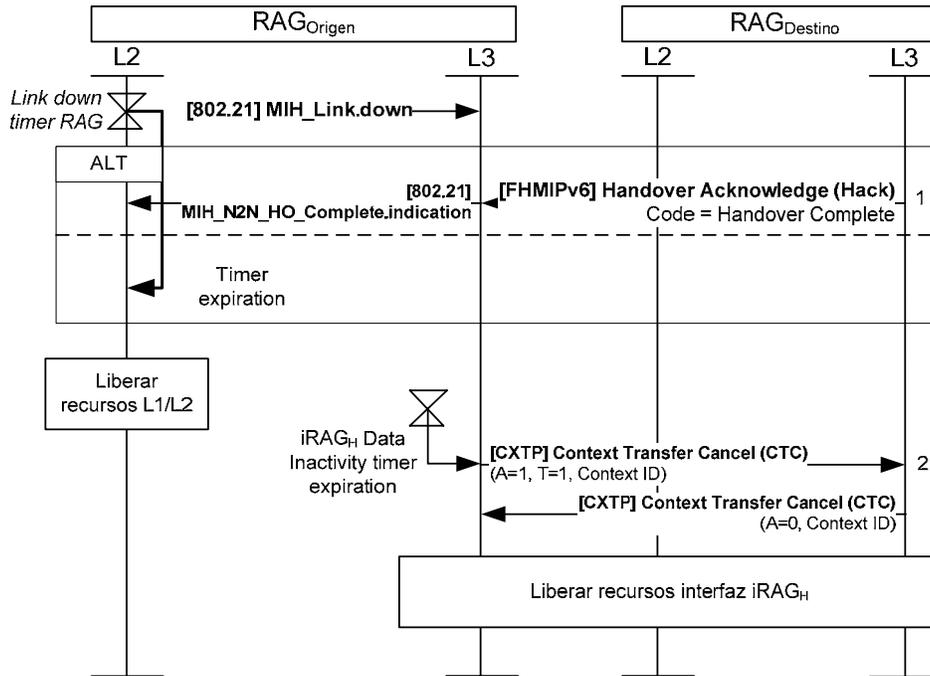


Figura 95 Liberación de recursos de handover en Mobile-IP RAN

1. El RAG origen libera los recursos radio en cualquiera de los siguientes eventos:
 - a. Al recibir el mensaje *[FHMIPv6] Handover Acknowledge (HACK)* (indicación *[802.21] MIH_N2N_HO.Complete.indication* en L2) con *Code = Handover Complete*.
 - b. Cuando expira el timer *Link down timer RAG*. Este timer se inicia cuando el RAG origen detecta que ha perdido el sincronismo con el móvil (*[802.21] MIH_Link.down*) o cuando el RAG indica al móvil la orden de handover (en aquellas tecnologías radio donde no existe sincronismo establecido con el móvil). Es importante destacar que el *Link down timer* debe tener un valor suficiente grande para que en escenarios normales, éste expire después de la llegada *[FHMIPv6] Handover Acknowledge (HACK)*, así como también lo suficientemente grande para permitir que el móvil, en un escenario de handover fallido (ver siguiente sección), pueda reconfigurarse a la situación original¹¹⁸.

¹¹⁷ El RAG destino considera el handover como exitoso cuando logra sincronismo en el enlace ascendente con el móvil y recibe el mensaje *[FHMIPv6] Unsolicited Neighbor Advertisement (UNA)*.

¹¹⁸ Estas recomendaciones generales, sin embargo, no imponen ningún rango específico para este temporizador. Su valor debe ser el resultado de simulaciones y estimaciones que están fuera del objetivo de esta tesis.

- El RAG origen libera los recursos de transporte en la interfaz $iRAG_H$ al expirar el timer $iRAG_H$ *Inactivity timer*. El mismo controla la llegada de paquetes desde el RMM origen que deben ser reenviados al RAG destino¹¹⁹. Para indicar que ha culminado el reenvío de datos, el RAG origen termina el contexto enviando el mensaje *[COTP] Context Transfer Cancel (CTC)* para el contexto identificado con el *Context ID*, pidiendo confirmación del RAG destino (A=1) e indicando que el destino puede terminar el contexto en el momento que lo crea necesario (T=1). El RAG destino responde con el mensaje *[COTP] Context Transfer Cancel (CTC)*.

4.9.5.1.4 Casos de fallo en el handover

El handover en Mobile-IP RAN, como en cualquier otra red de acceso, puede fallar en cualquiera de los momentos del inicio, preparación y ejecución del handover.

- Si existe un fallo durante el inicio o preparación de handover, éste no se considera un fallo de handover, ya que no ha existido aun el cambio del móvil al nuevo enlace. En cualquiera de los casos de fallo durante el inicio o preparación del handover el móvil debe mantener la conectividad con el RAG origen y abortar todos los procedimientos abiertos, ya sea dejando expirar los temporizadores activos o respondiendo con un mensaje de fallo a los comandos del RAG origen.

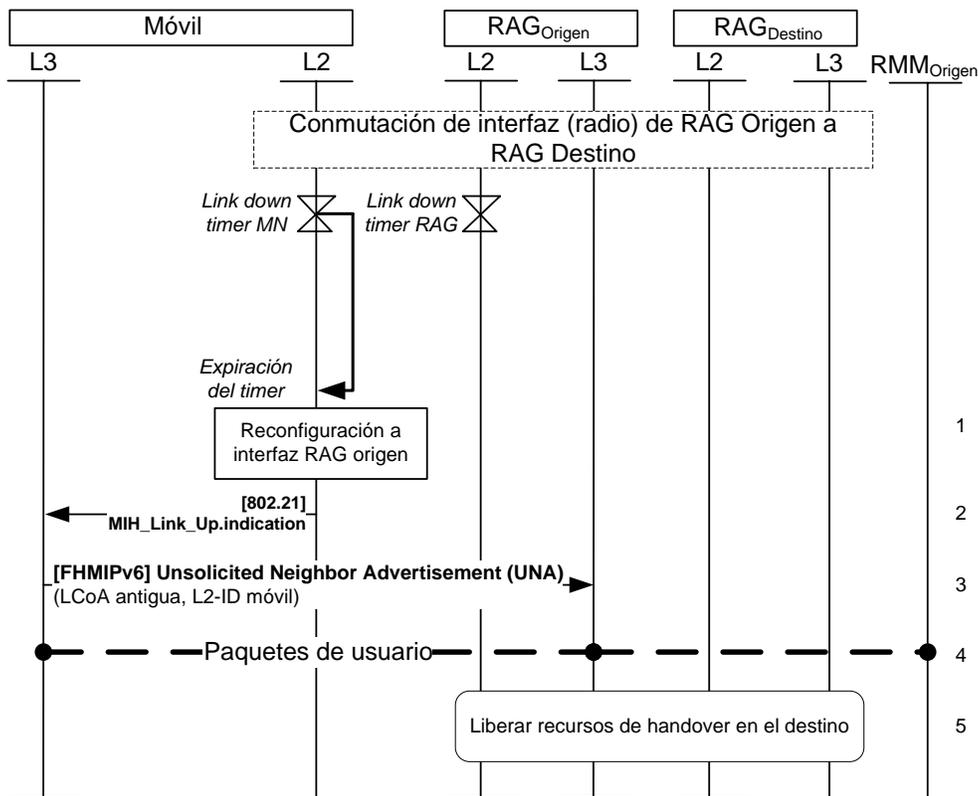


Figura 96 Fallo del handover en Mobile-IP RAN

¹¹⁹ El objeto del timer $iRAG_H$ *Inactivity timer* es determinar cuando se detiene el flujo de datos desde el RMM.

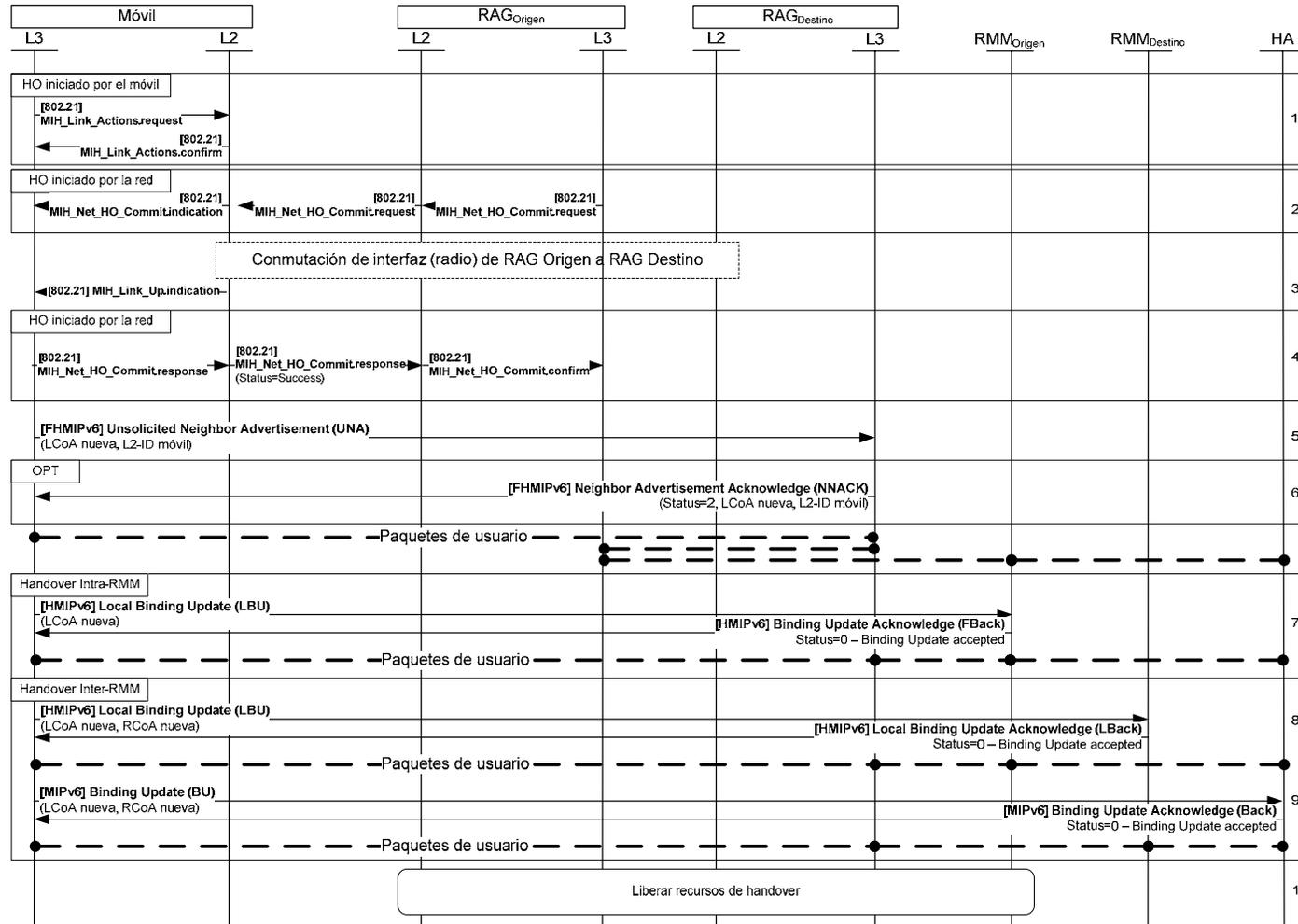


Figura 97 Ejecución del handover, casos intra-RMM e inter-RMM

- En el caso de que el fallo ocurra durante la preparación del handover, pero posterior al inicio del handover en la interfaz iRAG_H, el RAG origen debe enviar el mensaje [FHMIPv6] *Handover Cancel (HC)*, pidiendo confirmación del RAG destino (A=1). El RAG destino responde con el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* con *Code = Handover Failure*.
- En el caso de que el fallo ocurra durante la preparación del handover, pero posterior al establecimiento del tunel (contexto) en la interfaz iRAG_H, el RAG origen debe enviar el mensaje [COTP] *Context Transfer Cancel (CTC)* para el contexto identificado con el *Context ID*, pidiendo confirmación del RAG destino (A=1) e indicando que el destino debe terminar el contexto inmediatamente (T=0). El RAG destino responde con el mensaje [COTP] *Context Transfer Cancel (CTC)*.
- En el caso de que el fallo ocurra durante la ejecución del handover, específicamente en el momento de conmutación de la interfaz del RAG origen al RAG destino, el procedimiento es el siguiente:
 1. En caso en que el móvil no logre sincronizar con la interfaz en el RAG destino, el timer del móvil *Link down Timer MN¹²⁰* expira y el móvil reconfigura su interfaz a los parámetros de la interfaz en el RAG origen.
 2. Al alcanzar conectividad (radio) con el RAG origen, la capa de enlace del móvil indica a la de red a través de la primitiva [802.21] *MIH_Link_Up.indication*.
 3. El móvil confirma su LCoA (antigua) con el RAG origen a través del mensaje [FHMIPv6] *Unsolicited Neighbor Advertisement (UNA)*.
 4. A partir de ese momento el RAG origen vuelve a enviar los datos almacenados el RAG origen.
 5. El RAG origen y el RAG destino liberan los recursos involucrados en el handover.
- En el caso que el handover falle durante la ejecución pero posteriormente a la conexión con el RAG destino, el móvil debe actualizar su ubicación con el RAG destino, con el RMM destino y/o con el HA, dependiendo del momento en el que se produzca el fallo. En este caso, y dependiendo del tiempo de reacción del móvil y del tipo de fallo, los datos almacenados en el RAG destino se perderán, y este reanudará la sesión una vez reestablecida la conectividad con la red Mobile-IP RAN.

4.9.5.1.5 Handover inter-RAN

En el handover inter-RAN, el móvil sale de la red Mobile-IP RAN a otra red de acceso que puede estar basada en Mobile-IP RAN (pero siendo redes inconexas), [HMIPv6], [MIPv6] o no seguir un esquema de movilidad. El handover inter-RAN es iniciado por el móvil o por la red.

¹²⁰ Este timer controla el tiempo en que el móvil no tiene conexión con ninguna interfaz, esto es, el timer se inicia cuando el móvil se desconecta de la interfaz origen, y se detiene cuando el móvil se conecta a la interfaz destino.

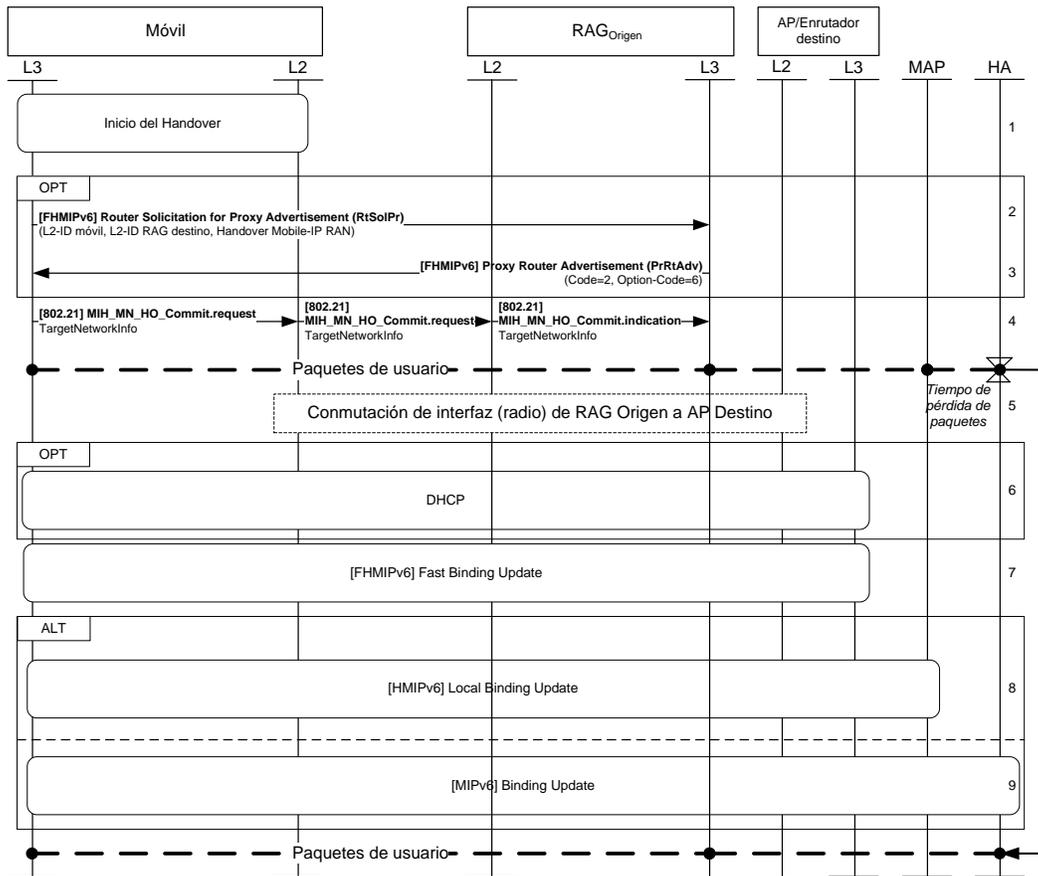


Figura 98 Procedimiento de handover, caso intra-RAN

1. (1 a 4) Los pasos de preparación del handover son similares al handover inter-RMM. Ver sección 4.9.5.1.2.2.
5. El móvil comienza la reconfiguración de la interfaz al nuevo punto de acceso destino, a partir de ese momento el RAG origen perderá sincronización con el móvil (y habrá pérdida de paquetes) hasta que el móvil adquiera conectividad con el enrutador (red) de acceso destino.
6. Opcional. Si el móvil no conoce la dirección del enrutador de acceso destino, debe adquirir conectividad IP a través de DHCP.
7. El móvil inicia el procedimiento *[FHMPv6] Binding Update* para intentar realizar el handover desde el enrutador de acceso destino. Este procedimiento será exitoso dependiendo si el enrutador acceso soporta *[FHMPv6]* y si tiene conectividad con el RAG origen para la transferencia de datos.
8. Opcional. Si el móvil recibe la opción MAP *[HMIPv6]* a través del mensaje *[HMIPv6] Router Advertisement*, este inicia el procedimiento de *[HMIPv6] Local Binding Update*.
9. Opcional. Si el móvil recibe un mensaje *[MIPv6] Router Advertisement*, este inicia el procedimiento de *[MIPv6] Binding Update*.

4.9.5.2 Escenarios de handover

Los siguientes escenarios, muestran las posibilidades de aplicar el handover Mobile-IP RAN a diferentes tecnologías de acceso.

4.9.5.2.1 Handover intra-RMM, cdma2000 a WiMAX, iniciado por el móvil

En este escenario, el móvil, conectado a un RAG con tecnología radio cdma2000, realiza un handover a un RAG con tecnología radio WiMAX [802.16e]¹²¹. La Figura 99 muestra el escenario de handover de un RAG cdma2000 a uno WiMAX.

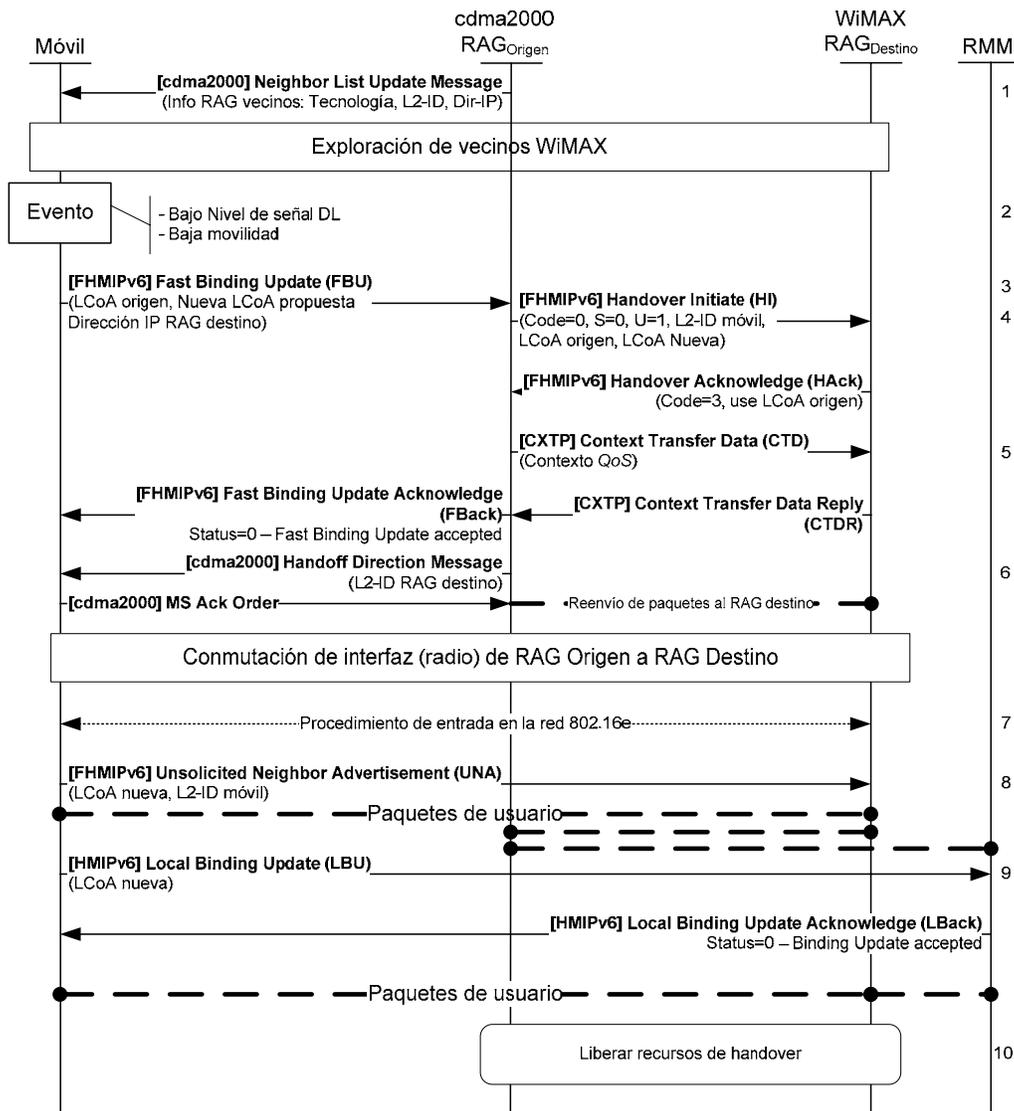


Figura 99 Escenario de handover intra-RMM desde un RAG cdma2000 a uno WiMAX

¹²¹ Este escenario podría estar presente en casos donde exista una capa radio cdma2000 promoviendo servicios de macromovilidad, mientras que la capa WiMAX ofrece servicios de micromovilidad y altas capacidades.

4.9.5.2 Handover inter-RMM en UMTS, iniciado por la red

En este escenario, el móvil, conectado a un RAG con tecnología radio UMTS, realiza un handover a otro RAG con tecnología UMTS, estando bajo la jerarquía de otro RMM.

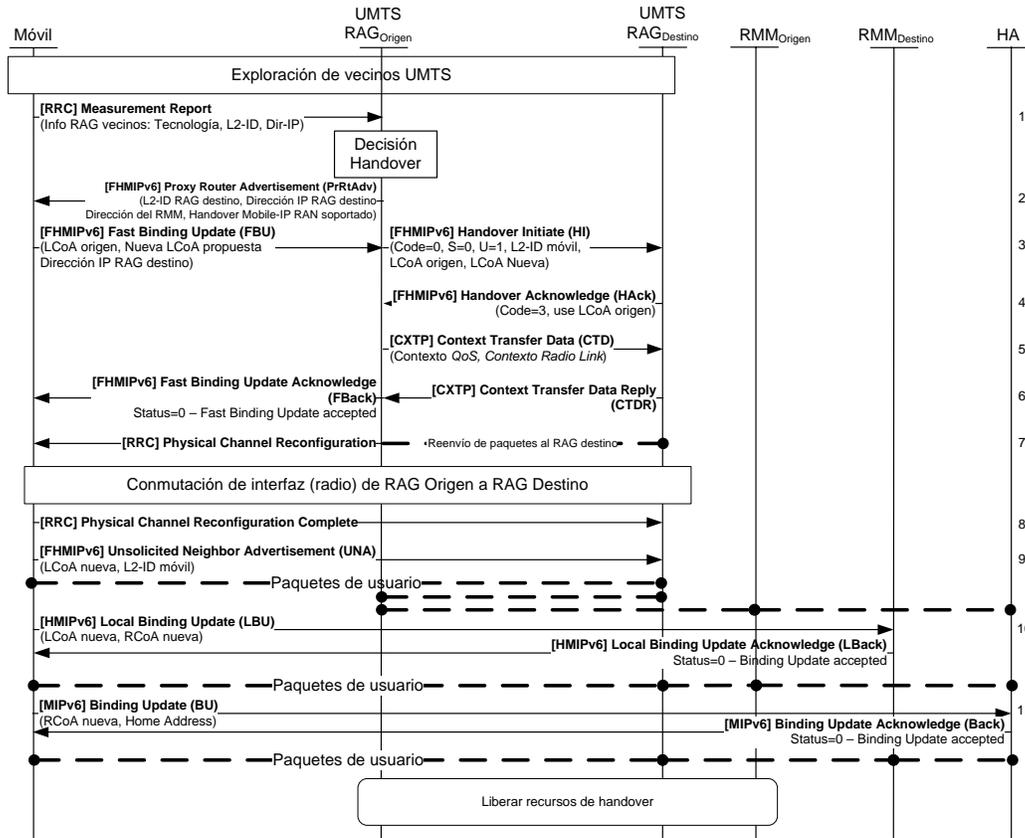


Figura 100 Escenario de handover inter-RMM entre dos RAGs UMTS

4.9.6 Soft-handover en Mobile-IP RAN

El soft-handover es un mecanismo de gestión de recursos y movilidad radio propio de los sistemas radio basados en un acceso móvil CDMA (IS-95, cdma2000, UMTS). A través de este procedimiento el móvil puede mantener la comunicación simultánea con la red a través de varios enlaces simultáneos en distintas células. El objetivo del soft-handover es incrementar la fiabilidad del enlace radio, así como aumentar la calidad de la comunicación a través del mecanismo de combinación de tramas radio (por el móvil) y de selección/distribución (por el controlador de red radio: RNC en UMTS y BSC/SDU en IS-95 y cdma2000). Durante la vida útil de la comunicación del móvil, se pueden añadir y eliminar células del grupo activo¹²².

En Mobile-IP RAN, el procedimiento de soft-handover se realiza directamente entre dos o más RAGs^{123,124}, siendo estos, junto con el móvil, los dos únicos elementos de la red Mobile-IP RAN

¹²² El grupo activo consiste en el grupo de células que se encuentran en soft-handover con el móvil

¹²³ También es posible realizar soft-handover entre dos células que pertenecen al mismo RAG, sin embargo es un procedimiento interno al RAG, por lo que no se especifica en esta tesis.

involucrados en el proceso de soft-handover. El RAG origen es el RAG donde se encuentra la célula principal del grupo activo, el RAG destino es el RAG donde se encuentra la célula que va a ser añadida al grupo activo, es decir el RAG donde se va a establecer el soft-handover. La Figura 101 muestra la arquitectura de soft-handover en Mobile-IP RAN.

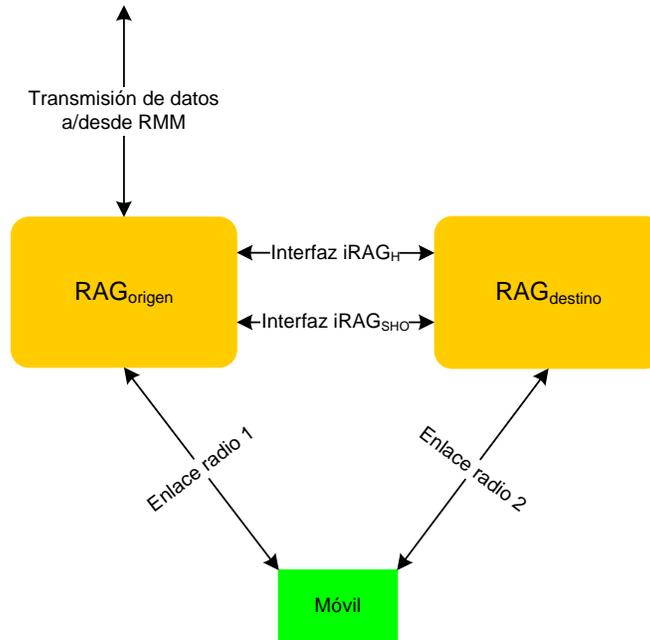


Figura 101 Arquitectura de soft-handover en Mobile-IP RAN

Para la realización del soft-handover en Mobile-IP RAN, se ha especificado la interfaz iRAG_H para señalar el handover¹²⁵. La interfaz iRAG_{SHO} se utiliza para el envío de información de señalización y datos de usuario relativos al soft-handover y al enlace radio. Las pilas de protocolos de las interfaces iRAG_H e iRAG_{SHO} han sido definidas en la sección 4.4. Para la transferencia de datos de usuario se utilizan tramas pertenecientes al plano de usuario del protocolo de la interfaz iRAG_{SHO}, tal como se describe en las secciones 4.4.1.4 y 4.4.9.6.

4.9.6.1 Escenarios de Soft-handover

Los escenarios de soft-handover muestran los procedimientos para añadir una célula al grupo activo de soft-handover del móvil, eliminar una célula del grupo activo y hacer un cambio del RAG principal del soft-handover, denominado RAG de anclaje.

4.9.6.1.1 Añadir una célula al grupo activo

La Figura 102 muestra el procedimiento de soft-handover en Mobile-IP RAN para añadir una célula al grupo activo del móvil.

¹²⁴ El número de RAGs que pueden estar en soft-handover depende de la tecnología radio.

¹²⁵ Handover común se refiere al handover IP que implica una transferencia de contexto y la actualización de la ubicación del móvil en Mobile-IPv6.

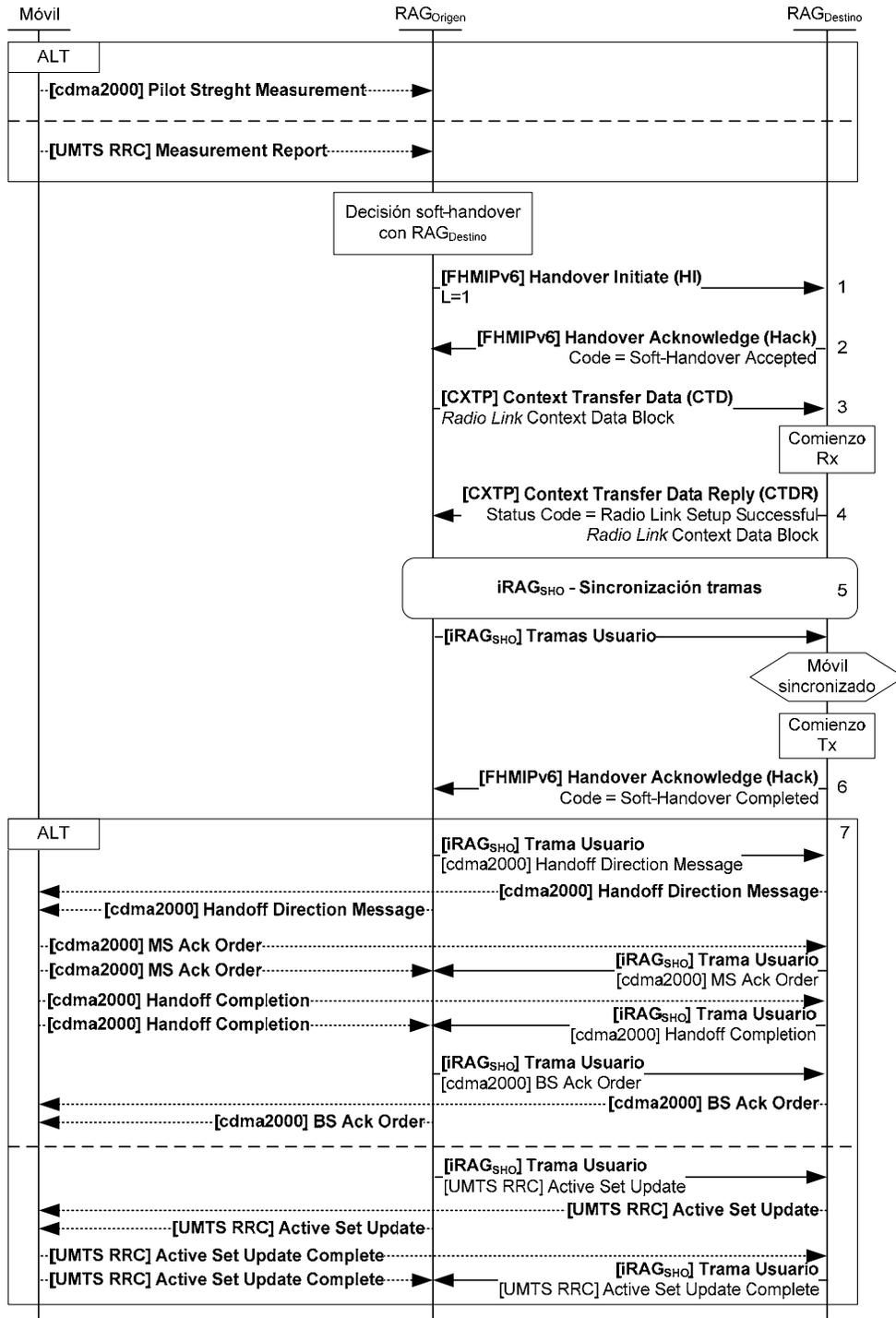


Figura 102 Procedimiento soft-handover para añadir una célula al grupo activo

1. Basados en las medidas reportadas por el móvil¹²⁶, el RAG principal (origen), decide añadir una célula en otro RAG al grupo activo y envía el mensaje *Handover Initiate (HI)* al RAG destino con $L=1$ indicando un procedimiento de soft-handover, y la dirección IPv6 y el identificador del móvil¹²⁷ en el enlace radio.
2. El RAG destino responde con un mensaje *Handover Acknowledge (Hack)* indicando un *Status Code = 131 – Soft-Handover Accepted*
3. El RAG origen inicia la transferencia del Contexto del enlace radio enviando un mensaje *Context Transfer Data (CTD)* al RAG destino, indicando la dirección IP del móvil y un *Feature Profile Type = Radio Link*.
4. El RAG destino prepara los recursos del enlace radio, inicia la recepción y responde con el mensaje *Context Transfer Data Reply (CTDR)* con un *Status Code = Radio Link Setup Successful*.
5. El RAG origen comenzará a transmitir tramas de sincronización con el fin de realizar la sincronización de tramas en el plano de usuario¹²⁸. Una vez sincronizado el RAG origen comienza a transmitir tramas de usuario al RAG destino.
6. Una vez que el móvil se sincroniza con el RAG destino, éste comienza la transmisión al móvil y envía un mensaje *Handover Acknowledge (Hack)* al RAG origen indicando con un *Code = 132 – Soft-Handover Completed*.
7. Al recibir el mensaje *Handover Acknowledge (Hack)* indicando la sincronización del móvil en el RAG destino, el RAG origen comanda al móvil a añadir la nueva célula al grupo activo¹²⁹. Una vez añadida la célula al grupo activo, el móvil informa que ha añadido la célula al grupo activo¹³⁰. Este mensaje es enviado en soft-handover (a las dos células). A partir de este momento, el RAG destino comienza a reenviar las tramas radio que llegan del móvil al RAG origen, durante la vida útil del soft-handover.

4.9.6.2 Eliminar una célula del grupo activo

La Figura 103 muestra el procedimiento de soft-handover en Mobile-IP RAN para eliminar una célula al grupo activo del móvil.

1. Basado en las medidas reportadas por el móvil¹³¹, el RAG principal (origen) decide eliminar un enlace radio del grupo activo, ubicado en el RAG destino, por lo que comanda al móvil a actualizar el grupo activo, eliminando la célula ubicada en el

¹²⁶ Mensaje *Pilot Strength Measurement Message* en cdma2000 y *Measurement Report* en UMTS

¹²⁷ El identificador del móvil en el enlace radio sigue el formato establecido en [RFC5271].

¹²⁸ La sección 4.10.4.2 explica los mecanismos de sincronización en el plano de usuario para el soft-handover.

¹²⁹ Mensaje *Extended/General/Universal Handoff Direction Message* en cdma2000 y [RRC] *Active Set Update* en UMTS.

¹³⁰ Mensaje *Handoff Completion Message* en cdma2000 y [RRC] *Active Set Update Complete* en UMTS.

¹³¹ Mensaje *Pilot Strength Measurement Message* en cdma2000 y *Measurement Report* en UMTS.

RAG destino¹³². Una vez eliminada la célula del grupo activo, el móvil desactiva la recepción sobre ese enlace radio y envía la confirmación¹³³.

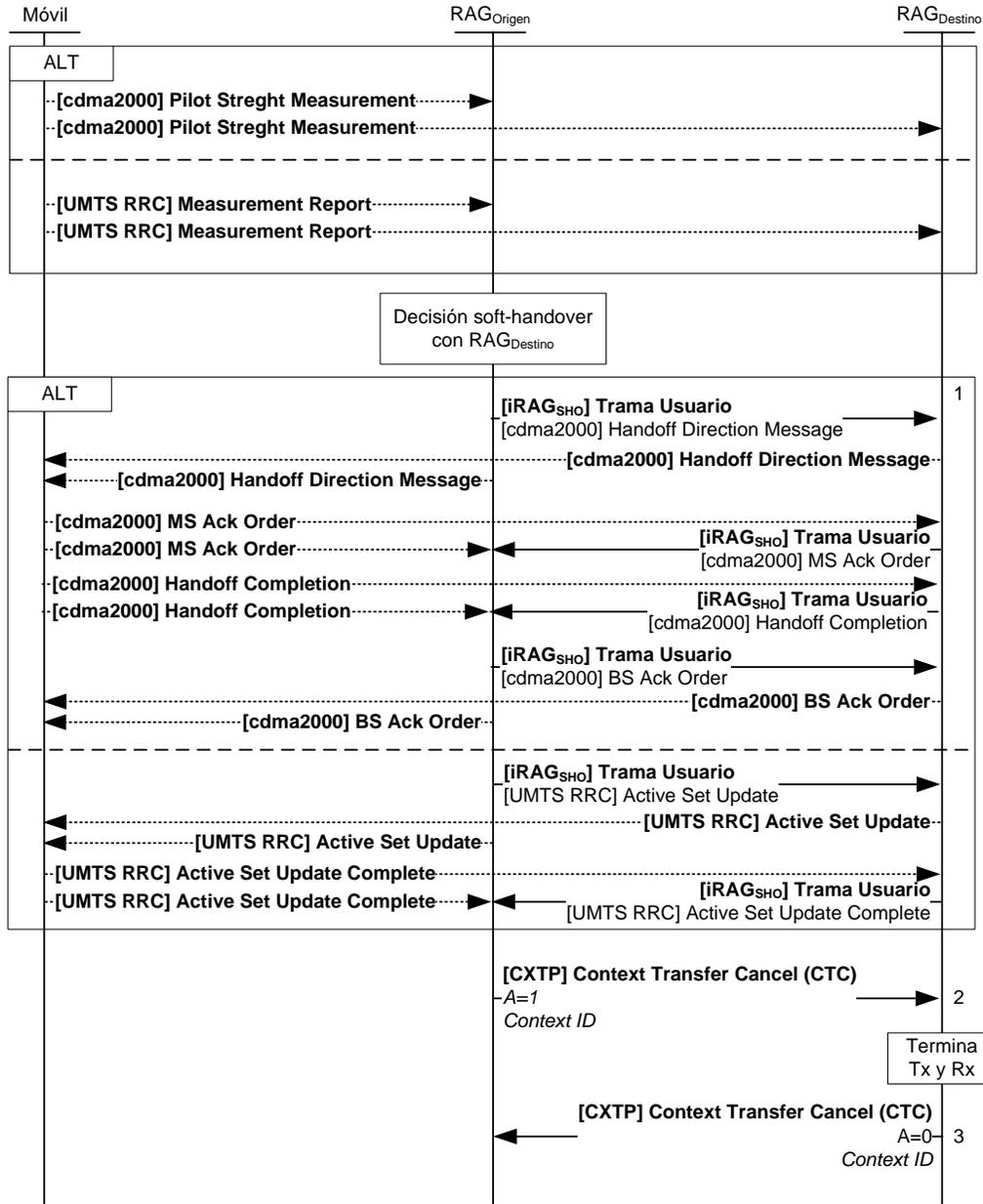


Figura 103 Procedimiento soft-handover para eliminar una célula del grupo activo

¹³² Enviando el mensaje *Extended/General/Universal Handoff Direction Message* en cdma2000 o *Active Set Update* en UMTS

¹³³ Mensaje *Handoff Completion Message* en cdma2000 o mensaje *Active Set Update* en UMTS

2. El RAG origen envía en mensaje *Context Data Cancel (CTC)* al RAG destino para eliminar el contexto de transferencia de tramas de usuario identificado por el *Context ID*. El RAG Origen solicita confirmación ($A=1$).
3. El RAG destino, al recibir el mensaje, termina la transmisión y recepción sobre el enlace radio, libera los recursos radio así como los recursos relacionados con la interfaz $iRAG_{SHO}$ y envía el mensaje *Context Data Cancel (CTC)* para confirmar que el contexto ha sido borrado.

4.9.6.3 Cambio de célula principal en el grupo activo

El cambio de célula principal en el grupo activo es en principio un mecanismo propio del nivel de enlace (intercambio de mensajes *[RRC] Active Set Update* para UMTS y *[cdma2000] Handoff Direction Message* para cdma2000) donde se establece el nuevo orden de células en el grupo activo. Este procedimiento, por si solo, no implica cambios en el estado de movilidad Mobile-IP RAN. Sin embargo, el cambio de célula principal en el grupo activo puede implicar que la célula (RAG) origen puede que deje de ser un buen candidato para seguir perteneciendo al grupo activo, por lo que a nivel de enlace, la conectividad con el móvil puede perderse. Al igual que en las redes móviles 3G, en estos casos, se hace necesario la transferencia del contexto de gestión de los recursos y de movilidad al RAG destino (en este caso el nuevo RAG principal del grupo activo). En el contexto de Mobile-IP RAN, este procedimiento se denomina cambio del RAG de anclaje.

4.9.6.3.1 Procedimiento de cambio del RAG de anclaje

La Figura 104 muestra el procedimiento de cambio del RAG de anclaje, en el que un móvil tiene soft-handover con tres RAGs:

1. El RAG origen, decide un cambio en el orden de las células del grupo activo, por lo que inicia el procedimiento de actualización del grupo activo¹³⁴.
2. El RAG origen, decide un cambio del RAG de anclaje al RAG destino, enviando el mensaje *[FHMIPv6] Handover Initiate (HI)* indicando una petición de cambio del RAG de anclaje ($R=1$). El campo *Identifier* utilizado en el mensaje es el mismo utilizado para el establecimiento del handover en la interfaz $iRAG_{SHO}$. Asimismo inicia la transferencia del contexto "*Relocation*" que incluye información sobre los RAGs pertenecientes al grupo activo.
3. El RAG destino, con la información recibida, asigna una nueva dirección LCoA, e inicia el procedimiento de la creación del contexto del Radio Link sobre la interfaz $iRAG_{SHO}$, con cada uno de los RAGs que se encuentran en el grupo activo del móvil¹³⁵, esto incluye el envío del mensaje *[FHMIPv6] Handover Initiate (HI)* al RAG_{SHO_2} indicando un cambio del RAG de anclaje para el móvil identificado con el L2-ID, así como el establecimiento del contexto del enlace radio, a través de los mensajes *[CXTP] Context Transfer Data (CTD)* y *Context Transfer Data Reply*

¹³⁴ La señalización de este procedimiento es similar al punto (1) del procedimiento de eliminar de una célula del grupo activo.

¹³⁵ Indicados en el mensaje *[FHMIPv6] Handover Initiate (HI)*.

- (CTDR). Una vez preparado el contexto, el RAG involucrado (RAG_{SHO_2}), envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* indicando que está preparado para el cambio del RAG de anclaje.
4. Se realiza la sincronización de tramas de usuario sobre la interfaz iRAG_{SHO} entre el RAG destino y cada uno de los RAGs involucrados en el soft-handover (RAG_{SHO_2} en la figura).
 5. Una vez preparado el cambio en cada uno de los RAGs involucrados, el RAG destino envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Initiate (HI)* al RMM, indicando un cambio del RAG asociado con el móvil, identificado por la LCoA actual, e indicando la nueva LCoA.
 6. El RMM, cambia el mapeo LCoA-RCoA, y envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* al RAG destino, indicando que está preparado para el cambio del RAG de anclaje. En ese momento el RMM deja de reenviar paquetes destinados al móvil. El RAG destino, al recibir el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)*, envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* al RAG origen indicando que está preparado para el cambio del RAG de anclaje.
 7. El RAG origen envía el mensaje [HMIPv6] *Router Advertisement* al móvil, indicando una nueva LCoA, con el objeto de iniciar una actualización de localización del móvil con el RMM.
 8. El móvil, envía el mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update (LBU)* al RMM, indicando la nueva LCoA.
 9. El RMM, al recibir el mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update (LBU)*, envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* al RAG destino indicando que está cambiando el RAG de anclaje. El RAG destino, envía el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* indicando a cada uno de los RAGs involucrados en el soft-handover (RAG origen y RAG_{SHO_2}) que deben ejecutar el cambio del RAG de anclaje. Los RAGs involucrados reconfiguran su interfaz iRAG_{SHO}.
 10. Una vez reconfigurado el RAG destino responde al RMM con el mensaje [FHMIPv6] *Handover Acknowledge (HACK)* indicando que se ha completado el cambio del RAG de anclaje¹³⁶.
 11. Al recibir el mensaje del RAG destino, el RMM considera el cambio del RAG de anclaje completado, y envía el mensaje [HMIPv6] *Local Binding Update Acknowledge (LBack)* al móvil, a través del RAG destino. El RAG destino, como nodo de anclaje de soft-handover, utilizará la interfaz iRAG_{SHO} para el reenvío de las tramas radio al móvil a través de los enlaces radio que se encuentran en soft-handover con el móvil.

¹³⁶ El mismo mensaje es enviado desde los RAGs involucrados en el soft-handover al RAG destino.

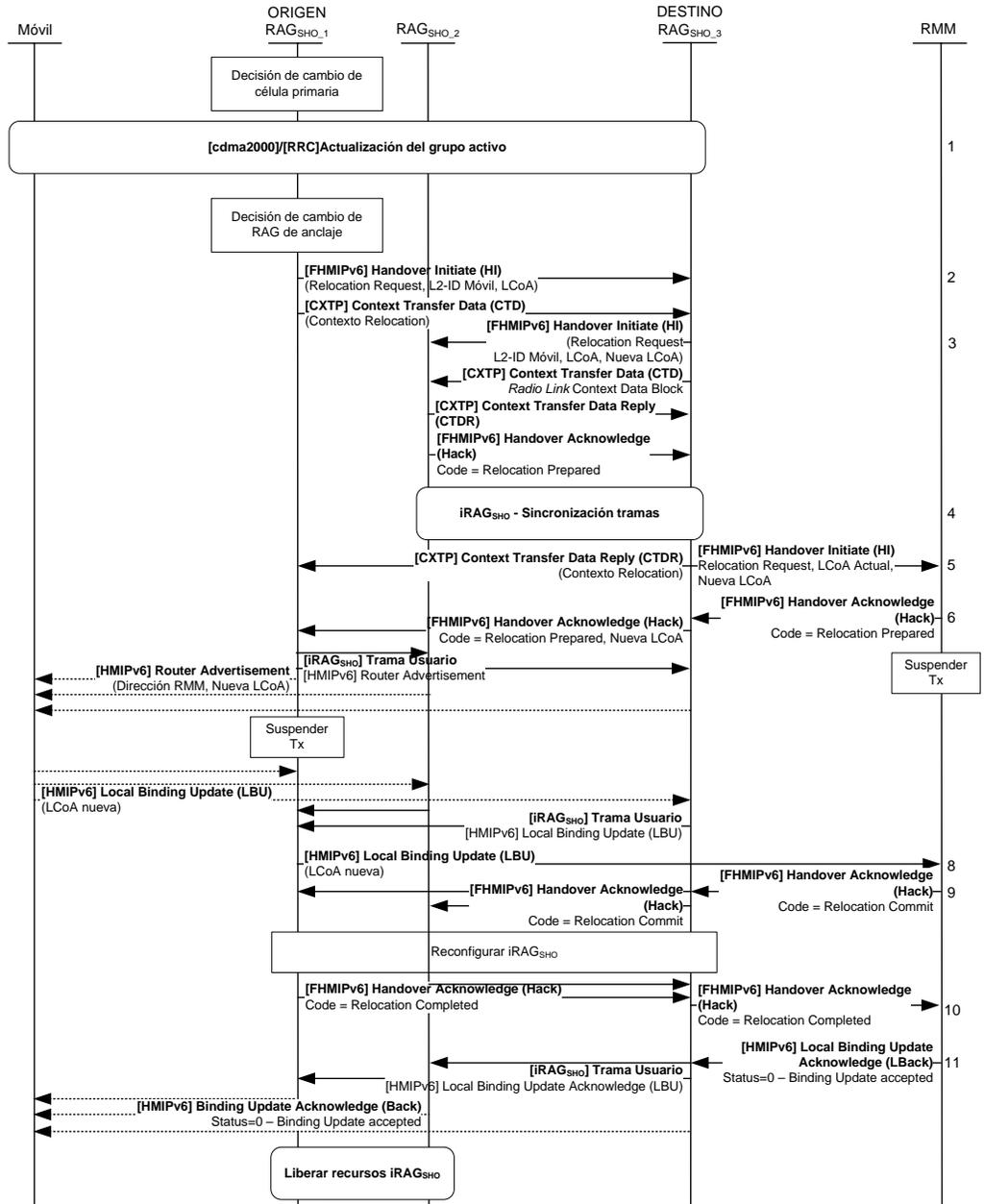


Figura 104 Procedimiento de cambio de célula principal del grupo activo con cambio del RAG de anclaje

4.10 Sincronización en Mobile-IP RAN

Como en cualquier otro sistema móvil, Mobile-IP RAN define un modelo de sincronización, donde existen los siguientes aspectos:

1. Sincronización de red, se refiere a la utilización de una referencia común de tiempo para los elementos de red, y la distribución de esta referencia a los diferentes relojes de los elementos de red en Mobile-IP RAN.

2. Sincronización de la interfaz radio¹³⁷, se refiere a la determinación de tiempos de transmisión y recepción y a la precisión de estos tiempos. Asimismo, se refiere a la capacidad del móvil de sincronizarse con los canales radio del sistema, para así poder leer la información de señalización y acceder a los servicios proporcionados a través de la interfaz radio.
3. Sincronización entre RAGs, permite la estimación del retardo de transmisión y procesamiento entre dos unidades de procesamiento (protocolo) que se encuentran en dos RAG distintos. La sincronización entre RAGs, en conjunto a la sincronización de tramas permite al nodo origen adaptar su transmisión para que llegue al nodo destino al momento destinado para su reenvío al móvil (por ejemplo, en el caso de soft handover). Asimismo la sincronización entre células, necesaria en los sistemas TDD para evitar interferencia entre células, se logra al sincronizar los RAGs a una referencia común de tiempo.
4. Sincronización de tramas. La sincronización de tramas se utiliza cuando dos RAGs están en soft-handover con un móvil, para asegurar que el RAG origen (de combinación/selección) envíe las tramas con un tiempo suficiente para que el RAG destino pueda transmitirla en el momento necesario para que las tramas, origen y destino, lleguen al mismo tiempo al móvil de forma que éste pueda combinarlas. Dentro de la sincronización de tramas, los ajustes de temporización permiten la adaptación dinámica de la temporización de las transmisiones de tramas de acuerdo a las condiciones del móvil, para asegurar la sincronización de las tramas en condiciones de movilidad del usuario.

La Figura 105 muestra el modelo simplificado¹³⁸ de sincronización de Mobile-IP RAN.

4.10.1 Sincronización de red

Mobile-IP RAN no define un nuevo modelo de sincronización general de red¹³⁹. Ésta utiliza los mecanismos existentes propuestos por [TS25402] y [CS0002-D] para los sistemas UMTS y cdma2000. La sincronización de red en estos sistemas depende de la interfaz radio utilizada:

- Interfaces radio que requieren sincronismo estricto entre los elementos de red, aplicable a las tecnologías radio cdma2000 y UMTS TDD. El sistema cdma2000 utiliza un tiempo único o de sistema para la sincronización de todos los elementos de la red radio. Este tiempo del sistema se deriva del sistema GPS. En el sistema UMTS TDD, debido a la naturaleza de la interfaz radio TDD, también se requiere la utilización de un tiempo único

¹³⁷ En el contexto de Mobile-IP RAN, la sincronización de tramas se considera un ítem separado de la interfaz radio, a diferencia de los que especifica [TS25402]. Se realiza de esta forma porque ambas tienen una naturaleza distinta: la sincronización radio es necesaria para cualquier sistema radio, mientras que la sincronización entre tramas es necesaria fundamentalmente para la eficiencia de los buffer de transmisión de los RAG y para los sistemas que utilizan el mecanismo de soft handover.

¹³⁸ El modelo simplificado de sincronización muestra la sincronización de red solo para el RAG. La sincronización de red es un mecanismo que aplica a todos los elementos de red que necesitan una referencia común de sincronización.

¹³⁹ Se ha considerado que definir un nuevo modelo único de sincronización de red, significaría un cambio fundamental en las tecnologías o sistemas radio existentes. Además, debido a la arquitectura general de red de Mobile-IP RAN, los diferentes modelos de sincronización afectan únicamente el diseño del RAG.

del sistema, derivado de una fuente primaria. Se ha especificado que esta fuente primaria se derive del tiempo del sistema GPS o del tiempo del sistema Galileo.

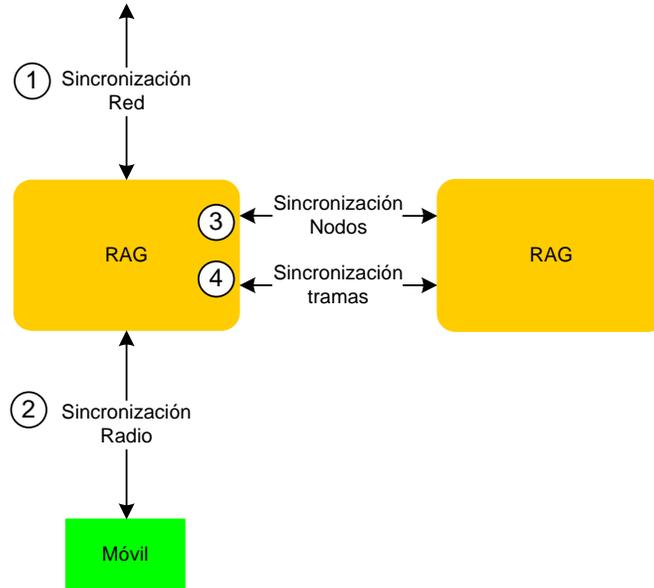


Figura 105 Modelo simplificado de sincronización en Mobile-IP RAN

- Interfaces radio que no requieren un sincronismo estricto entre los elementos de red, aplicable a las tecnologías radio GSM, UMTS FDD o WLAN. La interfaz radio UMTS modo FDD utiliza mecanismos de sincronización de usuario indirectos definido en [TS25402] sobre una red asíncrona. En el sistema GSM o WLAN, no es necesario que los elementos de red se encuentren sincronizados entre sí por lo que se consideran en operación asíncrona o con baja sincronización. En este escenario, los elementos de más alta jerarquía en la red, tales como el MSC, poseen un reloj de alta precisión y proporcionan sincronismo a los elementos de menor jerarquía, tales como el RNC y Nodos B a través de las interfaces terrestres (por ejemplo interfaces SDH). En ninguno de estos sistemas existe una referencia de tiempo estricta en el sistema.

4.10.1.1 Sincronización estricta de red en Mobile-IP RAN

Para los sistemas basados en tecnologías MC-CDMA (IS-95, cdma2000) y CDMA en duplex TDD (UMTS TDD) se requiere una fuente de sincronización única, es decir, un tiempo del sistema que permita a los nodos sincronizarse a esta fuente común y sincronizarse entre sí.

Se han especificado dos opciones para obtener el tiempo del sistema en los RAG^{140,141}:

¹⁴⁰ Esto es con el objeto de mantener la arquitectura de los RAGs lo más parecida posible a la arquitectura de los módulos radio de las estaciones base de las tecnologías existentes.

¹⁴¹ A lo largo de esta sección se hace referencia al RAG como único elemento que requiere una base de sincronismo. Dependiendo de la tecnología radio y con ciertos algoritmos de posicionamiento, es posible que el PDE requiera obtener la señal de sincronismo. En este caso, el método de obtención del sincronismo es el mismo que el mostrado aquí para el RAG.

1. Un módulo GPS opcional que adquiere el tiempo del sistema de la red. Esta opción, ya implantada en los sistemas IS-95 y cdma2000 tiene la ventaja de lograr una estricta sincronización entre los elementos de red. El módulo GPS es opcional, ya que es requerido por los RAGs cuya tecnología radio requiera una estricta sincronización entre sí. Las especificaciones de cdma2000 [CS0002-D] y UMTS [TS25402] especifican la sincronización de la red utilizando la señal del sistema GPS [ISGPS200] como referencia del sistema.
2. Para aquellos RAG donde no es viable¹⁴² instalar el módulo GPS opcional, es posible realizar el sincronismo de red propagando una señal de reloj que permita sincronizar las variables más importantes del tiempo del sistema, en forma similar a lo realizado en [TS25402] para la sincronización entre Nodos B UMTS TDD, adaptado a un entorno genérico en términos de intervalos de transmisión de tramas y soportando los ciclos de los números de trama de las interfaces existentes.

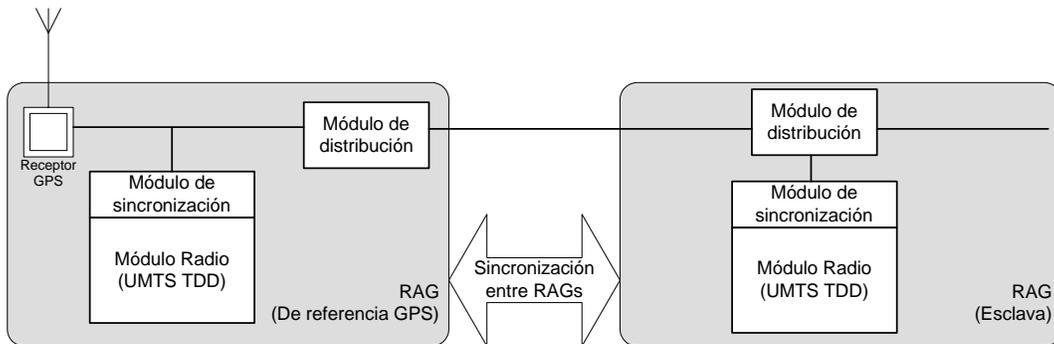


Figura 106 Opción de distribución del tiempo de sistema en Mobile-IP RAN

En esta opción, existen dos tipos de RAGs: los RAG de referencia GPS, son aquellos que incorporan el receptor GPS y sincronizan el tiempo de sistema directamente de la señal del satélite. Los RAG de referencia incorporan un modulo de distribución, que se encarga de mantener la señal de reloj sincronizada al sistema GPS. La configuración de un RAG como referencia o como esclava se realiza por configuración externa (OMC).

La señal de reloj propuesta, tiene las características de banda base descritas en [TS25402] modificada para sincronizar la referencia hasta 5 ms. Esto con el objetivo de sincronizar los siguientes eventos presentes en la tecnología cdma2000 y/o UMTS:

- Tamaños de trama múltiplos de 5 ms
- Ciclos de tramas múltiplos de 80 ms, identificando distintivamente 80 ms, 2560 ms (2,56 s) y 40960 ms (40,96 s) que corresponden a ciclos de 16, 256 y 4096 tramas respectivamente¹⁴³.

¹⁴² En el contexto de esta tesis, no se analiza en detalle los aspectos que no harían viable la incorporación del módulo GPS al RAG. Se pueden destacar aspectos relacionados con el costo del RAG, o aquellos relacionados con la ubicación del RAG (por ejemplo en subterráneos, túneles, y áreas sin visibilidad hacia el espacio).

¹⁴³ La identificación explícita del ciclo 256 (a 10 ms) y el ciclo 4096 (a 10 ms), se realiza para tener compatibilidad hacia atrás con la sincronización de la interfaz radio TDD de UMTS, tal y como está definida en [TS25402].

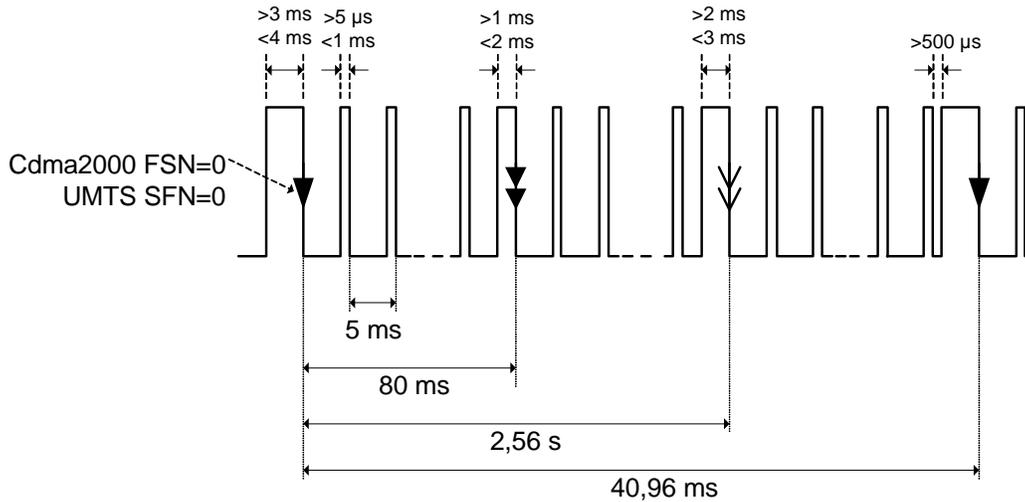


Figura 107 Señal de referencia (de reloj) de sincronismo entre RAGs para sincronización estricta

4.10.2 Sincronización de la interfaz radio

Una de las premisas de Mobile-IP RAN es mantener la interfaz radio sin cambios, esto con el fin de no modificar el hardware relacionado con la etapa radio de las diferentes tecnologías radio. La sincronización, siendo un procedimiento de bajo nivel¹⁴⁴, es particular a cada tecnología. Mobile-IP RAN mantiene intacta la sincronización de la interfaz radio para las distintas tecnologías. Para mayor información sobre la sincronización de la interfaz radio en distintas tecnologías, ver [CS0002-D], [TS25402], [TS45010] y [80211].

4.10.3 Sincronización entre RAGs

La sincronización entre RAGs es necesaria en aquellos sistemas basados en división de códigos, tales como IS-95, UMTS y cdma2000. Otros sistemas tales como GSM y los sistemas WLAN, no requieren una sincronización entre RAGs.

La sincronización entre RAGs se logra al sincronizar los tiempos del sistema (*SFN* en UMTS y *SYS_TIME* en cdma2000) derivados del mecanismo de sincronización estricto de red.

- Cuando el tiempo del sistema se deriva de la señal recibida del GPS, el tiempo de sistema cero comienza el 6 de enero de 1980 a las 00:00:00 GMT. En este caso, es posible que se establezca por configuración externa (OMC), de acuerdo a la naturaleza del sistema CDMA, un desplazamiento (offset) del tiempo del sistema para separar las ráfagas de sincronización de los diferentes RAGs, cuando estos operan en modo TDD.
- Cuando el tiempo del sistema se deriva de la señal recibida por los puertos de sincronización del RAG (aplicable a redes UMTS TDD), el RAG de referencia deriva el tiempo del sistema tal y como lo expresa [TS25402].

¹⁴⁴ La sincronización de la interfaz radio es un procedimiento de la capa física, relacionado fundamentalmente con la frecuencia, códigos y el (los) tiempo(s) del sistema.

4.10.4 Sincronización de tramas

4.10.4.1 Sincronización entre el RMM y el RAG

La interfaz entre el RMM y el RAG es considerada asíncrona a efectos de la sincronización de tramas, ya que no existen requerimientos de sincronización; la comunicación entre estos dos elementos es a través de paquetes IP como capa de interfuncionamiento.

4.10.4.2 Sincronización entre RAGs en soft-handover

En el caso tecnologías radio que utilicen soft-handover, Mobile-IP RAN proporciona la mecanismos de soporte del soft-handover a través de la comunicación entre los RAGs (interfaz iRAG_{SHO}).

La sincronización entre RAGs en soft-handover permite la sincronización de las tramas de usuario (datos y control) cuando el móvil se encuentra en situación de soft-handover. Estos mecanismos de sincronización permiten al RAG origen:

- Inicio y mantenimiento de la transmisión de tramas de usuario al RAG destino, con la temporización correcta para ser enviadas al móvil, en soft-handover.
- Determinación de los parámetros del enlace radio relacionados con el desplazamiento de tiempo (offset) entre los RAGs, necesarios para el correcto establecimiento del enlace radio en soft-handover por parte del RAG destino. Esto es necesario en el caso en que los RAGs no tengan una sincronización estricta de red, es decir, que los RAGs no estén sincronizados entre sí¹⁴⁵.

4.10.4.2.1 Sincronización de la transmisión de tramas al RAG destino

Como mencionan [AS0015-C] y [TS25402], los sistemas basados en tecnologías CDMA, que utilizan el soft-handover, requieren una sincronización de trama que permita, (a) que el RAG puedan enviar la trama radio al móvil en la trama radio indicada (para que llegue al mismo tiempo que la trama enviada por el RAG origen) y (b) que la trama no llegue demasiado temprano al RAG destino, para optimizar el almacenamiento (*buffer*) de tramas radio en el RAG. Para lograr esto, Mobile-IP RAN establece dos tramas de control, denominadas tramas de sincronización, que permiten:

- Al RAG origen, determinar, al comienzo del soft-handover, el tiempo de llegada de las tramas enviadas al RAG destino. Con esto el RAG origen puede adaptar su algoritmo de transmisión de tramas de acuerdo a la realimentación del tiempo de llegada, con el fin de reducir (o eliminar) las tramas perdidas por llegada tarde al RAG destino, y al mismo tiempo optimizar el buffer del RAG destino.
- Al RAG destino permite señalar al RAG origen cualquier condición en las que las tramas llegan o muy tarde o muy temprano. Con esto el RAG origen puede adaptar, durante la

¹⁴⁵ La sincronización estricta de red (entre RAGs) puede ocurrir en Mobile-IP RAN debido a una opción de implementación (por ejemplo si la interfaz radio es UMTS FDD, no es necesaria la sincronización estricta de red), o por fallos o desviaciones en los relojes fuente de la sincronización. En estos casos es necesario proporcionar un mecanismo asíncrono que permita la sincronización de tramas, a través de la determinación de los parámetros de desplazamiento inicial.

sesión de soft-handover, su algoritmo de transmisión de tramas de acuerdo a la realimentación del RAG destino.

4.10.4.2.1.1 Tramas de control de Sincronización (*DL Synch* y *UL Synch*)

La trama de sincronización en el enlace descendente (conocida como *DL Synch*) es una trama de control de la interfaz iRAG_{SHO} y la utiliza el RAG origen para solicitar al RAG destino el tiempo de llegada de la misma. La trama contiene el número de trama (radio) en que debe ser transmitida. El RAG destino debe responder con el mensaje *UL Synch* incluyendo el tiempo de llegada, respecto a su ventana de transmisión radio¹⁴⁶.

El procedimiento de sincronización de tramas a través de las tramas de control *DL Synch* and *UL Synch* mostrado en Figura 108 debe realizarse al iniciarse el soft-handover, antes de la transmisión de tramas de datos al RAG destino, para asegurar que las mismas son enviadas a tiempo al RAG destino para ser retransmitidas al móvil.

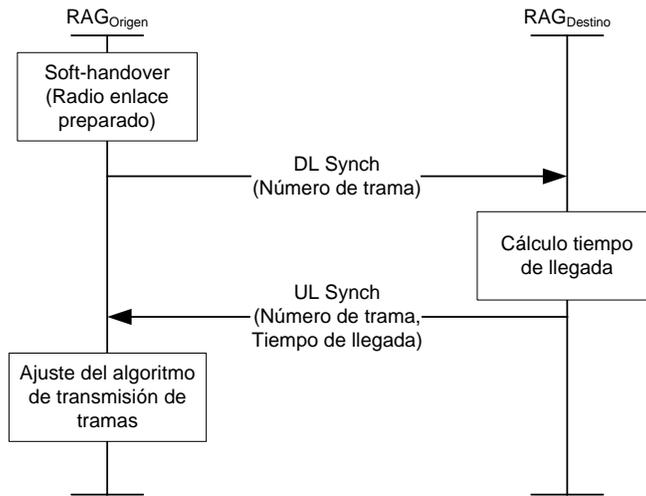


Figura 108 Procedimiento de sincronización de tramas entre RAGs en soft-handover

Durante la vida del soft-handover, es posible, dependiendo de las condiciones de la comunicación entre el RAG origen y el RAG destino (ancho de banda, retardos, jitter, etc.), que varíe el tiempo de llegada de las tramas al RAG destino, hasta el punto de que las tramas comiencen a llegar tarde o muy temprano. Para estos casos, el RAG destino envía al RAG origen, el tiempo de llegada en cada trama de datos de subida, permitiendo al RAG origen readaptar su algoritmo de transmisión de tramas de acuerdo al tiempo de llegada recibido.

¹⁴⁶ La ventana de transmisión radio depende del algoritmo utilizado. [TS25402] ofrece un modelo genérico para la sincronización de tramas que se ha utilizado como modelo para la sincronización de tramas en Mobile-IP RAN.

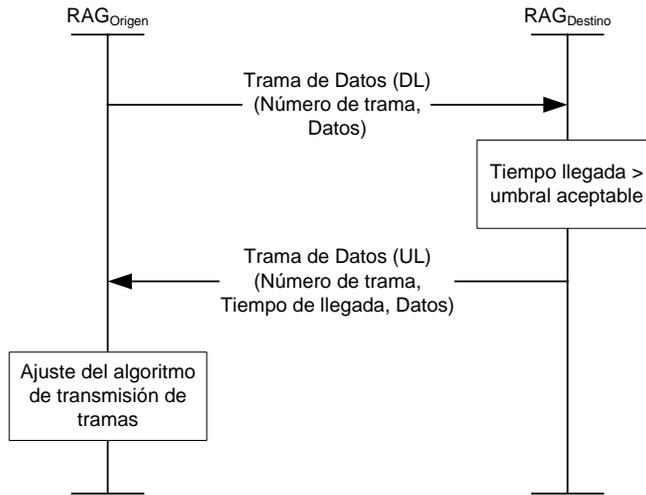


Figura 109 Procedimiento de ajuste de temporización utilizando la trama de datos de subida

4.10.4.2.2 Determinación de las diferencias de tiempo (*round-trip time*) entre RAGs

En Mobile-IP RAN la determinación del tiempo total de ida y vuelta proporciona información a la capa radio para la estimación de los parámetros de desplazamiento entre RAGs, cuando estos no están sincronizados entre sí.

Para determinar las diferencias de tiempo, Mobile-IP RAN utiliza los mensajes *DL RAG Synch* y *UL RAG Synch*. La Figura 110 muestra el comportamiento dinámico de estos mensajes.

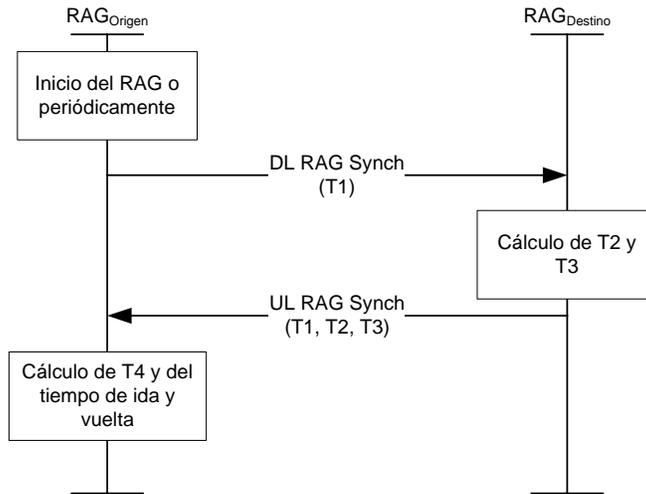


Figura 110 Procedimiento de determinación del tiempo de ida y vuelta entre RAGs

El mecanismo utilizado para la obtención de la diferencia de tiempo entre RAGs es igual al utilizado en el procedimiento *Node Synchronisation* de [TS25402, TS25427].

4.11 Descubrimiento de Servicios en Mobile-IP RAN

Mobile-IP RAN soporta el descubrimiento de servicios de red y de usuario (telecomunicación), tanto en el acceso como en la red troncal e incluye una arquitectura, con tres propósitos fundamentales:

- Permitir a los móviles adquirir la información de los nodos de servicio sobre cualquier red de acceso, de una forma homogénea e independiente del tipo o tecnología de acceso¹⁴⁷, a través de mecanismos basados en IP.
- Proporcionar una arquitectura que permita, de una forma sencilla, añadir nuevos servicios de red y de telecomunicación, y que estos puedan ser conocidos por el móvil.
- Minimizar la configuración manual necesaria en los elementos de red para la correcta operación del sistema.

En términos genéricos, Mobile-IP RAN ofrece los siguientes servicios de red: AAA, calidad de servicio, determinación de la posición, gestión de movilidad y gestión de los recursos radio. Asimismo, la red troncal a la que Mobile-IP RAN está conectada ofrece servicios de localización de usuario, movilidad de red, servidores (SIP) de sesiones multimedia y otros servicios de telecomunicación.

Los móviles y los elementos de la red Mobile-IP RAN deben conocer la ubicación (dirección) de los nodos que prestan los servicios necesarios, para la correcta operación de la red y del servicio. La Tabla 12 muestra los distintos servicios (y los nodos asociados), así como los nodos de red que deben conocer su ubicación.

Servicio	Móvil	RAG	RMM	HA
AAA (RA3C)		X	X	
Calidad de servicio (RQoSb)		X	X	
Determinación de la posición (PDE)	X	X		
Gestión de la movilidad (RMM)	X			
Gestión de recursos radio (RRM)		X		
Servicio de localización (LBS-S)	X			
Servicio de sesiones multimedia (servidor SIP)	X			

Tabla 12 Servicios soportados por Mobile-IP RAN y la red troncal cuya ubicación debe ser conocida

¹⁴⁷ Las redes móviles 3G proporcionan información sobre los servicios de red a través de los mensajes de información del sistema, sin embargo, estos mecanismos no existen en las redes tipo WLAN, por lo que es necesario que el móvil pueda obtener esta información por otros métodos.

4.11.1 Arquitectura de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN

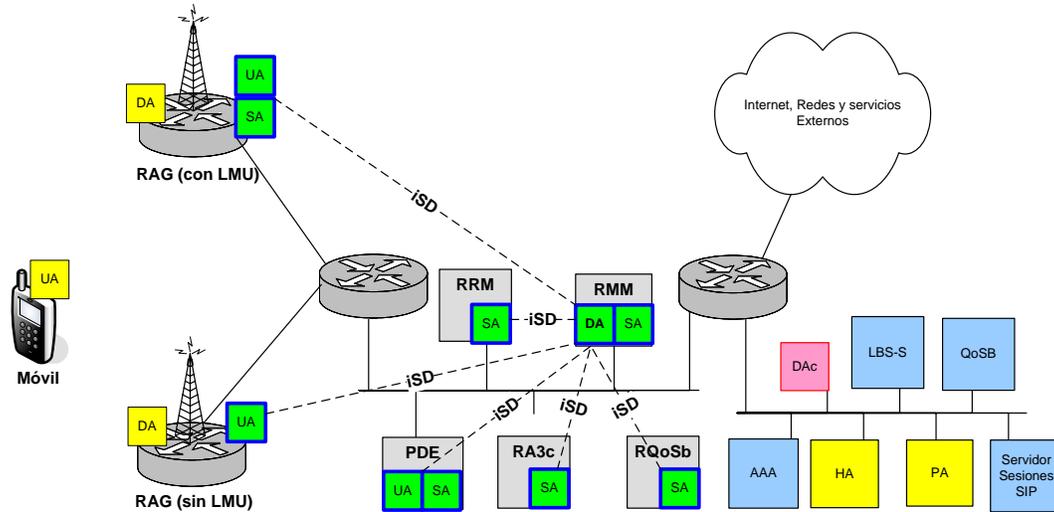


Figura 111 Arquitectura de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN

La Figura 111 muestra la arquitectura del mecanismo de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN, basada en una arquitectura genérica que contiene tres elementos lógicos:

- **Agente del Usuario (UA, *User Agent*):** El UA representa al usuario que solicita uno o más servicios. Este usuario puede ser un elemento de red o un móvil. En Mobile-IP RAN, todos los elementos que necesitan conocer la ubicación de un servicio, tiene una entidad lógica UA.
- **Agente del Servicio (SA, *Service Agent*):** El SA representa al servicio y lo anuncia a los elementos de red. En Mobile-IP RAN, cada elemento que proporciona un servicio que debe ser conocido por otros elementos (para la correcta operación o utilización del servicio), lo anuncia.
- **Agente de Directorio (DA, *Directory Agent*):** El DA es la base de datos (páginas amarillas) de los servicios del subsistema de red. El DA es el elemento en que se registran los servicios (SA) y también el elemento que comunica la ubicación de los servicios requeridos por los usuarios (UA).

La interfaz iSD, es la interfaz lógica de comunicación entre los agentes de directorio, servicio y usuario de la red Mobile-IP RAN. Está definida en la sección 4.4.3.

En Mobile-IP RAN, se definen tres ámbitos de red específicos para el descubrimiento de servicios:

- **Ámbito móvil-red:** Este ámbito define los servicios que pueden ser requeridos por el móvil.
- **Ámbito Mobile-IP RAN:** Este ámbito define los servicios que pueden ser requeridos por un elemento de la red Mobile-IP RAN.

- **Ámbito red troncal:** Este ámbito define los servicios que pueden ser requeridos por un elemento de la red troncal.

4.11.1.1 Ámbito móvil-red

En el ámbito móvil-red, el móvil necesita conocer la dirección de los servicios de telecomunicación, localización, movilidad, etc, que se mencionan en la Tabla 12.

En las redes 3G, a través de los mensajes de información del sistema, es posible difundir esta información a los móviles; sin embargo, otras tecnologías de acceso, tales como las tecnologías WLAN no proporcionan soporte a este tipo de mensajes por lo que la información del servicio debe ser proporcionada por otros protocolos.

En Mobile-IP RAN, se propone de forma genérica el uso del mensaje *Router Advertisement* para proporcionar esta información al móvil, a través de un nuevo contenedor denominado *Extensión Mobile-IP RAN*¹⁴⁸, descrito en la sección 4.4.8. Sin embargo, para mejorar la eficiencia cuando el acceso se basa en una interfaz radio 3G, se propone una función de mapeo de la información de movilidad IPv6 al mensaje de difusión de Información del Sistema de las redes 3G. Esta función de mapeo se describe en la sección 4.3.2. Asimismo, el Apéndice A muestra las extensiones necesarias en el mensaje de información del sistema UMTS para el soporte de servicios Mobile-IP RAN¹⁴⁹.

4.11.1.2 Ámbito Mobile-IP RAN

En el ámbito Mobile-IP RAN, el descubrimiento de servicios de red se realiza a través de la interacción entre los agentes de servicio (SA), agentes de directorio (DA) y agentes de usuario (UA).

- Los agentes de servicio (SA) registran la ubicación del servicio en el agente de directorio (DA).
- Los agentes de usuario (UA) obtienen la ubicación de los servicios del agente de directorio (DA) designado¹⁵⁰.

En el ámbito Mobile-IP RAN, el agente de directorio (DA) se ubica en el RMM, ya que es el elemento gestor de la movilidad (elemento principal de Mobile-IP RAN) y por ende considerado el de mayor jerarquía en la red de acceso. Sin embargo, es de notar que el agente de directorio

¹⁴⁸ Otra opción analizada es permitir al móvil realizar descubrimiento de servicios sobre la interfaz radio. Este caso plantea un problema de escalabilidad de los protocolos de descubrimiento de servicios analizados, tales como [SLPv2] o ZeroConf, dado que estos protocolos están diseñados para soportar decenas o pocos cientos de usuarios, número que podría ser superado en un despliegue Mobile-IP RAN. En estos escenarios, la difusión de los parámetros del sistema es el mecanismo más utilizado y el adoptado en Mobile-IP RAN.

¹⁴⁹ El Apéndice muestra las extensiones necesarias para el soporte de servicios Mobile-IP RAN. Su extensión para el soporte de servicios de red troncal es directo, requiriendo otro bloque de información con similares características.

¹⁵⁰ Para cada agente de usuario y servicio, el agente de directorio designado se conoce por configuración previa. En Mobile-IP RAN puede haber más de un agente de directorio designado, para casos de redundancia o incluso compartición de infraestructura (aspecto no discutido en esta tesis). La configuración previa se establece como un mecanismo alternativo a la difusión, con un mejor control de la propagación de la información de servicios dentro de la red.

(DA) podría ser un elemento independiente de la red o estar ubicado en cualquier otro elemento de la red Mobile-IP RAN, ya que su función lógica es independiente.

Tomando en cuenta las necesidades de descubrimiento de servicios de los nodos de la red Mobile-IP RAN y los servicios disponibles (mostrados en la Tabla 12) se ha realizado la siguiente distribución de funciones:

- El agente de directorio (DA) se encuentra en el RMM.
- Existen agentes de servicio (SA) en el RAG (para el servicio del LMU), RMM (gestión de la movilidad), RRM (gestión de recursos radio), PDE (servicio de determinación de la posición), R3AC (AAA) y RQoSB (Calidad de servicio). Estos servicios se registrarán en el DA designado.
- Existe un agente de usuario (UA) en el RAG, utilizado por éste para obtener información de la red, que es necesaria enviar al móvil. La función de mapeo del RAG, mapeará esta información al mensaje *Router Advertisement* o a un mensaje de (difusión) de información del sistema de la red radio 3G.
- Existe un agente de usuario (UA) en el PDE, ya que éste necesita conocer de antemano la existencia de los LMU en la red para la realización de medidas de posicionamiento.

4.11.1.3 Ámbito red troncal

De forma análoga a la red Mobile-IP RAN, la red troncal también puede tener un agente de directorios que provea información de los servicios que ofrece al usuario final a través de la red Mobile-IP RAN.

En la arquitectura propuesta, los agentes de directorios (DA) de la red Mobile-IP RAN, pueden tener uno o más agentes de directorios designados en la red troncal, para obtener la información de los servicios que la misma ofrezca. Esta comunicación puede ser punto a punto a multicast entre los DA de la red Mobile-IP RAN y los DA de la red troncal.

Los DA de Mobile-IP RAN, almacenan esta información para reenviarla al agente de usuario del RAG una vez que éste lo solicite.

4.11.2 Protocolo de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN

Mobile-IP RAN utiliza el protocolo SLP (Service Location Protocol), definido en [SLPv2, Guttman2002, RFC3111] como mecanismo de descubrimiento de los servicios de red¹⁵¹.

La principal ventaja de la utilización de SLP, es que está soportado por el IETF y ya existen productos comerciales. Es un protocolo sencillo, que puede transportarse sobre TCP, UDP y

¹⁵¹ Es importante destacar que el objetivo de la propuesta de este protocolo no es otro que demostrar la aplicabilidad de la arquitectura de descubrimiento de servicios a la red Mobile-IP RAN. Es necesaria la realización de investigaciones adicionales (ver sección de trabajos futuros en las conclusiones de esta tesis) para comparar la utilización de SLP con otros protocolos/arquitecturas tales como FIPA [FIPA], ZeroConf [ZeroConf] u otros, en un escenario de red Móvil, para escoger el protocolo que presente condiciones óptimas de rendimiento en la arquitectura propuesta.

SCTP directamente y que requiere de pocas interacciones entre los nodos. Asimismo, el protocolo se adapta al entorno de una arquitectura de red móvil, ya que permite la configuración de ámbitos administrativos para separar los servicios de usuario, de la red de acceso Mobile-IP RAN y de la red troncal.

4.11.3 Escenarios de descubrimiento de servicios

4.11.3.1 Registro de servicios (SA) en el agente de directorio (DA en el RMM)

El registro de servicios se realiza al inicializar cada uno de los nodos de la red Mobile-IP RAN. Los agentes de servicio (SA) de cada uno de los nodos se registran con el agente de directorio que se encuentra en el RMM. La Figura 112 muestra el diagrama de señalización para el procedimiento de registro de servicio.

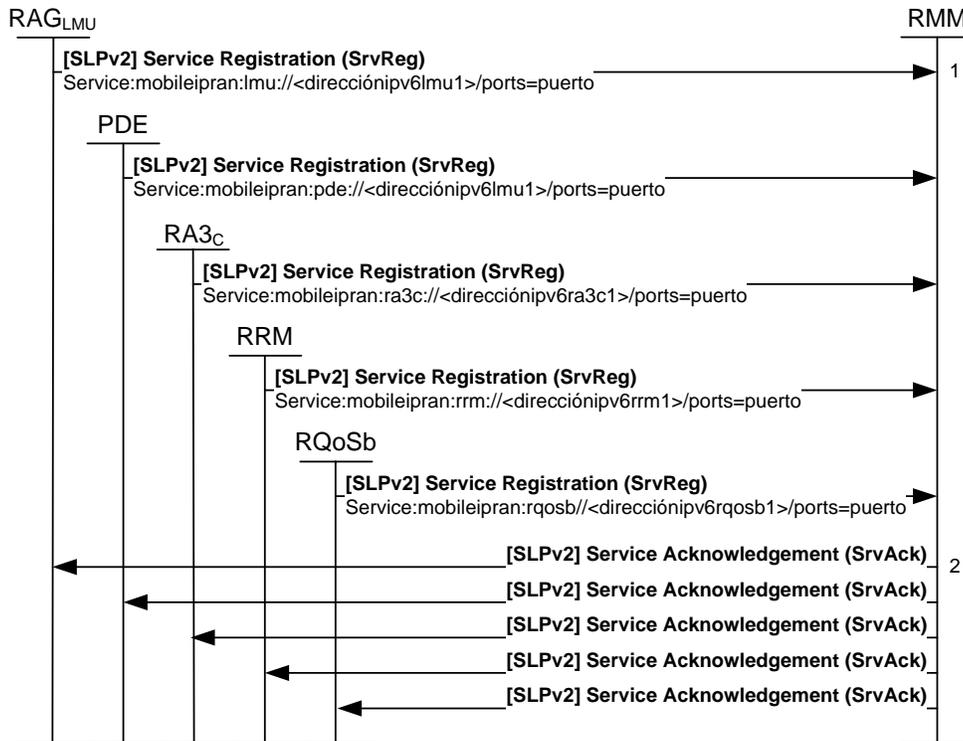


Figura 112 Procedimiento de registro de servicios en Mobile-IP RAN

1. Los nodos de la red, al inicializarse, inician el procedimiento de registro del servicio de red (lmu, pde, ra3c, rrm, rqsob) en el agente de directorio (DA) del RMM, enviando el mensaje *[SLPv2] Service Registration (SrvReg)*. Este mensaje indica el ámbito del servicio (Mobile-IP RAN), el tipo (lmu, pde, etc.) y su ubicación (dirección IPv6 y puerto). Asimismo, el mensaje puede contener información adicional, tales como la versión del servicio, información adicional relativa al servicio (por ejemplo tipos de medidas soportadas en el lmu).
2. El RMM, al recibir el mensaje, suscribe el servicio en la base de datos, y envía como respuesta el mensaje *[SLPv2] Service Acknowledgement (SrvAck)*.

4.11.3.2 Descubrimiento de servicios (UA) en el agente de directorio (DA en el RMM)

Cuando un nodo de la red Mobile-IP RAN necesita obtener la información de ubicación de un servicio de red, su agente de usuario (UA) realiza una petición de servicio al agente de directorio en el RMM, indicando el servicio requerido. La Figura 113 muestra el diagrama de señalización en el que el PDE realiza una petición de servicios de medidas (LMU) al agente de directorio del RMM.

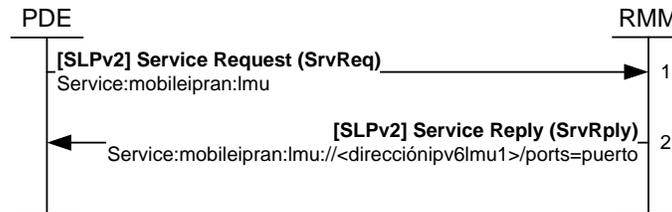


Figura 113 Procedimiento de descubrimiento de servicios de medidas LMU en Mobile-IP RAN

1. El nodo de la red Mobile-IP RAN (en este caso el PDE) solicita al agente de directorio designado información del servicio LMU, enviando el mensaje *[SLPv2] Service Request (SrvReq)* al RMM, indicando el tipo de servicio solicitado (LMU de Mobile-IP RAN). La petición del servicio puede contener información adicional, por ejemplo del tipo de medida requerido.
2. El RMM responde con la ubicación del LMU con el mensaje *[SLPv2] Service Reply (SrvRply)*.

4.11.3.3 Mapeo de servicios en el RAG

El RAG es el elemento de la red que difunde la información del sistema (servicios) a los móviles. Para esto, el RAG primero descubre los servicios disponibles en la red, y a través de su función de mapeo, los difunde a los móviles a través de sus canales/métodos disponibles. La Figura 114 muestra el procedimiento para dos tecnologías de acceso: UMTS y WLAN, que representan un amplio espectro de tecnologías de acceso con soporte de difusión de mensajes del sistema (UMTS, cdma2000, GSM) y aquellas que no lo poseen (802.11, 802.16e).

1. El RAG solicita al agente de directorio designado la información de todos los servicios Mobile-IP RAN disponibles, enviando el mensaje *[SLPv2] Service Request (SrvReq)* al RMM, indicando el tipo de servicio(s) solicitado (mobileipran). El RMM responde con la ubicación de los servicios Mobile-IP RAN con el mensaje *[SLPv2] Service Reply (SrvRply)*. Alternativamente a este método, el agente de directorio puede enviar periódicamente la información a los RAG a través del mensaje *[SLPv2] DA Advertisement (DAAdvert)*, eliminando la necesidad de interacción con cada uno de los RAG.
2. El RAG al recibir esta información, realiza el mapeo al ámbito red-móvil. El resultado de la función de mapeo depende del tipo de tecnología radio utilizada. En el caso de redes móviles 3G tales como UMTS, se utiliza el mensaje de difusión de información del sistema, específicamente el Bloque Mobile-IP RAN propuesto, para incluir la información necesaria. Para las tecnologías radio que no proveen el mensaje de información del

sistema, se utiliza la extensión Mobile-IP RAN propuesta para el mensaje [HMIPv6] Router Advertisement.

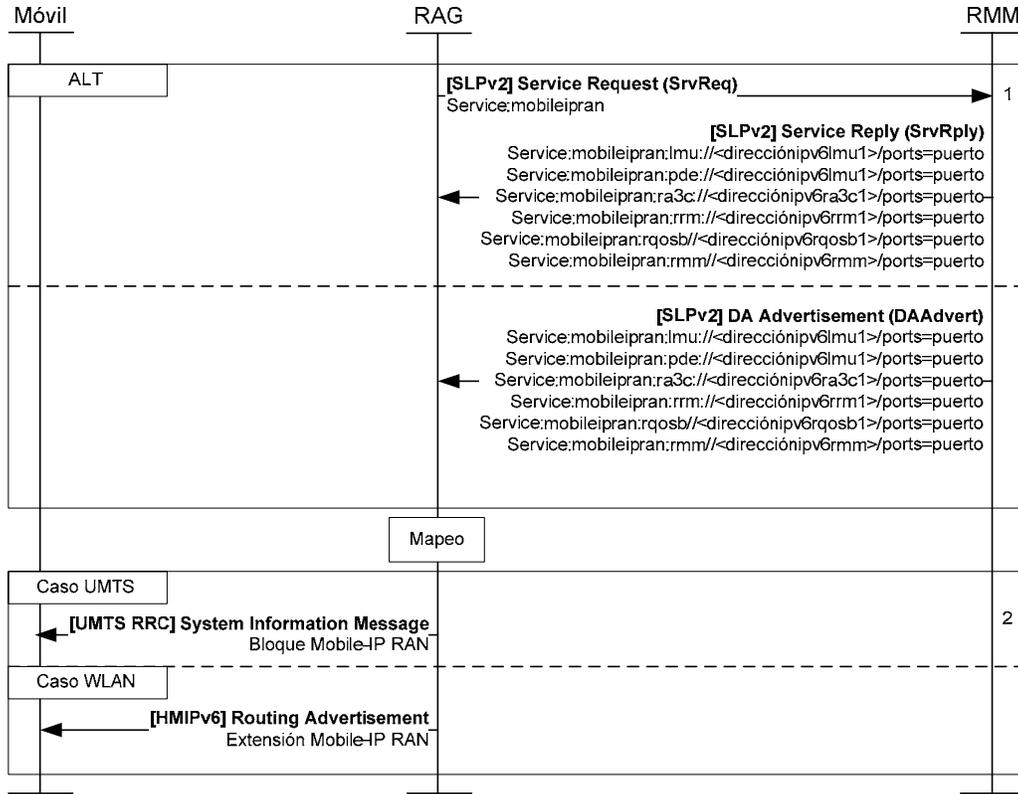


Figura 114 Procedimiento de mapeo de servicios Mobile-IP RAN en el RAG

4.12 Servicios de Localización en Mobile-IP RAN: Determinación de la posición del móvil

Para cumplir con los requisitos de posicionamiento para los servicios de localización en Mobile-IP RAN se ha propuesto una arquitectura de localización que consiste en una adaptación de la arquitectura de los sistemas de localización en 3G, que se diferencia en los siguientes aspectos:

- La arquitectura y protocolos de los elementos de red son genéricos, es decir no dependen de la tecnología de acceso radio para permitir la localización del móvil.
- Los protocolos y la arquitectura están adaptados a la arquitectura y protocolos de Mobile-IP RAN, en especial la movilidad IP y la gestión de los recursos de red.
- La arquitectura se ha realizado tratando de minimizar el impacto sobre los elementos de la red Mobile-IPv6 siempre que sea posible.

4.12.1 Arquitectura LBS

La Figura 115 muestra la arquitectura de localización en Mobile-IP RAN. La misma consiste en una adaptación de las funciones de localización presentes en la 3G, a la red (truncal y de acceso) basada en Mobile-IPv6.

Para el planteamiento de la arquitectura de localización se ha tomado en cuenta dos niveles de integración en los cuales es posible la localización del móvil:

- *Una arquitectura de localización básica* (a la derecha de la Figura 115) la cual se basa en localización a través del identificador de célula (punto de acceso) o completamente basada en el móvil (GPS en el móvil sin medidas de asistencia). Para este tipo de localización, no es necesaria una infraestructura de localización en la red radio.
- *Una arquitectura de localización avanzada* (a la izquierda de la misma figura), la cual se basa en la localización a través de cualquier método existente en la 3G y aquellos adaptados a las nuevas tecnologías de acceso, tales como Bluetooth y WLAN [Thongthan2003].

4.12.1.1 Elementos de red para el soporte LBS

4.12.1.1.1 Red troncal Mobile-IPv6

En la red troncal Mobile-IPv6 se añade el Servidor de Localización (LBS-S) así como modificaciones en el servidor AAA, para incluir perfiles e información AAA relacionada con el servicio de localización. El HA no requiere cambios en su arquitectura.

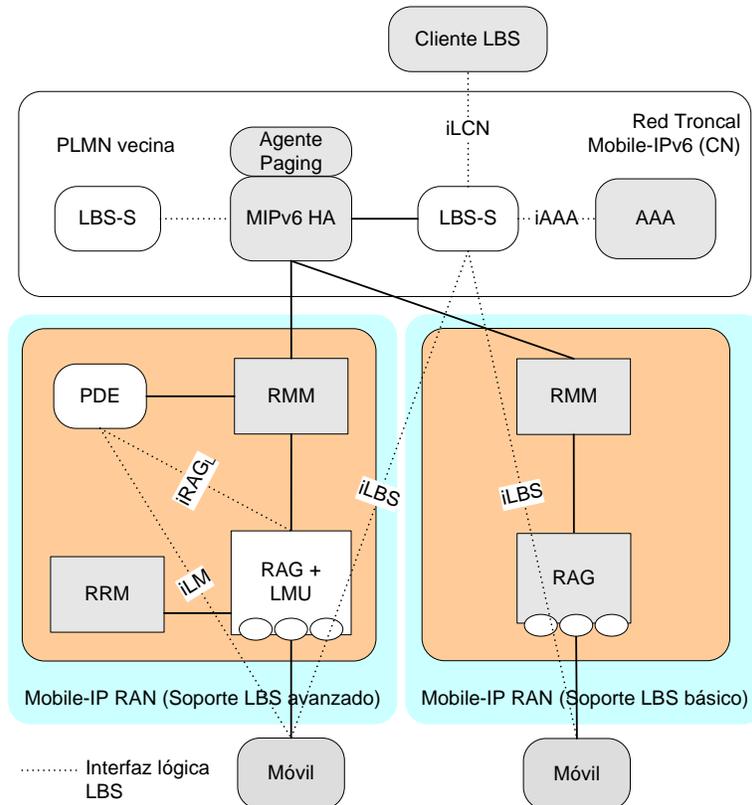


Figura 115 Arquitectura LBS en Mobile-IP RAN

De acuerdo a los requisitos del sistema, se asume la existencia de un servidor de localización para servicios basados en localización (LBS-S) ubicado en la red troncal; el mismo se comunica con el cliente LBS a través de una interfaz estándar (denominada aquí iLCN). El servidor de

localización de encarga de la gestión del cliente LBS (autorización, coordinación de peticiones, transformación de coordenadas). Asimismo, el LBS-S se comunica con el móvil (a través del HA, RMM y RAG) para la petición de la posición de este, a través de una interfaz estándar (iLBS). El LBS-S también se comunica con el servidor AAA para la autorización del móvil (suscriptor) a través de la interfaz iAAA y para opcionalmente determinar la ruta para la realización de las peticiones.

El LBS-S debe anunciarse a los móviles y a otros nodos de la red que necesiten sus servicios. Esto es para hacer conocer al móvil que la red soporta servicios LBS, y para hacerle conocer las direcciones del Servidor LBS-S. La difusión de este mensaje se debe realizar a través de mensajes de anuncio de servicios al Agente de Directorio (ver sección de Descubrimiento de Servicios)¹⁵².

Una de las tareas del LBS-S es gestionar el posicionamiento para los servicios de emergencia y para las entidades legales de interceptación. Se asume que estos servidores o entidades se comportan como clientes frente al LBS-S y que la caracterización de entidad legal o de emergencia se realiza por medio de procesos administrativos (configuración previa).

4.12.1.1.2 Red de Acceso Mobile-IP RAN

Tal como se describe en la sección 4.12.1.1, en la red de acceso Mobile-IP RAN se añaden los siguientes elementos: Entidad de Determinación de la Posición (PDE, *Position Determination Entity*) y la Unidad de Medidas de Localización (LMU, *Location Measurement Unit*), que son necesarios únicamente cuando se soportan servicios de posicionamiento avanzado tales como E-OTD u OTDOA. En el caso que se soporten los servicios avanzados de localización, la red Mobile-IP RAN debe anunciar al móvil la presencia de este servicio utilizando el mecanismo de descubrimiento de servicios seleccionado.

4.12.1.2 Impacto del servicio de determinación de la posición en los elementos de red

El diseño del servicio de determinación de la posición en Mobile-IP RAN se ha realizado para no impactar los servicios de [MIPv6] y [HMIPv6]. El servicio LCS se ha diseñado como una aplicación independiente de la red Mobile IP.

La interacción se realiza a través de los servidores AAA que se encargan de autenticar y autorizar el usuario y del cliente LCS.

4.12.1.2.1 Red Troncal [MIPv6]

4.12.1.2.1.1 Servidor AAA

El impacto en el servidor AAA se limitan a la inclusión de registros en la base de datos relacionados con el perfil de los usuarios. El servidor AAA se encarga de la autorización de la petición de posicionamiento al suscriptor, de su autenticación (parte del proceso de

¹⁵² El Apéndice A define el mapeo en el RAG de la información de localización al mensaje *System Information* de UMTS propuesto en esta tesis como extensión para la difusión de parámetros de sistema relacionados con Mobile-IP RAN.

comunicación de Mobile-IP), de su tarificación y de proveer la ruta al LBS-S para la petición. Los registros LBS del servidor AAA incluyen:

Por cada usuario:

- Dirección IP (global).
- Clase de privacidad (por cada clase existe un indicador de activación de la clase): *Universal* (no hay datos adicionales), *Cientes LCS permitidos y nivel de privacidad* (localización permitida siempre, localización permitida solo después del consentimiento del usuario, HA donde se debe cursar la petición), y *Operador PLMN*. Lista de clientes LCS genéricos asociados típicamente a operaciones de la red.
- Tipos de servicio: Servicios para los cuales el cliente LCS puede pedir la localización del móvil. Estos incluyen: Servicio comercial LCS, Servicios LCS internos, Servicios de emergencia LCS y Servicios legales LCS.
- Por cada servicio: HA donde cursar la petición y las Restricciones de localización (permitida solo después de notificar al usuario, permitida siempre, etc.).

Entre el servidor AAA y el LBS-S debe existir una asociación de seguridad ya sea dinámica o estática, para asegurar que el nodo que pregunta por la ruta de comunicación con el móvil es autentico, es decir, existe una relación de confianza mutua.

Asimismo los registros de tarificación del servicio de localización deben incluir las siguientes entradas: Tipo e identidad del cliente LCS, identidad del móvil (usuario), identidad del servidor LBS-S que sirve al móvil, resultado (éxito/fallo, método utilizado, tiempo de respuesta, precisión) por cada reporte, tipo de petición (inmediata o diferida), posición del móvil, estado del móvil, evento, marca de tiempo y sistema de coordenadas utilizado. Estos registros se crean a partir de los reportes enviados por el LBS-S.

4.12.1.2.1.2 Home Agent

El HA no necesita cambios en su funcionamiento en el soporte de LBS; debe establecerse una asociación de seguridad con el servidor LBS-S.

4.12.1.2.2 Red Mobile-IP RAN

4.12.1.2.2.1 RMM

El RMM no necesita cambios en su funcionalidad para el soporte de LCS. Debe establecerse una asociación de seguridad con el servidor PDE para asegurar que las peticiones de localización son realizadas por una entidad autentica.

4.12.1.2.2.2 RAG

El RAG debe comunicarse con el LBS-S y el PDE para la difusión de las identidades del LBS-S y el PDE a los móviles. Esta información se difunde a los móviles a través de los canales de difusión en cada RAG. Esta comunicación puede realizarse a través de cualquier protocolo de configuración o a través de la propuesta de descubrimiento de servicios realizada en esta tesis.

4.12.1.2.3 Impacto en el móvil

El móvil debe incluir los nuevos protocolos de localización basado en IP para su comunicación con el LBS-S y con el PDE. Asimismo debe poder leer las identidades del LBS-S y del PDE a través de los mensajes de difusión del RAG.

4.12.1.2.4 Distribución de funciones del servicio de determinación de la posición Mobile-IP RAN en los elementos de red

La Tabla 13 muestra la distribución de funciones entre los elementos de red.

Tabla 13 Distribución de funciones en los elementos de red Mobile-IP RAN

Función	Cliente LCS	LBS-S	HA	AAA	RRM	PDE	RMM	RAG	LMU	Móvil
Función de cliente										
Cliente Externo	X									X
Cliente Interno					X					
Función de Gestión de Clientes										
Coordinación y control del cliente		X								
Autorización del cliente		X								
Traslación de coordenadas de cliente		X								
Gestión del sistema LBS										
Control y coordinación (de las peticiones) del Sistema LBS		X								X
Tarificación		X		X		X				
Operación del sistema		X	X	X	X	X	X	X	X	
Difusión de información de localización		X				x		X		
Gestión de suscriptor										
Autorización				X						X
Privacidad			X	X						
Posicionamiento										
Gestión y control del posicionamiento						X				X
Cálculo de la posición						X				X
Medidas de posicionamiento								X	X	X
Gestión de los recursos radio					X			X	X	

4.12.2 Escenarios

4.12.2.1 Localización iniciada por un cliente – soporte simple y avanzado de la red

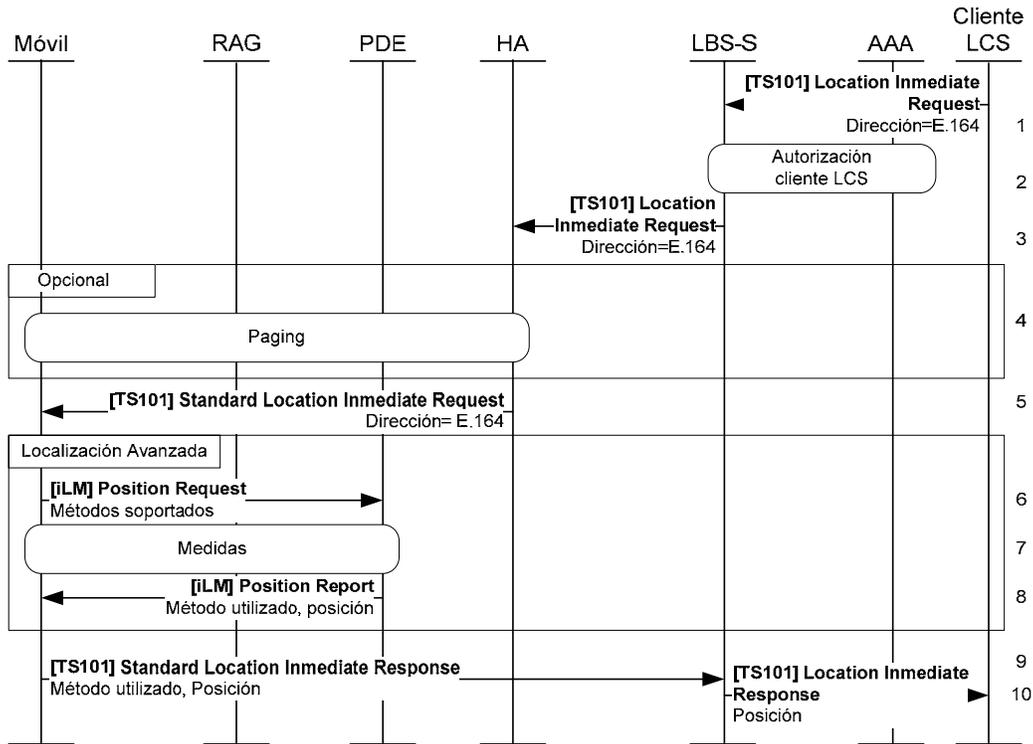


Figura 116 Petición LCS originada por la red, móvil inactivo

1. El cliente LCS realiza la petición de posicionamiento al servidor LBS-S, enviando el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE REQUEST*, utilizando el número E.164 del móvil (o dirección IP)¹⁵³ a ser localizado.
2. El servidor LBS-S realiza la petición de autorización del cliente ante el servidor AAA. Asimismo el servidor LBS-S determina la dirección Home del móvil, en el caso que el número E.164 no corresponda a una dirección IP¹⁵⁴.
3. El servidor LBS-S realiza la petición de posicionamiento al móvil enviando el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE REQUEST*. En la petición se indican entre otras cosas, el tipo de posicionamiento requerido (última posición conocida o posición actual, y un indicador de la calidad o exactitud del posicionamiento).

¹⁵³ El uso del formato E.164 es un ejemplo utilizado en esta tesis. El manejo de identidades específicas a usuarios o servicios de la red troncal está fuera del ámbito de estudio de esta tesis.

¹⁵⁴ La determinación de la dirección IP a partir del número E.164 está fuera de la especificación de esta tesis al existir diversos mecanismos tales como ENUM DNS [RFC2916].

4. (Opcional, si el móvil se encuentra en el estado LIBRE) El Paging Agent dispara un aviso al móvil.
5. Una vez que el móvil responde al procedimiento de paging, y gana el acceso a la red, la petición de localización se transmite al móvil a través del mensaje el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE REQUEST*.
6. (Sólo en el soporte avanzado de servicios LCS): El móvil realiza la petición *[iLM] POSITION REQUEST* al servidor PDE, para que éste calcule la posición del móvil. En este mensaje, el móvil además de la petición, indica al PDE datos necesarios para el cálculo, como métodos de posicionamiento soportado por el móvil (medidas), sistema radio (CDMA2000, UMTS-FDD, UMTS-TDD, UMTS-LCRTDD, GSM, IS-95), y otros elementos opcionales (frecuencia de las portadoras). El PDE de acuerdo a la información recibida, determina el método de posicionamiento idóneo y de ser necesario, ejecuta el procedimiento de medidas: envía al móvil los datos de asistencia para que este pueda realizar algunas medidas, alternativa o adicionalmente, solicita al LMU la realización de las medidas necesarias para el cálculo de la posición de acuerdo al método específico de posicionamiento.
8. Una vez realizado el cálculo de las medidas, el PDE envía los resultados al móvil, éste la almacena en memoria, a través del mensaje *[iLM] POSITION REPORT*.
9. El móvil envía el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE RESPONSE* al servidor LBS-S con los resultados.
10. El servidor LBS-S almacena los resultados y los envía al cliente LCS en el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE RESPONSE*.

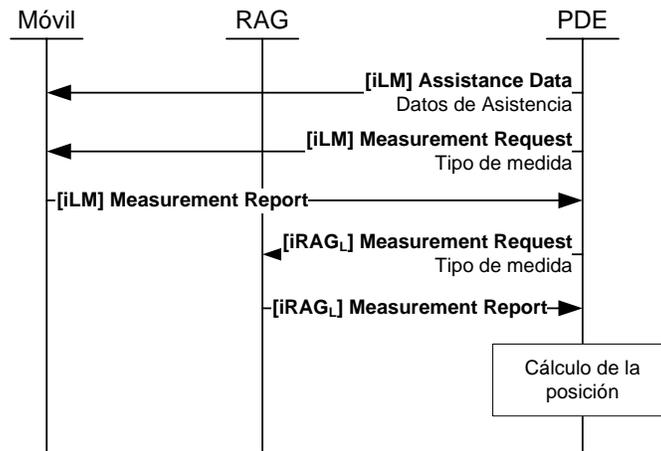


Figura 117 Procedimiento de medidas de posicionamiento

4.12.2.2 Localización iniciada por el móvil – soporte simple y avanzado de la red

En el caso de que el móvil inicie la petición, el procedimiento de localización se realiza de la siguiente manera:

1. El móvil, de no estar registrado, se registra, autenticándose y adquiriendo el cifrado de las comunicaciones en la red.

2. En el caso de soporte del servicio avanzado de localización¹⁵⁵, el móvil envía un mensaje *[iLM] POSITION REQUEST* al PDE indicando los métodos de posicionamiento soportados por el móvil (medidas), sistema radio (CDMA2000, UMTS-FDD, UMTS-TDD, UMTS-LCRTDD, GSM, IS-95), y otros elementos opcionales (frecuencia de las portadoras).
3. EL PDE realiza el procedimiento de medidas.
4. El PDE envía la posición al móvil en el mensaje *[iLM] POSITION REPORT*.
5. Opcionalmente el PDE puede enviar un reporte de la posición al LBS-S, a través de un mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE REPORT*.

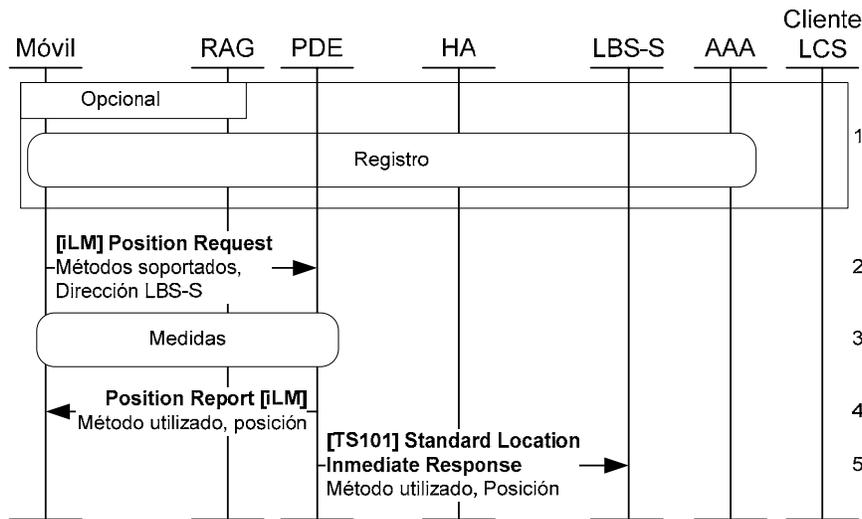


Figura 118 Petición LCS iniciada por el móvil

4.12.2.3 Localización inducida por la red

La localización inducida por la red se realiza incluyendo un cliente LCS en el servidor de sesiones de llamada (servidor SIP), con la lógica de detección de un servicio de emergencia. Para la red Mobile-IP RAN este cliente es como cualquier otro cliente, de forma que la localización se realiza de la misma forma que la indicada en el apartado 4.12.2.1.

4.12.3 Comparación con la arquitectura LCS de 3G

EL diseño del servicio de posicionamiento en Mobile-IP RAN presenta las siguientes diferencias respecto a las arquitecturas 3G:

1. Se señala la dirección IP de LBS-S y del PDE: En las redes 3G, todos los elementos de red involucrados en el camino reconocen los servicios de localización (por ejemplo el

¹⁵⁵ Al estar registrado el móvil envía un mensaje de petición de localización al LBS-S (o al PDE en el caso de soportarse el servicio avanzado de posicionamiento). En el caso de soporte del servicio simple de localización, el móvil envía el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE REQUEST* al LBS-S, incluyendo en el mensaje la identificación de la estación en la que se encuentra para que el servidor LBS-S realice la conversión a coordenadas (a través de una base de datos). El servidor LBS-S determina la posición, la almacena y la envía al móvil en el mensaje *[TS101] LOCATION IMMEDIATE RESPONSE*.

MSC, SGSN o RNC), por lo cual estos elementos conocen las direcciones de los elementos y reconocen los protocolos de localización, lo cual permite que el móvil no tenga que conocer la dirección del servidor LBS-S o del PDE. En la red Mobile-IP RAN, se ha tratado que los servidores o enrutadores dedicados a la movilidad (RAG, RMM, HA) sean agnósticos de los servicios de localización, por lo cual, los puntos de terminación (desde la vista del móvil) son los mismos servidores de localización. En este caso es necesario, para habilitar el intercambio de información entre el móvil y el servidor LBS-S, que el móvil conozca que se ofrecen servicios LCS y además la dirección de sus servidores. De forma análoga, es necesario que el PDE informe al móvil que se ofrecen servicios avanzados de localización, y sus capacidades (por ejemplo métodos de localización soportados por el móvil). La difusión de la dirección del PDE también permite la independencia del LBS-S del PDE de Mobile-IP RAN, de forma que puedan existir redes Mobile-IP RAN que no implanten la funcionalidad de PDE (por ejemplo para una red basada enteramente en puntos de acceso WLAN).

2. El LBS-S puede contactar directamente al móvil (después de ser autorizado por el AAA), esto se ha realizado con el objeto de mantener al HA y al RMM agnósticos de los servicios. Se asume que el LBS-S es parte de la red por lo cual, puede comunicarse con el AAA para autenticar un cliente y posteriormente con el móvil.
3. El móvil coordina las peticiones de posicionamiento dentro de Mobile-IP RAN. Esta coordinación es realizada en la 3G por el RNC. Se ha escogido esta opción con el fin de evitar que los servidores de gestión de recursos radio (RRM) o de movilidad (RMM) deban tener conocimiento del sistema LBS, simplificando su implementación y reduciendo la carga de procesamiento en los enrutadores.

4.12.3.1 Seguridad

En general, la propuesta para soporte de los servicios de localización en Mobile-IP RAN sigue el mismo esquema de seguridad que en las redes 3G, con la variación que en Mobile-IP RAN, el móvil está más involucrado en el proceso de localización, como mediador entre el servidor LBS-S y las entidades de medidas y cálculos (LMU y PDE). Esta función mediadora, se realiza solo después del móvil estar registrado (autenticado) y (opcionalmente) su comunicación con la red esté cifrada. Por esto, la arquitectura LBS-S propuesta sigue el esquema de arquitectura de localización segura de [Lim2007] en cuanto a utilizar una arquitectura centralizada en servidores con distintas funciones de localización asignadas (medición, recolección de datos y configuración).

Respecto a la seguridad en las interfaces de red, por definición se asume que existen asociaciones de seguridad, éstas son:

- a. Interfaz entre el cliente LCS y el LBS-S
- b. Interfaz entre el servidor LBS-S y el servidor AAA.
- c. Interfaz entre el servidor LBS-S y el HA
- d. Interfaz entre el LBS-S y el móvil
- e. Interfaz entre el LBS-S y el PDE
- f. Interfaz entre el PDE y el móvil.

4.13 Consideraciones de seguridad en Mobile-IP RAN¹⁵⁶

El enfoque de seguridad de las redes móviles, consiste en proporcionar las funciones que permitan la seguridad en el acceso del móvil y en el dominio de red y servicios, a través de los siguientes objetivos:

- Seguridad en el acceso. Incluye las funciones que proporcionan al usuario un acceso seguro, en particular, de ataques sobre la interfaz radio.
- Seguridad en el dominio de red. Incluye las funciones que permiten a los nodos de la red Mobile-IP RAN el intercambio seguro de señalización y de los datos del usuario, y protegerlos de un ataque a la red de transporte.
- Seguridad en el dominio de usuario. Incluye las funciones que permiten el acceso seguro del usuario al terminal móvil.
- Seguridad en el dominio de aplicación. Incluye las funciones que permite a las aplicaciones del usuario intercambiar mensajes e información de forma segura.
- Configuración de la seguridad. Incluye las funciones que permiten informar al usuario si una funcionalidad de seguridad está activa o no.

Siendo Mobile-IP RAN una red de acceso, parte de una red móvil 4G, su enfoque de seguridad consiste en proporcionar las funciones que permitan la seguridad en el acceso del móvil y en el dominio de red. La Tabla 14 muestra la distribución de los objetivos de seguridad en los diferentes bloques que conforman la red móvil.

Objetivo	Móvil (y usuario)	Red Mobile-IP RAN	Red troncal (y aplicación)
Seguridad en el acceso	X	X	X
Seguridad en el dominio de red		X	X
Seguridad en el dominio de usuario	X		
Seguridad en el dominio de aplicación	X		X
Configuración de la seguridad ¹⁵⁷	X	X	X

Tabla 14 Distribución de funciones/objetivos de seguridad en la red móvil

¹⁵⁶ Estas consideraciones de seguridad incluye el análisis de los potenciales riesgos de seguridad, desde un punto de vista teórico. Como esta propuesta de arquitectura no tiene aún una implantación real, se estima que estas consideraciones pueden variar una vez analizados los riesgos prácticos, es decir, aquellos potencialmente reproducibles en un escenario real.

¹⁵⁷ La configuración de los mecanismos de seguridad es una funcionalidad que debe estar presente en todos los elementos de red. Al ser considerada una función de operación y mantenimiento, su especificación no forma parte del ámbito de estudio de esta tesis.

4.13.1 Funciones de seguridad en Mobile-IP RAN

La Figura 119 muestra el ámbito de las funciones de seguridad que ofrece la red Mobile-IP RAN.

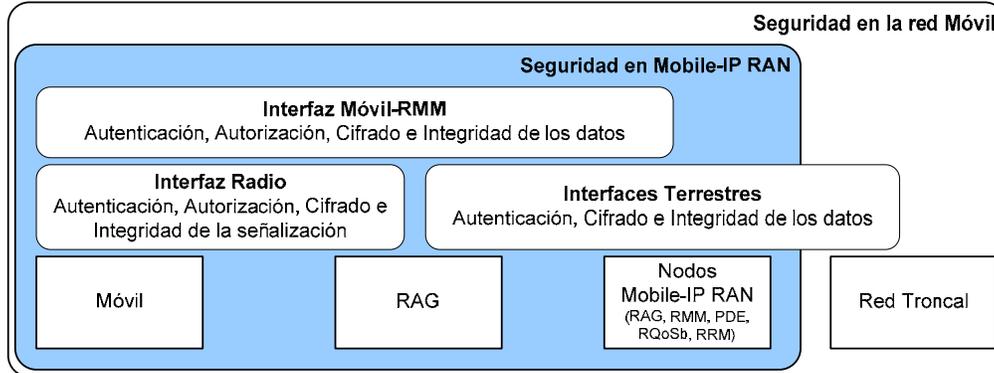


Figura 119 Funciones de seguridad en Mobile-IP RAN

- Autenticación, autorización, cifrado e integridad de la señalización en la interfaz radio. A través del procedimiento AAA durante el acceso (ver sección 4.5.4), se logra la autenticación del usuario (y de la red), la autorización de acceso a la red Mobile-IP RAN, y el cifrado y la integridad de la señalización sobre la interfaz radio.
- Autenticación, autorización, cifrado e integridad de los datos y señalización en la interfaz entre el móvil y el RRM. A través del procedimiento de registro (ver sección 4.9.2) y de la actualización de la localización, se logra la autenticación, la autorización del uso de servicios de comunicación de red, y el cifrado y la integridad de las comunicaciones entre el móvil y el RMM como elemento central de la comunicación Mobile-IP RAN.
- Autenticación, confidencialidad e integridad de los datos en las interfaces terrestres de la red. Esto se logra con el establecimiento de asociaciones de seguridad IPsec en cada una de las interfaces terrestres de la red Mobile-IP RAN (ver sección 4.4).

4.13.2 Análisis de los principales ataques de seguridad en la red Mobile-IP RAN

- *Rastrear el identificador permanente del usuario (IMSI/NAI) sobre la interfaz aire a lo largo del tiempo para monitorizar la localización del usuario, si éste se envía en claro antes del proceso de autenticación y cifrado.*

En Mobile-IP RAN, el móvil envía su identidad en abierto, solo durante el proceso inicial de registro, fase durante la cual se establece el cifrado de las comunicaciones, por lo que el identificador de la red ya no es visible. Posteriormente (si el móvil está registrado), el móvil puede rechazar peticiones de identidad que no estén encriptadas. Existen varios mecanismos para disminuir o evitar del todo el envío del identificador permanente del móvil en abierto, tal como la utilización de identificadores temporales o la utilización de cifrado con claves públicas y simétricas que puede ser utilizada para esconder el NAI/IMSI. Esta función pertenece al protocolo utilizado en la interfaz radio, por lo que no se especifica esta función adicional en Mobile-IP RAN. En todo caso, la seguridad ofrecida por Mobile-IP RAN en este aspecto, es similar a la ofrecida en las redes móviles 3G actuales.

- *Rastrear la dirección LCoA sobre la interfaz aire y mapearla al IMSI/NAI (en claro durante el proceso de registro)*

En Mobile-IP RAN la red realiza el procedimiento de cifrado del enlace, antes de la asignación/confirmación de la LCoA sobre el enlace radio, por lo que esta no es visible sobre la interfaz radio (siempre que haya cifrado). También es posible la reasignación dinámica de LCoA¹⁵⁸.

- *Rastrear al móvil basado en la señalización de handover: Es posible deducir, al "escuchar" los mensajes de handover, que un móvil determinado se ha movido de un RAG a otro, si estos mensajes no están cifrados*

En Mobile-IP RAN se realiza cifrado sobre la interfaz radio, por lo que no es posible escuchar los mensajes de handover.

- *Rastrear al móvil basado en la MAC (usuarios WLAN)*

Aunque no existe una solución directa a este ataque, la contramedida se enfoca en que el atacante no pueda relacionar la MAC del dispositivo con el usuario al "escuchar" sobre la interfaz radio¹⁵⁹. El momento más vulnerable es durante el registro, momento en el que es posible que un intruso obtenga ambos parámetros, destacando que esto permite el rastreo del usuario (siempre que se mantenga en el mismo dispositivo) más no su suplantación.

- *Ataque de denegación del servicio (en el RAG) desde el móvil*

El RAG debe autenticar y realizar protección de integridad de la señalización con los móviles. Para disminuir el riesgo, la autenticación y protección de integridad de la señalización también debe hacerse en el handover, posiblemente utilizando nuevas claves de cifrado e integridad de los datos para evitar prolongar posibles ataques¹⁶⁰. Para mitigar este efecto, también pueden establecerse reglas sobre los recursos máximos que un móvil puede consumir (por ejemplo en el perfil de calidad de servicio o AAA del usuario indicando el número de recursos que puede consumir, no solo el perfil de cada recurso).

- *Un RAG falso puede obtener la identidad del móvil. Los principales impactos son (1) la denegación del servicio del móvil y (2) La obtención de los identificadores permanentes del móvil.*

Existen varios mecanismos para disminuir o evitar del todo el envío del indentificador permanente del móvil en abierto, tal como la utilización de indentificadores temporales o la utilización de cifrado con claves públicas y simétricas que puede ser utilizada para esconder el NAI/IMSI. Esta función pertenece al protocolo utilizado en la interfaz radio, por lo que no

¹⁵⁸ Es de notar, que uno de los objetivos de Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6] es evitar que cada vez que se cambie de punto de acceso (RAG) se deba cambiar la dirección IP para evitar el trazo del usuario a través de la dirección IP". Un aspecto importante es que en Mobile-IP RAN, posterior al primer acceso (en claro), hay confidencialidad en el enlace radio, por lo que ya no será posible seguir al usuario (ni sus cambios de LCoA).

¹⁵⁹ Existe una propuesta en [TR33821] de utilizar MAC (pseudo)aleatorias, sin embargo, y de acuerdo a [TR33821] el IEEE no pretende especificar esta contramedida.

¹⁶⁰ Para evaluar el mejor método, desde el punto de vista de desempeño de la red, es necesaria la realización de trabajos adicionales que incluyan la simulación o implantación de los mecanismos de seguridad estudiados y analizar su impacto en el desempeño (tiempo) del handover.

se especifica esta función adicional en Mobile-IP RAN. En todo caso, la seguridad ofrecida por Mobile-IP RAN en este aspecto, es similar a la ofrecida en las redes móviles 3G actuales.

- *Un ataque puede imitar el mensaje de información de sistema (por ejemplo UMTS System information o un mensaje de Routing Advertisement), cambiando los parámetros Mobile-IP RAN necesarios para ganar acceso a la red*

Existen dos medidas fundamentales para evitar este ataque: (1) Proteger la inteligencia del RAG de posibles ataques (arquitectura distribuida del RAG), para evitar que estos parámetros puedan ser modificados desde un RAG al que se ha ganado acceso¹⁶¹, y (2) durante el proceso de acceso a la red, estos parámetros, una vez autenticado el móvil y cifrado el enlace, pueden ser re-enviados al móvil utilizando mensajes unicast (por ejemplo mensajes [UMTS] System Information Message o [HMIPv6] Router Advertisement).

- *El ataque inyecta, modifica o elimina paquetes en el elemento de red Mobile-IP RAN (seguridad física comprometida), o desde la interfaz radio hacia la red.*

Se realiza protección de integridad de los datos entre el móvil y el RRM/HA como parte del proceso de actualización de la localización. La seguridad física es la única medida efectiva contra la eliminación de paquetes.

Nota: Proxy Mobile-IPv6 indica que una de las razones para que el móvil no sea parte de la gestión de la movilidad (como en [HMIPv6]) es que debe establecerse entonces una asociación de seguridad entre el móvil y el MAP, y que el establecimiento de esta asociación implica señalización adicional. Esto es cierto en Mobile-IP RAN, si embargo, esta solo se realiza durante el procedimiento de registro y de actualización de localización involucrando RMM distintos. El procedimiento de registro no es sensible al retardo, y el procedimiento de actualización de localización entre RRM puede ser sensible al retardo.

- *El ataque inyecta, modifica o elimina paquetes en el enlace entre nodos Mobile-IP RAN, que puede incluir ataques de denegación del servicio*

Mobile-IP RAN realiza protección de integridad de los datos en todas las interfaces Mobile-IP RAN que conecta dos elementos de red. La seguridad física es la única medida efectiva contra la eliminación de paquetes. Se asume que estos enlaces tienen una alta seguridad física.

- *El ataque monitoriza los paquetes de usuario en las interfaces terrestres*

Mobile-IP RAN realiza cifrado (de forma opcional) a nivel IP en las interfaces terrestres (y en la interfaz radio), por lo que no es posible la monitorización de los paquetes de usuario.

- *Se realiza un ataque físico (acceso local) al nodo de red Mobile-IP RAN para obtener datos de usuario o realizar denegación del servicio a los móviles*

¹⁶¹ Una preocupación creciente del 3GPP (reflejada en [TR33821]) es que con el uso de la arquitectura *Femtocell*, la estación base puede tener comprometida su seguridad física. En Mobile-IP RAN, se ha establecido que la inteligencia RAG (procesos RAGs) deben estar ubicados en un lugar con una alta seguridad física, no así sus puntos de acceso radio.

La seguridad física es la medida más efectiva para evitar el ataque local al nodo. Asimismo, los parámetros de usuario deben ubicarse en una base de datos no removible y encriptada que no permita su extracción por métodos convencionales.

- *Se realiza un ataque a la interfaz de operación y mantenimiento para cambiar los parámetros de configuración de los equipos*

Se realiza protección de integridad de los datos en todas las interfaces Mobile-IP RAN que conecta dos elementos de red. Se asume que estos enlaces tienen una alta seguridad física.

- *Ataque de denegación del servicio (en el RAG) desde la red Mobile-IP RAN*

En Mobile-IP RAN, el RAG no debe reservar recursos si no tiene una asociación de seguridad con el otro elemento en cuestión.

- *Ataque de denegación del servicio desde la red troncal (desde internet)*

La red troncal debe implantar los mecanismos para limitar y potencialmente eliminar el riesgo de ataques de denegación del servicio desde la red.

- *Suplantación de identidad del móvil en las comunicaciones con el LBS-S/PDE*

El RAG debe asegurar que solo proporciona información al LBS-S/PDE de móviles propiamente autenticados y autorizados (y cuyo enlace está cifrado). Una alternativa (no cubierta en el análisis de Mobile-IP RAN) es establecer una asociación de seguridad entre el móvil y el PDE, basado en las mismas credenciales utilizadas para la comunicación con el RMM.

- *Suplantación de la identidad del móvil durante el handover*

Antes del handover: Las comunicaciones entre el móvil y el RAG están cifradas, asimismo las comunicaciones entre el RAG origen y el RAG destino tienen una asociación de seguridad IPSec entre ellas, por lo que el riesgo de suplantación está limitado a la modificación física en el RAG. En el caso de que la interfaz radio no esté cifrada (cuestión no recomendada), debe utilizarse el establecimiento de una clave de handover, tal como está prevista en [RFC 5269].

En el acceso al nuevo RAG: El método más eficiente para evitar la suplantación de la identidad del usuario en el nuevo RAG, es que el móvil utilice el cifrado en el nuevo acceso (desde el primer mensaje [FHMIPv6] *Unsolicited Neighbor Advertisement*, para esto la red (y el móvil, dependiendo de la tecnología radio) debe conocer de antemano las claves de cifrado utilizado e el enlace radio). En los escenarios mostrados en la sección 4.9.5.1 se muestra que el RAG origen comunica al RAG destino (a través del mensaje [CXTP] *Context Transfer Data (CTD)*) el perfil de AAA del usuario, en el que se incluyen las claves (y tipos) de algoritmos necesarios para la continuidad del cifrado (en el caso que ser un handover horizontal). En caso de ser un handover vertical, el RAG destino (no mostrado en los escenarios de handover), podría comunicar el algoritmo y claves para la realización del cifrado en el nuevo RAG. Otro posible método sería la comunicación de una clave simple establecida entre el RAG origen y el RAG destino durante el proceso de preparación del handover, que se incluya durante la conexión al nuevo RAG (por ejemplo en el mensaje [FHMIPv6] *Unsolicited Neighbor Advertisement*) que permita evitar la suplantación de la identidad.

- *Suplantación de la identidad de un agente de servicio (o del agente de directorio) durante la fase de descubrimiento de servicios en los nodos Mobile-IP RAN*

En Mobile-IP RAN, el protocolo [SLPv2] implementa funciones de autenticación que ofrecen autenticación e integridad del servicio, para evitar este caso. [SLPv2] no ofrece confidencialidad, así que de ser necesaria la confidencialidad de las comunicaciones [SLPv2], se debe aplicar cifrado sobre las interfaces terrestres Mobile-IP RAN.

4.14 Conclusiones

El desarrollo de la arquitectura de acceso radio 4G Mobile-IP RAN, incluye la definición de los elementos de red, sus funciones principales, sus interfaces y protocolos asociados, así como la definición de los procedimientos relacionados con los servicios de red. El desarrollo de esta arquitectura permite establecer las siguientes conclusiones:

- Es factible la integración de una arquitectura de acceso radio que proporcione los servicios asociados a una red de acceso móvil, utilizando protocolos de red genéricos y basados en IPv6, que se utilizan con una gran independencia de la tecnología de acceso radio utilizada. Estos servicios incluyen además de la transferencia de datos de usuario, desde el móvil a la red troncal, la movilidad radio (acceso al medio, registro, actualizaciones de localización, handover horizontal y vertical), la gestión de los recursos radio (incluyendo la sincronización de red y usuario), la gestión de la calidad de servicio en el acceso, el descubrimiento de servicios de red, y la seguridad de usuario y de red.
- Uno de los retos que se plantea en el uso de las arquitecturas internet para el acceso móvil de una red de operador (o compartida entre varios operadores) es la gestión de la autenticación, autorización y tarificación de los usuarios (AAA) que acceden a la red de acceso y a la(s) red(es) de operador(es). Para permitir un acceso compartido o el arrendamiento de la infraestructura de acceso es necesario que la red de acceso tenga mecanismos AAA independientes para el acceso radio y la red troncal, que permitan gestionarse de forma independiente. Mobile-IP RAN extiende la arquitectura AAA propuesta en Moby Dick a la red de acceso, proporcionando la posibilidad de gestionar el acceso de los usuarios de forma integrada (interfaz entre el RA3c y el servidor AAA) pero a su vez con la posibilidad de introducción de políticas de gestión de acceso y tasación propias a la red de acceso, a través del RA3c.
- Para permitir la heterogeneidad de tecnologías radio en la red de acceso, se debe dotar a la estación base de una mayor autonomía (respecto a las estaciones base de los sistemas 3G) de sus funciones o procedimientos radio que requieran una alta tasa de actualización (por ejemplo control de potencia o cambios en los parámetros de la capa física) o que son propietarios a cada tecnología radio (mapeo de parámetros de calidad de servicio a parámetros radio). Estas funciones son realizadas en Mobile-IP RAN por el RAG (siendo éste el elemento que posee el módulo radio). Sin embargo, esta decisión no implica una falta de coordinación en la función de gestión de recursos radio de la red (a través de indicadores comunes y generales tales como la carga de canal/red, calidad, velocidad o tecnología del RAG vecino), ya que esta coordinación y gestión puede ser proporcionada por elementos centralizados (RRM en Mobile-IP RAN). La centralización permite la

distribución y aplicación de un mismo algoritmo de gestión de los recursos que permita el manejo de la red y sus indicadores, de forma coordinada.

- La gestión de la calidad de servicio en la red de acceso se compone de tres aspectos fundamentales: la calidad de servicio en el acceso radio, el tratamiento de los distintos elementos de red a los datos de usuario (por ejemplo colas en un enrutador) y la calidad de servicio en el transporte. De estos tres aspectos, la calidad de servicio en el acceso radio es dependiente de la tecnología radio utilizada. Para poder gestionar de forma común la calidad de servicio de la red, se estableció en Mobile-IP RAN una función de mapeo en el RAG que se encarga de traducir los parámetros genéricos de calidad de servicio en parámetros radio, por lo que el gestor de calidad de servicio en Mobile-IP RAN (RQoSb) puede entonces gestionar la calidad de servicio de la red a través de parámetros genéricos de calidad de servicio.
- El modelo de movilidad propuesto en Mobile-IP RAN permite la optimización de la reserva de recursos dependiendo del estado de uso y de movilidad del móvil, de forma similar a las redes móviles 3G actuales. El modelo de movilidad en Mobile-IP RAN, añade estados de movilidad adicionales a los tradicionalmente utilizados en los mecanismos de movilidad IP (a saber, Libre, Activo y Durmiente) para la gestión de los recursos dentro de la red de acceso¹⁶².
- La utilización de mecanismos de movilidad IP local (jerárquica en Mobile-IP RAN) permite al móvil la gestión de la movilidad a través de múltiples interfaces de acceso de una forma homogénea, es decir, independiente de la tecnología móvil utilizada. Sin embargo, para la optimización de la comunicación entre la red y el móvil (por ejemplo para la difusión de la información del sistema de la red al móvil), Mobile-IP RAN establece una función de mapeo entre la señalización [HMIPv6] y los procedimientos de las distintas tecnologías radio. Nótese que esto no invalida la aplicabilidad general de la arquitectura y de los procedimientos de movilidad a cualquier red de acceso, sino que optimiza el acceso en aquellas tecnologías radio que ofrecen procedimientos y recursos que pueden ser utilizados de forma más eficiente.
- La arquitectura de movilidad local jerárquica propuesta en [HMIPv6] proporciona una base para el soporte de la movilidad en la red de acceso móvil Mobile-IP RAN. Sin embargo, ha sido necesario extenderla para el completo soporte de los mecanismos y procedimientos necesarios en la red de acceso móvil: soporte a difusión de información del sistema y paging. Estos procedimientos permiten el soporte a la movilidad bajo cualquier tecnología de acceso sin detrimento a la utilización de la función de mapeo descrita anteriormente.
- La utilización de un procedimiento común de handover, basado en [FHMIPv6] y [CXTP], más las extensiones propuestas para Mobile-IP RAN, permite la realización de handover horizontales y verticales utilizando un procedimiento único de señalización. Los procedimientos de inicio, preparación y ejecución del handover involucran una gran interacción entre el módulo (protocolos) radio y el módulo de señalización de gestión de handover. Para lograr una mejor interacción (y modularidad)

¹⁶² En el Capítulo 5 se realiza un análisis detallado del modelo de movilidad en Mobile-IP RAN, y de sus parámetros asociados.

entre ambos procesos, es recomendable la estandarización de la interfaz de comunicación (durante el handover) entre el módulo radio y el módulo de gestión de movilidad (handover) en Mobile-IP RAN (en el RAG y el móvil). En Mobile-IP RAN se utilizó como ejemplo el protocolo [802.21] para los comandos, mensajes y primitivas entre estos módulos¹⁶³.

- Las extensiones a [FHMIPv6] y [CXTP] propuestas en Mobile-IP RAN hacen posible también la realización del soft-handover (esto es añadir, eliminar RAGs al grupo activo del móvil, y el cambio del RAG de anclaje). Esto representa una propuesta novedosa en cuanto se proporciona un mecanismo de señalización de red genérico, basado en IPv6 para el soporte de una funcionalidad radio CDMA, que permite mantener una funcionalidad importante de gestión de los recursos radio y movilidad en un entorno de acceso radio CDMA genérico basado en IPv6.
- Para el soporte de la funcionalidad de soft-handover, sin embargo, no basta con la adaptación de la señalización de red, también es necesario el establecimiento de protocolos que permitan el transporte de las tramas radio entre los RAGs que se encuentran en soft-handover. Mobile-IP RAN ha propuesto la adaptación de los protocolos de transporte de tramas radio CDMA a un entorno genérico IPv6, que puede ser utilizado en el caso de utilizar tecnologías radio CDMA (y su funcionalidad de soft-handover). Estos protocolos proporcionan mecanismos de transporte de tramas radio y de sincronismo de estas tramas y los RAGs asociados, procedimientos fundamentales en el soft-handover.
- La sincronización es un mecanismo importante en cualquier red radio e imprescindible en redes radio basadas en CDMA. Mobile-IP RAN especifica la sincronización de red, de interfaz radio y de usuario a través de mecanismos derivados de los sistemas UMTS y cdma2000. La sincronización, al ser un servicio del acceso radio, impacta fundamentalmente al RAG (y al móvil).
- La arquitectura propuesta de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN proporciona un mecanismo para que los elementos de la red puedan descubrir los servicios que prestan los otros elementos, conformando la lista de servicios proporcionados por la red Mobile-IP RAN, y que son señalizados por el RAG a los móviles a través de los mecanismos de difusión proporcionados por la red. Uno de los principales beneficios de esta arquitectura es su carácter dinámico, es decir, que los elementos de la red Mobile-IP RAN publican sus servicios cuando están disponibles, al contrario de la configuración estática que se logra con la utilización de un centro de operación y mantenimiento. Asimismo, el uso de una arquitectura basada en un agente de directorio permite la introducción de nuevos servicios de una forma dinámica. Por ejemplo, la introducción de un LMU con nuevos procedimientos de medida, puede ser anunciada tan pronto como esté disponible.
- La arquitectura propuesta para la determinación de la posición del móvil en Mobile-IP RAN permite proporcionar servicios de posicionamiento básicos y

¹⁶³ Es necesario realizar trabajos adicionales para la completa validación del uso de las primitivas y comandos de este protocolo en el móvil y la red Mobile-IP RAN. El impacto sobre este protocolo se estima fundamentalmente en nuevos parámetros y posiblemente alguna nueva primitiva o comando.

avanzados al móvil, a través de una arquitectura genérica basada en IP. Esta arquitectura presenta ciertos cambios en el modelo de comunicación con el móvil, respecto al modelo utilizado en las redes móviles 3G (el móvil tiene comunicación directa con los servidores de localización y posicionamiento) como consecuencia de la naturaleza independiente de los servicios Mobile-IP RAN al acceso radio. Este cambio no impacta el funcionamiento del servicio, sin embargo tiene un impacto en la carga de señalización (mensajes adicionales al móvil)¹⁶⁴.

- Mobile-IP RAN logra proporcionar una arquitectura genérica de posicionamiento, a pesar que ciertos métodos de posicionamiento dependen de parámetros de la tecnología radio utilizada. Esta particularidad puede tener un impacto en los algoritmos de posicionamiento del PDE (es decir, pueden existir algoritmos de posicionamiento propietarios a cada tecnología), pero no impacta a la arquitectura de los servicios de posicionamiento en Mobile-IP RAN ni sus interfaces.
- Mobile-IP RAN, como red de acceso radio 4G, proporciona mecanismos de seguridad en el acceso radio y en el dominio de red, que protegen al usuario y a la red de los principales ataques conocidos, ya sea a través de las interfaces radio, del equipo de red o de sus interfaces. Estos mecanismos, que incluyen la autenticación y autorización del usuario en el acceso, la autenticación de los elementos de red y la confidencialidad e integridad de las comunicaciones, está basado en el estado del arte de los mecanismos y protocolos AAA y de seguridad de red especificados por el 3GPP, 3GPP2 y el IETF. Estos mecanismos se han considerado suficientes, en conjunto con la arquitectura AAA de Mobile-IP RAN para proporcionar la seguridad del usuario y de la red de acceso.

¹⁶⁴ En el Capítulo 6 se presenta un análisis de la carga de señalización de los procedimientos de localización en Mobile-IP RAN para distintas tecnologías de acceso radio.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN MOBILE-IP RAN

5.1 Introducción

En el Capítulo 4 se presentó el modelo general de movilidad de Mobile-IP RAN, donde el móvil puede encontrarse en estado ACTIVO, Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM o LIBRE. Este Capítulo realiza el análisis de los estados de movilidad en Mobile-IP RAN, a partir del estudio de las transiciones entre los estados de movilidad, para determinar la probabilidad de que el móvil se mantenga en un estado de movilidad determinado, dependiendo de los distintos factores/parámetros de movilidad y de sesión, y utilizando para esto el análisis de estado estacionario de las transiciones entre estados de movilidad. Este análisis se ha realizado anteriormente para el sistema UMTS y para [IPPaging] en [Won2002] y [Won2003] respectivamente.

En el análisis se modela el comportamiento de los estados de movilidad en Mobile-IP RAN, dentro de un entorno genérico de movilidad 4G y se derivan la probabilidad de estado estacionario de cada estado de movilidad utilizando técnicas Semi-Markov. El objeto de este análisis es validar la propuesta del modelo de movilidad Mobile-IP RAN, siendo éste uno de los objetivos de esta tesis.

5.2 Modelo de transiciones en Mobile-IP RAN

El modelo de transiciones en Mobile-IP RAN sigue el modelo de movilidad propuesto en el Capítulo 4, dentro de un contexto genérico de una red 4G. En el modelo el móvil puede estar en tres estados de movilidad general de red troncal: Desconectado o No Disponible (ND), disponible (DISP) y *Activo* (ACT).

En el estado *Desconectado o No Disponible (ND)*, el móvil no puede ser contactado ni transmitir información a la red, y debe registrarse con la red troncal para recibir servicios. Al registrarse a través del procedimiento de registro (*Attach*) pasa al estado *Activo (ACT)*, estableciéndose en la red un estado de movilidad para el móvil y se registra su ubicación. Este estado se mantiene durante el tiempo que el móvil esté transmitiendo o recibiendo información a través de la red.

El estado *Disponible (DISP)* se alcanza un vez que no hay interacción entre la red troncal y el móvil durante un tiempo definido. Los niveles de ubicación depende de la granularidad de la red troncal y de la red radio¹⁶⁵.

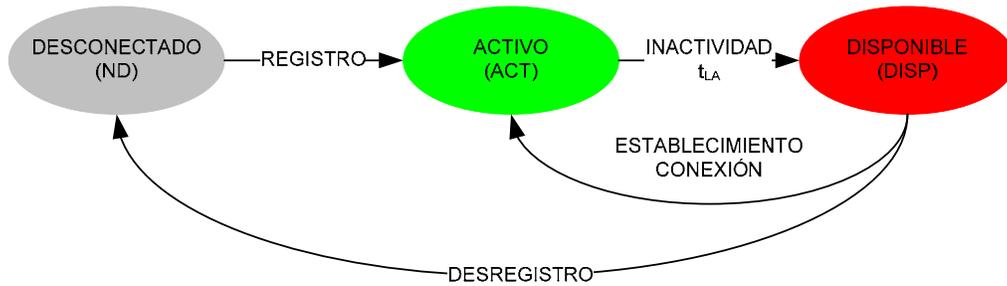


Figura 120 Estados de Movilidad de la red troncal 4G

En la Mobile-IP RAN, la gestión de la movilidad radio comienza con el procedimiento de registro en el RMM. El nivel de información de la ubicación del móvil en la red se gestiona de acuerdo a la propuesta de Mobile-IP RAN que sigue el esquema propuesto en el Capítulo 4.

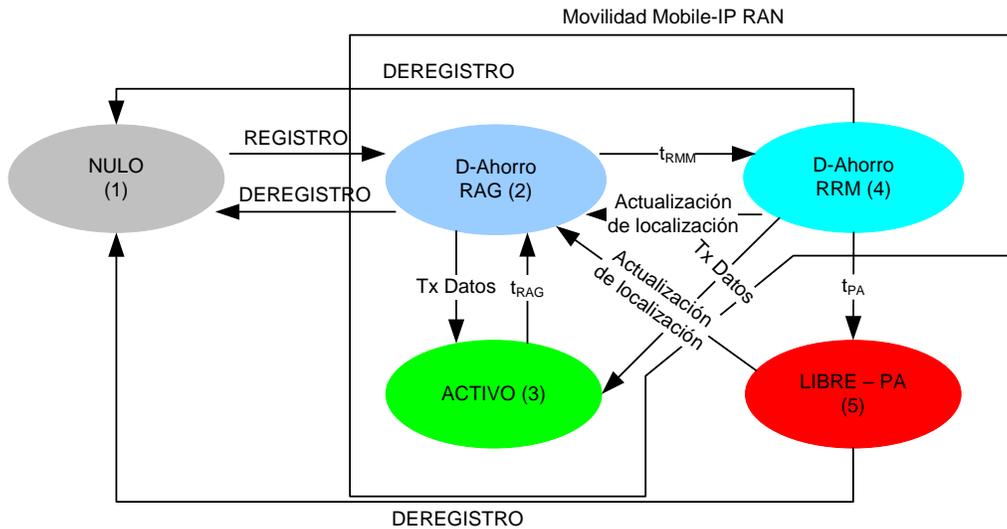


Figura 121 Estados de movilidad Mobile-IP RAN dentro de una red genérica 4G

El seguimiento del móvil en Mobile-IP RAN se inicia al establecerse la conexión radio, siguiendo el modelo de movilidad de la Figura 121. La información de estado a nivel RAG y RMM se mantiene en la máquina de estados de movilidad Mobile-IP RAN. En el estado Mobile-IP RAN NULO, no hay conexión radio y el móvil se sigue a través de los mecanismos de localización de la red troncal.

¹⁶⁵ En este modelo se asume un solo nivel de granularidad en la red troncal (nivel de Agente de Paging), mientras que la granularidad de la red radio se basa en la propuesta del capítulo 4.

Al realizar la conexión radio (registro), el móvil pasa al estado ACTIVO donde la información se gestiona a nivel RAG. Si no se transmite datos desde/a el móvil durante t_{RAG} , este pasa al estado Disponible-Ahorro RAG. En este estado, no hay recursos radio asignados pero se sigue al móvil a través de la red de acceso, en un inicio el RAG (estado Disponible-Ahorro RAG). Si no hay interacción y el temporizador t_{RMM} expira, el móvil pasa al estado Disponible-Ahorro RMM. Si hay cualquier interacción de datos en este estado, el móvil pasa al estado ACTIVO. En el estado Disponible-Ahorro RMM la movilidad se gestiona a nivel del RMM. Si no hay interacción y el temporizador t_{pa} expira el móvil pasa al estado LIBRE.

5.3 Análisis de la probabilidad de Estado Estacionario de los estados de movilidad Mobile-IP RAN

El análisis de la probabilidad de estado estacionario evalúa la probabilidad de que el móvil se encuentre en un estado determinado de movilidad Mobile-IP RAN respecto a una serie de parámetros de entrada tales como los temporizadores de actividad/movilidad (t_{RAG} , t_{RMM} , t_{pa} , t_{LA}), y los parámetros de las sesiones. Este análisis está basado en el análisis realizado anteriormente para el sistema UMTS y para [IP Paging] en [Won2002] y [Won2003] respectivamente, adaptado para el entorno Mobile-IP RAN. El Apéndice B muestra el desarrollo matemático realizado para la determinación de la probabilidad de estado estacionario para cada uno de los estados de movilidad Mobile-IP RAN.

En esta tesis, se ha realizado el análisis, utilizando MATLAB®, para analizar el impacto de los parámetros de movilidad en la asignación de un estado de movilidad Mobile-IP RAN, a través de una serie de casos de estudio que permiten ver la dependencia de la probabilidad de estados NULO, ACTIVO, Disponible-Ahorro y LIBRE con estos parámetros.

- a) Dependencia entre las probabilidades y el tiempo de inactividad en el RAG (t_{RAG}).
- b) Dependencia entre las probabilidades y la tasa de actualización del RAG (λ_{RAG}).
- c) Dependencia entre las probabilidades y la tasa de establecimiento de sesiones (λ_{sa}).
- d) Relación entre tiempo de inactividad RMM (t_{RMM}) y el tiempo de inactividad RAG (t_{RAG}) y la probabilidad de Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM, y LIBRE.
- e) Relación entre las tasas de actualización de RAG y RMM (λ_{RMM} y λ_{RAG}) y la probabilidad de Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE.

Para estos ejemplos se asumen los parámetros que se muestran en la Tabla 15.

Para aislar la contribución de cada factor de movilidad actividad, respecto a las probabilidades de estado estacionario, se han definido cinco casos de estudio:

- a) Estudio del tiempo de inactividad en el RAG (t_{RAG}): Este caso estudia la dependencia del tiempo de inactividad RAG (t_{RAG}) en la distribución (probabilidades) de los estados de movilidad. El tiempo de inactividad define cuando un móvil al estar inactivo, pasa del estado ACTIVO a Disponible-Ahorro RAG.

La Figura 122 muestra la probabilidad de que un móvil esté ACTIVO, en estado Disponible-Ahorro o en los estados NULO o LIBRE, dependiendo del tiempo de inactividad del móvil en el RAG (t_{RAG}). La probabilidad de que el móvil esté en estado ACTIVO, depende en gran manera de que el tiempo de inactividad expire para que el

móvil pase al estado Disponible-Ahorro. La figura muestra que mientras mayor es el tiempo, más probabilidad existe de que el mismo no expire y el móvil se mantenga en el estado ACTIVO.

Parámetro	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d	Caso e	Unidad
λa (La)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	/hora
λd (Ld)	1	1	1	1	1	/hora
λi (Li)	1	1 (/hora)	[0.05:5]	1	1	/hora
λo (Lo)	1	1 (/hora)	[0.05:5]	1	1	/hora
λ_{RAG} (Lrag)	10	[0.1:100]	10	10	[0.1:100]	/hora
λ_{RMM} (Lrmm)	1	Lrag/n	1	1	Lrag/n	/hora
λ_{pa} (Lpa)	1	Lrag/n	1	1	Lrag/n	/hora
t_{RMM} (Trmm)	0.2	0.2	0.2	[1:100]x t_{RAG}	0.2	Hora
t_{pa} (Tpa)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	Hora
t_{ia} (Tia)	1	1	1	1	1	Hora
t_{RAG} (Trag)	[0.001:1]	0.025	0.025	[0.001:1]	0.025	Hora
α (alfa)	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	-
K_s (ks)	3	3	3	3	3	-
N	10	10	10	10	[1:100]	RAGs/RMM

Tabla 15 Parámetros de entrada para la estimación de la probabilidad de estado estacionario

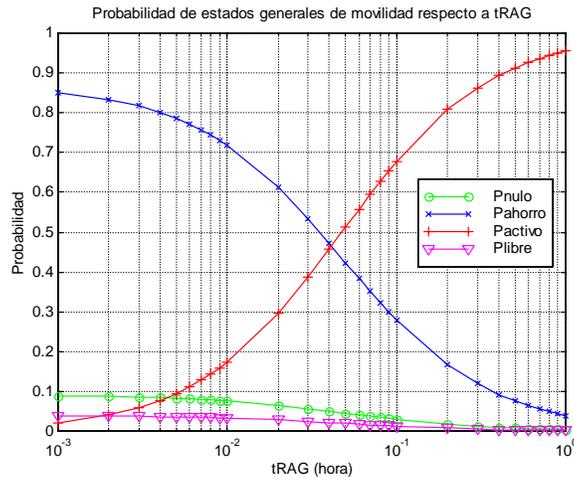


Figura 122 Probabilidad de estados generales de movilidad respecto a t_{RAG}

La Figura 123 muestra la probabilidad de los estados de movilidad respecto al tiempo de inactividad t_{RAG} . P1 depende fundamentalmente de la tasa de deregistro (λd). Los estados ACTIVO (P3) y Disponible-Ahorro-RAG (P2) dependen en gran forma del tiempo de inactividad t_{RAG} , ya que éste determina el paso del estado ACTIVO al estado Disponible-Ahorro (esto es, mientras mayor sea el tiempo de inactividad, mayor es el tiempo en el que el móvil estará en el estado ACTIVO). Por supuesto, además del

tiempo de inactividad t_{RAG} , el hecho de que el móvil se encuentre en el estado ACTIVO depende fundamentalmente de la tasa y duración de la sesión establecida.

Al aumentar el tiempo de inactividad t_{RAG} , es menos probable que el móvil pase del estado ACTIVO al Disponible-Ahorro RAG, y por ende se disminuye la probabilidad de que el mismo pase al estado de Disponible-Ahorro RMM (P4) o LIBRE (P5).

El punto de encuentro entre el estado ACTIVO y los estados Disponible-Ahorro son los siguientes:

- Disponible-Ahorro RAG (P2) se encuentra para un tiempo de inactividad de 0.035 horas (126 segundos).
- Disponible-Ahorro RMM (P4) se encuentra para un tiempo de inactividad aproximado de 0.008 horas (28 segundos).

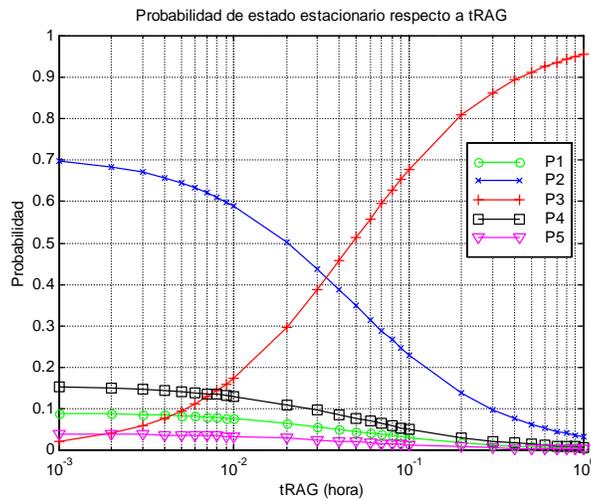


Figura 123 Probabilidades de estados de movilidad Mobile-IP RAN respecto al tiempo de inactividad t_{RAG}

- b) Estudio de la tasa de actualización del RAG (λ_{RAG}): Este caso estudia la influencia que tiene la tasa de actualización del RAG en la distribución (probabilidades) de los estados de movilidad. La tasa de actualización del RAG, define las veces que el móvil inicia una actualización de RAG por unidad de tiempo (hora) cuando está en el estado Disponible-Ahorro RAG. La Figura 124 muestra el efecto de la tasa de actualización en el RAG sobre los distintos estados generales de movilidad. En general, los estados NULO (P1), y ACTIVO (P3) no dependen del tiempo de residencia en el RAG¹⁶⁶.

Al aumentar el valor de la tasa de actualización del RAG, se logra el efecto de mantener al móvil en el estado Disponible-Ahorro, disminuyendo la probabilidad de que el móvil vaya a cualquier otro estado. A esto se debe la reducción de la probabilidad de que el móvil vaya al estado LIBRE (P5).

¹⁶⁶ Siempre asumiendo que el tiempo de residencia en el RAG (actualización de célula/RAG) es mayor (más frecuente) que el tiempo de inactividad RAG (t_{RAG}).

La Figura 125 muestra que al aumentar la tasa de actualización de RAG, el móvil aumenta la probabilidad de mantenerse en el estado Disponible-Ahorro RAG (P2), respecto a todas las otras probabilidades. Debido a este factor, la probabilidad de que el móvil se encuentre en el estado Disponible-Ahorro RMM (P4) también disminuye, ya que mientras más frecuente es la actualización de RAG, menos probabilidad existe de que el temporizador RMM (t_{RMM}) expire, por lo tanto menos posibilidad de que el móvil pase a ese estado.

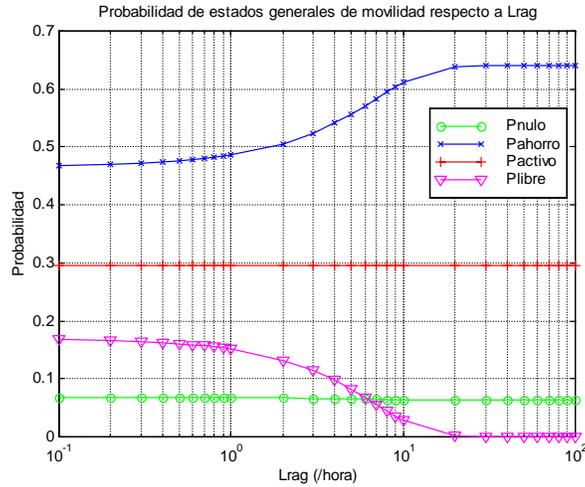


Figura 124 Probabilidad de estados generales de movilidad respecto a λ_{RAG}

El punto de encuentro entre el estado ACTIVO y los estados Disponible-Ahorro son los siguientes:

- Disponible-Ahorro RAG (P2) se encuentra aproximadamente para una tasa de actualización de 1.4 actualizaciones/hora.
- La probabilidad de Disponible-Ahorro RMM (P4) siempre va a ser menor que la probabilidad de ACTIVO para los valores utilizados.

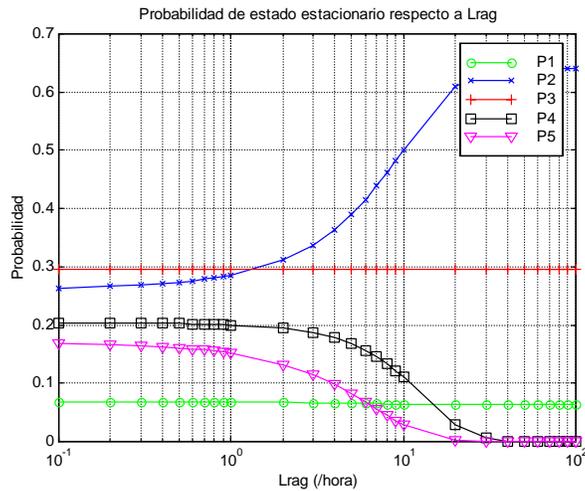


Figura 125 Probabilidades de estados de movilidad Mobile-IP RAN respecto a λ_{RAG}

- c) Estudio de la tasa de sesiones (λ_{sa}): Este caso estudia la influencia de la tasa de establecimiento de sesiones en la distribución (probabilidad) de los estados de movilidad. La tasa de establecimiento de sesiones define el número de sesiones establecidas (salientes y entrantes) por unidad de tiempo (hora). La Figura 126 muestra el efecto de la tasa de establecimiento de sesiones (λ_{sa}) en la probabilidad de estado estacionario, mostrando, como es de esperar, que la probabilidad del que el móvil se encuentre en estado ACTIVO (P3) aumenta al aumentar λ_{sa} .

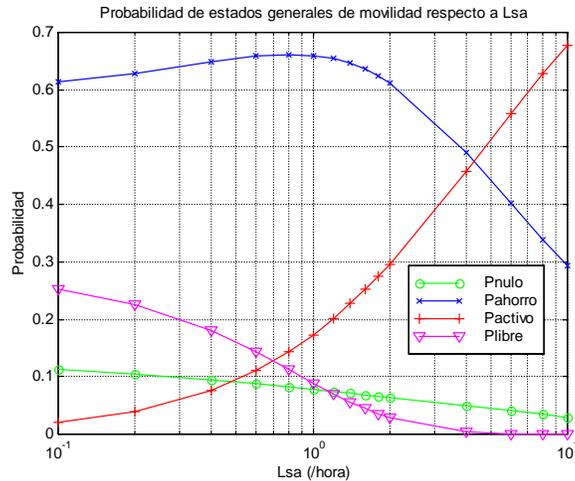


Figura 126 Probabilidad de estados generales de movilidad respecto a λ_{sa}

Asimismo la probabilidad de que el móvil se encuentre en algún estado Disponible-Ahorro también aumenta con el aumento de λ_{sa} hasta el momento que comienza a disminuir por la predominancia de P3.

La Figura 127 muestra el efecto de λ_{sa} en la probabilidad de estado estacionario de Mobile-IP RAN. Además de lo que se observó en el análisis de los estados de movilidad general (Figura 126), se ve que la probabilidad de que el móvil se encuentre en estado Disponible-Ahorro RAG (P2) aumenta con λ_{sa} , ya que al terminar cada sesión el móvil pasará del estado ACTIVO a Disponible-Ahorro RAG, y al aumentar la ocurrencia de sesiones, habrá más ocurrencias de estados Disponible-Ahorro, hasta el punto ($\lambda_{sa} = 1.2$ sesiones/hora) que esta probabilidad (P2), disminuirá causada por el aumento de P3. Asimismo P4 y P5 disminuyen respecto a λ_{sa} , debido al aumento de las probabilidades P43 y P53 (causada a su vez por su dependencia de λ_{sa}).

El punto de encuentro entre el estado ACTIVO y los estados Disponible-Ahorro son los siguientes:

- Disponible-Ahorro RAG (P2) se encuentra para una tasa de establecimiento de sesiones de 3.8 sesiones/hora.
- Disponible-Ahorro RMM (P4) se encuentra para una tasa de establecimiento de sesiones de 0.81 sesiones/hora.

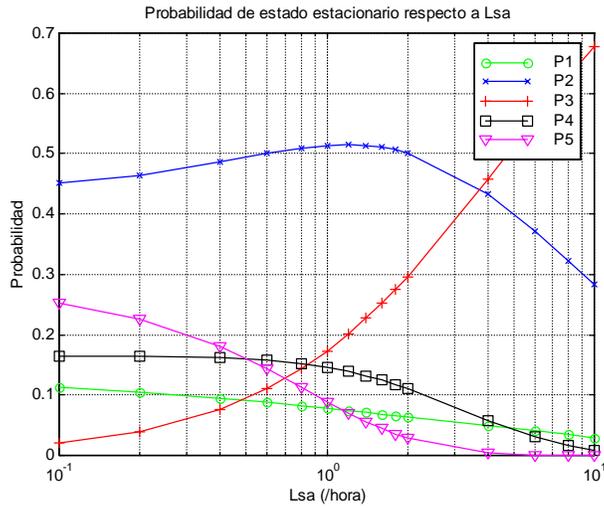


Figura 127 Probabilidades de estados de movilidad Mobile-IP RAN respecto a λ_{sa}

- d) Estudio de la probabilidad de estado Disponible-Ahorro RAG (P2) vs. Disponible-Ahorro RRM (P4), dependiendo de la relación entre el tiempo de inactividad de RAG (t_{RAG}) y el tiempo de inactividad RMM (t_{RMM}): Este caso estudia como influye la relación entre el tiempo de inactividad de RAG y el tiempo de inactividad de RMM en la distribución de los Estados Disponible-Ahorro RAG y Disponible-Ahorro RMM. El tiempo de inactividad RAG define cuando un móvil al estar inactivo (en el estado ACTIVO), pasa del estado ACTIVO a Disponible-Ahorro RAG. El tiempo de inactividad RMM define cuando un móvil al estar inactivo (en el estado Disponible-Ahorro RAG), pasa del estado Disponible-Ahorro RAG al estado Disponible-Ahorro RMM.

La Figura 128 a Figura 133 muestran las probabilidades para los estados Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE para $t_{RMM} = n \times t_{RAG}$, donde $n = [1:100]$ mostrando que para valores $n < 3^{(167)}$, la probabilidad de estado Disponible-Ahorro RMM (P4) se hace predominante sobre el estado Disponible-Ahorro RAG (P2). A partir de ese valor, el estado Disponible-Ahorro RAG predomina sobre el Disponible-Ahorro RMM. Para valores de $n > 10$, la probabilidad de estado Disponible-Ahorro RMM, se hace despreciable respecto al estado Disponible-Ahorro RAG.

La probabilidad de estado LIBRE (P5), depende enteramente en este caso de la probabilidad de estado Disponible-Ahorro RMM (P4), ya que hay que pasar por este estado para llegar al LIBRE. Por eso, la tendencia del estado LIBRE, es similar a la tendencia del estado Disponible-Ahorro RMM respecto del valor de n .

¹⁶⁷ En el punto $t_{RAG} = 0.025$, que se ha tomado como valor de referencia en la tesis

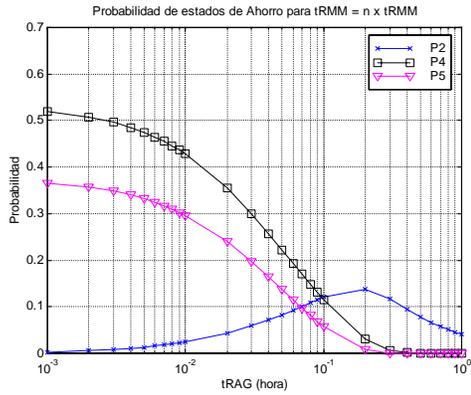


Figura 128 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=t_{RAG}$

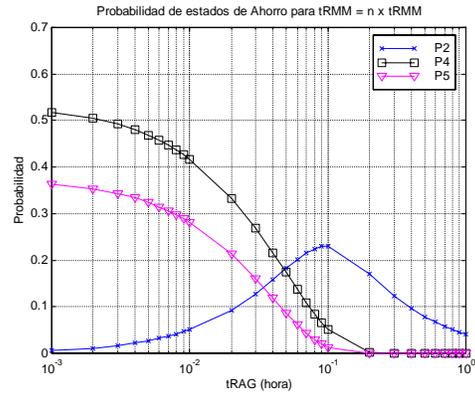


Figura 129 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=2t_{RAG}$

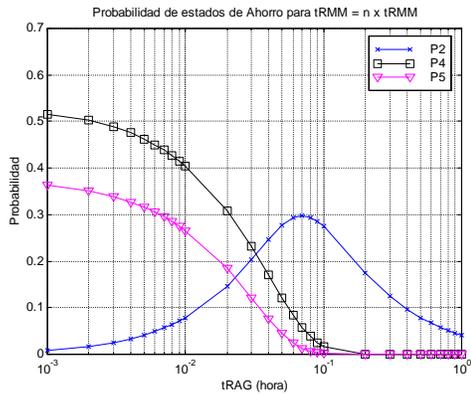


Figura 130 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=3t_{RAG}$

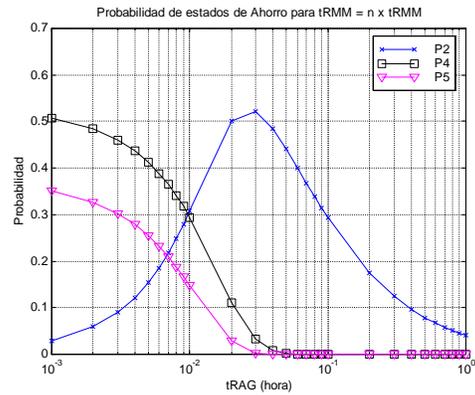


Figura 131 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=10t_{RAG}$

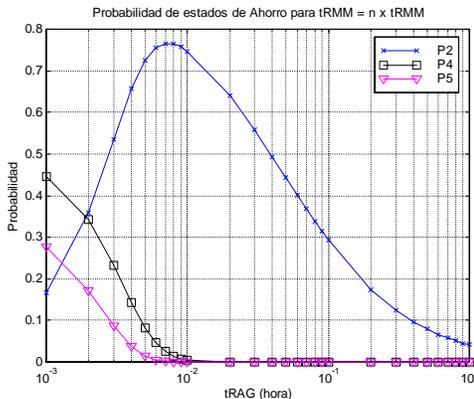


Figura 132 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=50t_{RAG}$

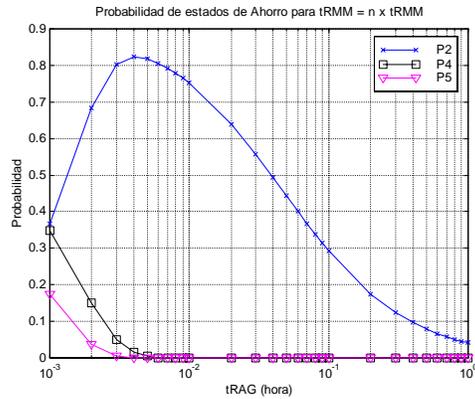


Figura 133 Probabilidad de Estado para $t_{RMM}=100t_{RAG}$

- e) Relación entre las tasas de actualización de RAG y RMM (λ_{RMM} y λ_{RAG}) y la probabilidad de Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE: Este caso estudia como influye la relación entre las tasa de actualización de RAG y la tasa de actualización de RMM en la distribución de los estados Disponible-Ahorro RAG y Disponible-Ahorro RMM. La tasa de actualización del RAG, define las veces que el móvil

inicia una actualización de RAG por unidad de tiempo (hora) cuando está en el estado Disponible-Ahorro RAG y la tasa de actualización del RMM define las veces que el móvil inicia una actualización de RMM por unidad de tiempo (hora) cuando está en estado Disponible-Ahorro RMM.

Las Figura 134 a Figura 139 muestran las probabilidades para los estados Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM, y LIBRE para $\lambda_{RMM} = n \times \lambda_{RAG}$, donde $n=[1:100]$, mostrando en líneas generales, que el valor de n (es decir mayor es el tamaño de cobertura RMM – esto es RAGs por RMM – en relación al área de cobertura del RAG), influye muy poco en la relación existente entre la probabilidad del Estado Disponible-Ahorro RAG y la probabilidad del estado Disponible-Ahorro RMM, para los valores estudiados. Es decir, que la relación entre la tasa de actualización de RAG y la tasa de actualización de RMM no influye en la distribución de las probabilidades en los estados Disponible-Ahorro.

5.4 Conclusiones

Los estados de movilidad en Mobile-IP RAN: ACTIVO, Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE, definen el grado de conectividad del móvil a la red de acceso y los mecanismos necesarios para poder transmitir y recibir datos de usuario, pero también definen los recursos radio, red y transporte destinados a cada móvil.

- En el modo ACTIVO, el móvil tiene los recursos radio (canal) y de transporte reservados en la red Mobile-IP RAN para la comunicación.
- En el modo LIBRE, el móvil no tiene recursos asignados en la red Mobile-IP RAN, y ésta no conoce la ubicación del móvil.
- En el modo Disponible-Ahorro RAG, el móvil no tiene recursos asignados en el enlace radio (RAG), sin embargo la ubicación del móvil es conocida a nivel de RAG (la red conoce el RAG donde se encuentra el usuario).
- En el modo Disponible-Ahorro RMM, el móvil no tiene recursos asignados en el enlace radio ni en la red Mobile-IP RAN, sin embargo la ubicación del móvil es conocida a nivel de RMM (la red troncal conoce el RMM donde se encuentra el usuario).

El análisis de la movilidad en Mobile-IP RAN muestra que la probabilidad de que el móvil se encuentre en un estado de movilidad determinado, depende fundamentalmente de los temporizadores de inactividad del móvil t_{RAG} y t_{RMM} , de las tasas de actualización de localización λ_{RAG} y λ_{RMM} , y de la relación entre los temporizadores de inactividad del móvil, así como de la tasa de sesiones λ_{sa} .

- El temporizador de inactividad del móvil t_{RAG} influye directamente en la probabilidad de que el móvil pase del estado ACTIVO al Disponible-Ahorro RAG. Dado que el principal objetivo de los estados Disponible-Ahorro es mantener la conectividad con el móvil sin consumir recursos radio, el control de este temporizador puede permitir un mejor control de la reserva de recursos, a través de una transición más rápida del estado ACTIVO al estado Disponible-Ahorro RAG. Un menor valor del temporizador hace que se liberen los recursos más rápido, controlando la capacidad de la red radio. El valor idóneo del temporizador es aquel que permita liberar los recursos lo más rápido posible, sin

impactar los tiempos de establecimiento de servicio (transmisión-recepción) en el establecimiento de las sesiones que puede realizar un usuario dentro de su uso corriente. Como ejemplo, dos usuarios. El primer usuario, utiliza servicios multimedia de tiempo real (por ejemplo telefonía), cuyo perfil de sesiones, es el establecimiento de un número de llamadas por unidad de tiempo. El tiempo entre llamadas es tiempo libre, donde el usuario no realiza actividad alguna. Para este tipo de usuarios, un valor pequeño del temporizador, permitiría liberar los recursos radio tan pronto como termine la llamada. Por el contrario, un usuario de servicios de tiempo no real tipo web, a ráfagas, necesita de un valor mayor del temporizador, de forma de minimizar la probabilidad de que un usuario, en medio de una sesión de uso (que puede involucrar el establecimiento de una o más sesiones http), tenga que (re)establecer los recursos radio en varias ocasiones.

- La mayor actividad del móvil, medida a través de la tasa de sesiones λ_{sa} , influye directamente en la probabilidad de estar en el estado LIBRE, y aumenta la probabilidad de que se encuentre en estado ACTIVO.
- La relación entre los temporizadores de inactividad del móvil t_{RAG} y t_{RMM} incide directamente en la probabilidad de que el móvil se encuentre en el estado Disponible-Ahorro RAG o Disponible-Ahorro RMM. Para valores pequeños de t_{RMM} ($t_{RMM} < 3 \times t_{RAG}$), la probabilidad de que el móvil se encuentre en el estado Disponible-Ahorro RMM es mayor que la del estado Disponible-Ahorro RAG. Para valores grande de t_{RMM} ($t_{RMM} > 10 \times t_{RAG}$), la probabilidad de que el móvil se encuentre en el estado Disponible-Ahorro RAG se hace mayor que la probabilidad del estado Disponible-Ahorro RMM. Es posible utilizar esta relación de un modo dinámico para diferentes perfiles de (movilidad de) terminales. Por ejemplo, terminales fijos pueden tener una relación $t_{RMM} - t_{RAG}$ que los mantenga en estado Disponible-Ahorro RMM, mientras que terminales con mayor movilidad puedan tener una relación $t_{RMM} - t_{RAG}$ que los mantenga en el estado Disponible-Ahorro RAG, haciendo más eficiente la utilización de los recursos y la carga de la red.
- El número de RAGs por cada RMM, medido por la relación entre λ_{RAG} y λ_{RMM} , no influye en la probabilidad de que el móvil se encuentre en un estado determinado. Esto determina que el tamaño de un RMM, entendido por el número de RAGs asociados a él, no tiene impacto alguno en el comportamiento de movilidad (en cuanto a estados) del móvil.

Un aspecto importante a tomar en cuenta como trabajo futuro, es la integración de algoritmos RRM que permitan la asignación de valores a estos temporizadores por (perfil de) usuario o terminal¹⁶⁸. Estos algoritmos, posiblemente ubicados en el RRM, y actuando sobre el RAG y el RMM, permitirían un uso aún más óptimo de los recursos.

¹⁶⁸ Cabe destacar que actualmente los sistemas móviles 3G utilizan valores fijos para los parámetros similares utilizados en estas redes, por lo que la escogencia del valor óptimo, es aquel que satisfaga a todos los perfiles de uso y movilidad, no necesariamente el más óptimo desde el punto de vista del uso y del perfil de movilidad de cada usuario independientemente.

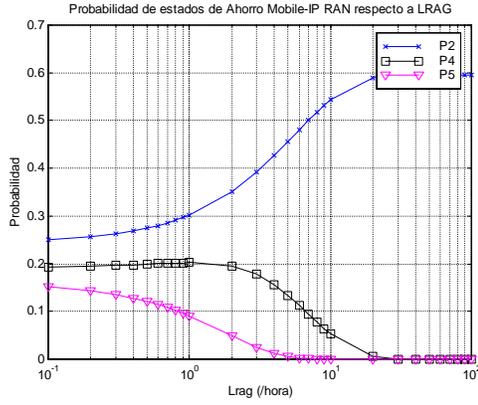


Figura 134 Prob. de Estado si $\lambda_{RMM} = \lambda_{RAG}$

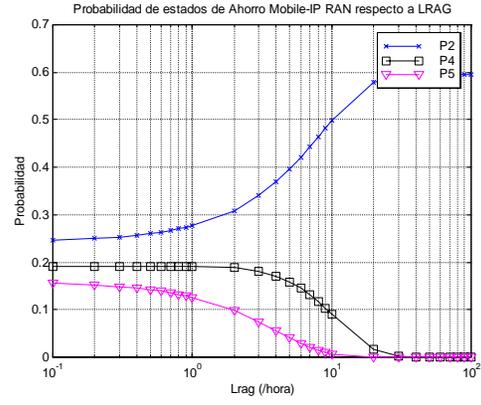


Figura 135 Prob. de Estado, $\lambda_{RMM} = 3 \times \lambda_{RAG}$

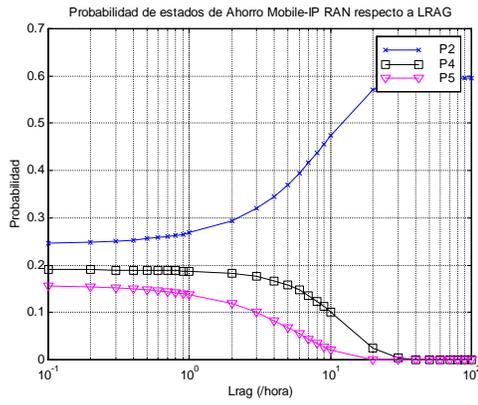


Figura 136 Prob. de Estado, $\lambda_{RMM} = 7 \times \lambda_{RAG}$

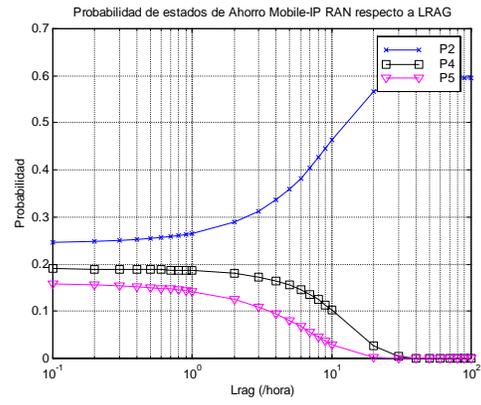


Figura 137 Prob. de estado para $\lambda_{RMM} = 12 \times \lambda_{RAG}$

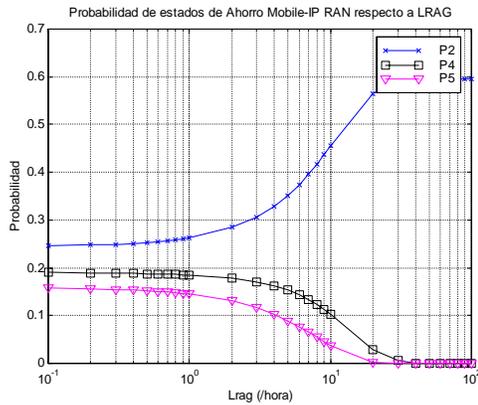


Figura 138 Probabilidades para $\lambda_{RMM} = 24 \times \lambda_{RAG}$

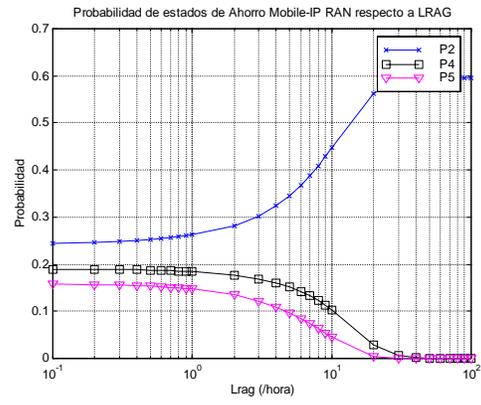


Figura 139 Probabilidades para $\lambda_{RMM} = 100 \times \lambda_{RAG}$

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DEL SERVICIO DE DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN MOBILE-IP RAN

6.1 Introducción

Como parte de los objetivos de esta tesis, el propósito del análisis del servicio de la determinación de la posición en Mobile-IP RAN, a través del estudio de la carga de señalización en la interfaz radio, es validar la propuesta del servicio de determinación de la posición en Mobile-IP RAN.

Para el análisis, se ha realizado la estimación numérica de la carga de señalización en la interfaz radio, que permite determinar el impacto de la señalización propuesta para la determinación de la posición, sobre los canales radio de las tecnologías móviles e inalámbricas más comunes: GSM, UMTS, y WLAN (802.11g).

6.2 Carga de señalización en la interfaz radio

Para determinar el consumo de ancho de banda debido al posicionamiento básico y avanzado en Mobile-IP RAN, se estimó realizar el análisis sobre la interfaz radio, al ser ésta el cuello de botella del sistema en términos de ancho de banda.

Se realizó el análisis sobre los sistemas GSM, UMTS y WLAN (802.11g), representativos de sistemas con muy bajo ancho de banda en el enlace radio (GSM e IS-95), ancho de banda bajo de señalización (UMTS y cdma2000) y gran ancho de banda (tecnologías WLAN).

La Ec 1 define el consumo del ancho de banda en la interfaz radio debido al comportamiento dinámico de señalización propuesto para la determinación de la posición en Mobile-IP RAN.

$$BW_{LBS} = N_{USUARIOS} \times LOC_{FREC} \times \sum_{Mensajes_LBS} Mensajes \quad Ec\ 1$$

BW_{LBS} es el ancho de banda utilizado durante el proceso de posicionamiento. Se asume que el móvil está en estado ACTIVO y puede recibir/transmitir mensajes desde/a la red. LOC_{FREC} es la frecuencia de peticiones de localización en 1/s. $Mensajes$ es el tamaño en bits de cada mensaje de posicionamiento.

La Tabla 16 muestra los mensajes, la dirección, su tamaño en bits, y su aplicabilidad al posicionamiento básico o avanzado en Mobile-IP RAN.

En el análisis se calculó la carga, medida como ocupación del canal, para frecuencias de localización desde 0.1 peticiones de localización por hora, hasta 100 intentos de localización por hora, realizando las gráficas de los valores obtenidos desde 1 localización/hora hasta 60 localización/hora (1 localización/minuto), por ser más representativos de condiciones reales relacionadas con servicio.

Con relación al número de usuarios, se realizó el análisis entre 1 y 500 usuarios, si bien en las gráficas se utilizan valores desde 1-160 para GSM/GSM, 1-500 para UMTS y 1-244 para WLAN 802.11g, por ser más representativos de las capacidades nominales de las células o puntos de acceso de las respectivas tecnologías.

Mensaje	Dirección	Determinación posición básica	Determinación posición avanzada	Tamaño mensaje (bits)
Location Immediate Request	MS	X	X	1008
Location Immediate Response	LBS-S	X	X	1680
Position Request	PDE		X	832
Position Response	MS		X	1008
Measurement Request	MS		X	672
Measurement Response	PDE		X	1176

Tabla 16 Mensajes para la determinación de la posición en Mobile-IP RAN (Interfaz radio)

La Tabla 17 resume los valores utilizados en el análisis

Parámetro	Rango	Notas
LOC_{FREQ} – Frecuencia de petición de localización	0.1 a 100 loc/hora	
$N_{USUARIOS}$ – Número de usuarios en la célula/punto de acceso	1 a 500	1 a 160 para GSM/GPRS 1 a 500 para UMTS 1 a 250 para WLAN 802.11g

Tabla 17 Valores de parámetros utilizados para el análisis de carga de la interfaz radio

6.3 Resultados y análisis

En esta tesis, se ha realizado la estimación de la carga de señalización (ocupación del canal radio) utilizando MATLAB® como herramienta de simulación/estimación numérica.

6.3.1 Carga de señalización en GSM

Para el análisis de la carga de señalización relacionada con la determinación de la posición en el sistema GSM se realizó inicialmente el análisis del impacto sobre un canal de transporte

SDCCH. El canal de transporte SDCCH se utiliza para la señalización entre móvil y red, así como para el envío de mensajes cortos sobre la red de circuitos GSM (no GPRS).

La configuración típica de portadora GSM incluye 1 o 2 canales SDCCH, y el resto (7 o 6) como canales TCH. Cada canal SDCCH posee una capacidad de 1.94 kbps para la transmisión de datos (estos datos incluyen señalización usuario-red y transmisión de SMS).

Canal de transporte	Capacidad
SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel	1.94 kbps

Tabla 18 Canal de transporte de señalización en el sistema GSM

Las Figura 140 y Figura 141 muestran la ocupación del canal SDCCH en el enlace ascendente y descendente para los modos de posicionamiento básico y avanzado respectivamente.

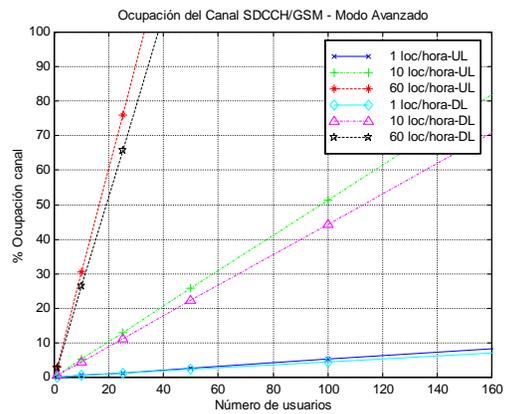
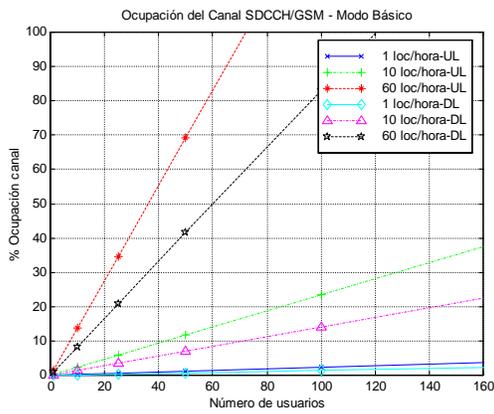


Figura 140 Ocupación del canal SDCCH-GSM – Determinación de la posición en Modo Básico

Figura 141 Ocupación del canal SDCCH-GSM – Determinación de la posición en Modo Avanzado

Los resultados muestran que la ocupación del canal SDCCH varía de forma lineal con la frecuencia de las peticiones y con el número, lo cual demuestra que el número de usuarios por célula¹⁶⁹ y el tipo de servicio de localización impactan de forma lineal a la ocupación del canal. Asimismo, muestran que la carga es mayor en el enlace ascendente que en el descendente, esto debido a que es el móvil quien reporta la posición al LBS-S. Estos dos fenómenos se repetirán con todas las otras tecnologías radio¹⁷⁰.

En el modo de determinación de posición básico, los resultados también muestran que el canal SDCCH proporciona suficiente capacidad para servicios que requieran una actualización de la posición con una periodicidad menor a 10 localizaciones/hora en modo básico (40% ocupación

¹⁶⁹ Término conocido como “tamaño de la célula”, aunque esté relacionado tanto con el número de usuarios como con la cobertura (tamaño físico) de la célula.

¹⁷⁰ Respecto al efecto de linealidad, es importante destacar que aunque el modelado de análisis consiste en un modelo lineal, el mismo representa fielmente la ocupación del canal. Este modelo no incluye las no-linealidades en la señalización, que normalmente se representan como retardo en el acceso o en el intercambio de señalización, ya sea por retransmisiones por pérdida de paquetes o por retardo.

para 160 usuarios). Para frecuencias mayores, la ocupación se incrementa hasta llegar al 100% con solo 70 usuarios.

En el modo de determinación de posición avanzado, los resultados muestran que el canal SDCCH proporciona suficiente capacidad solo para los servicios que requieran una actualización de posición con una periodicidad muy baja (aproximadamente 4 localizaciones/hora). Para frecuencias mayores, la ocupación se incrementa hasta llegar al 100% con solo 33 usuarios.

Los resultados arriba demuestran dos tendencias claras:

- La linealidad y la capacidad canal hacen que el servicio de localización sean un factor adicional en la planificación de los canales GSM¹⁷¹.
- Un canal SDCCH no posee suficiente capacidad para manejar servicios de localización que requieran a) determinación de la posición avanzada o b) frecuencias altas de actualización de la posición.

Para incrementar la capacidad del sistema GSM, las Figura 142 y Figura 143 muestran la ocupación del canal dedicando dos intervalos de tiempo para canales SDCCH, duplicando la capacidad de señalización de la célula.

Aunque existe una mejora importante, los resultados muestran que la tendencia es prácticamente irreversible: la capacidad de señalización ofrecida es insuficiente para servicios de localización que requieren un posicionamiento avanzado y una alta frecuencia de actualización de la posición. Esto es importante a tener en cuenta durante la planificación de servicios de localización en Mobile-IP RAN que se desplieguen sobre RAGs con interfaz radio GSM.

Una opción viable, ya utilizada en los mensajes cortos SMS, es la utilización de canales dedicados a GPRS (PDCH) con el propósito de intercambiar los mensajes de señalización. Los canales GPRS ofrecen desde 9.05 kbps hasta 21.4 kbps de capacidad por intervalo de tiempo. Las Figura 144 y Figura 145 muestran la ocupación de un canal PDCH a una tasa promedio de 12.75 kbps [Featherstone2000, Isaksson2005].

6.3.2 Carga de señalización en UMTS

Para el análisis en el sistema UMTS se asumió la utilización de un canal lógico DCCH realizado sobre los canales de transporte RACH/FACH, a una tasa de 32kbps, como el peor caso¹⁷², al ser el canal de transporte con menor capacidad de transmisión en la interfaz radio UMTS.

¹⁷¹ Paging, tráfico de llamadas y SMS son los componentes fundamentales en la planificación de los canales SDCCH.

¹⁷² En el release 7 de la especificación UMTS, se añadió el soporte de utilización del canal de transporte HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*) y del canal físico HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*) en el estado Cell_FACH, para aumentar la capacidad de transmisión de señalización al usuario (de 32kbps a más de 1Mbps) y para disminuir el tiempo y complejidad de la transición del estado Cell_FACH al Cell_DCH. [Holma2007] proporciona un buen resumen sobre las mejoras.

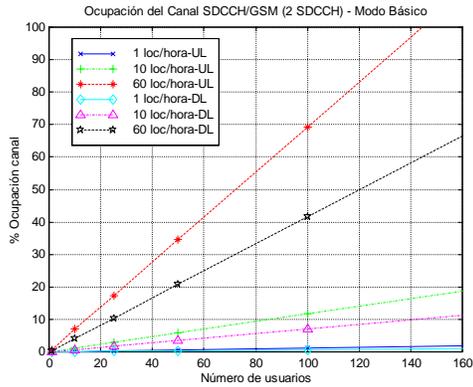


Figura 142 Ocupación de dos canales SDCCH-GSM – Determinación de la posición en Modo Básico

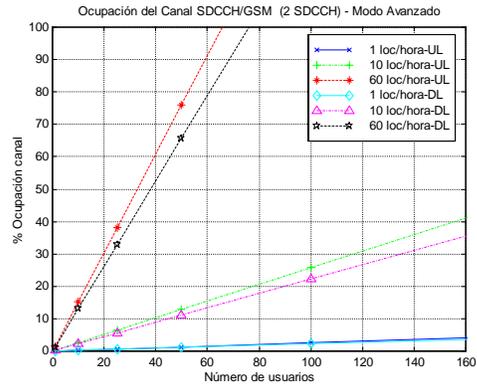


Figura 143 Ocupación de dos canales SDCCH-GSM – Determinación de la posición en Modo Avazado

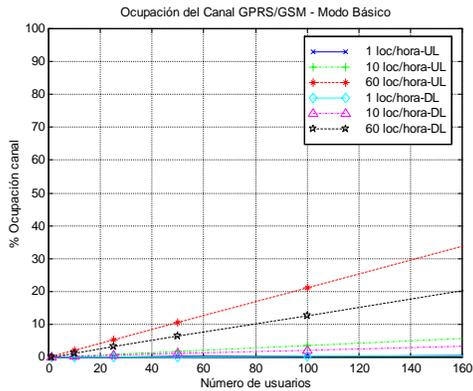


Figura 144 Ocupación del canal GPRS PDCH – Determinación de la posición en Modo Básico

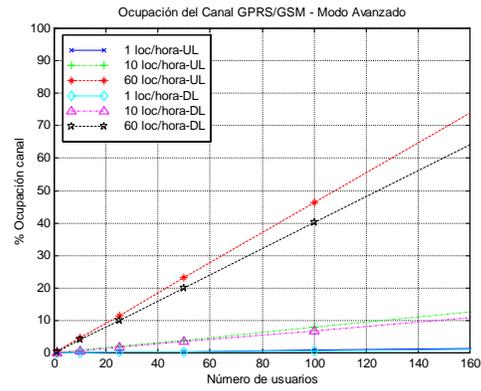


Figura 145 Ocupación del canal GPRS PDCH – Determinación de la posición en Modo Avazado

Las Figura 146 y Figura 147 muestran la ocupación del canal RACH/FACH para los modos de posicionamiento básico y avanzado respectivamente.

Canal de transporte	Dirección	Capacidad
RACH – Random Access Channel	Enlace ascendente	32 kbps
FACH – Forward Access Channel	Enlace descendente	32 kbps

Tabla 19 Canales de transporte para señalización DCCH

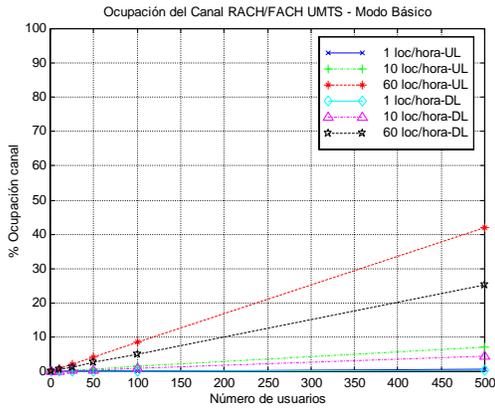


Figura 146 Ocupación del canal UMTS RACH/FACH – Determinación de la posición en Modo Básico

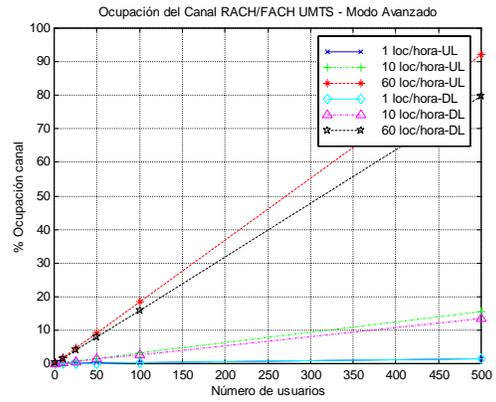


Figura 147 Ocupación del canal UMTS RACH/FACH – Determinación de la posición en Modo Avanzado

Los resultados muestran que en el modo de determinación de posición básico, el impacto de la señalización en la ocupación del canal UMTS RACH/FACH varía entre un 8% para una frecuencia de actualización de la posición de 10 loc/hora hasta 40% para una frecuencia de actualización de la posición de 60 loc/hora, tomado para una célula que sirve a 500 usuarios. Estos valores se consideran aceptables, tomando en cuenta que se producen para la carga máxima de la célula¹⁷³.

En el modo de determinación de posición avanzado, el impacto de la señalización en la ocupación del canal UMTS RACH/FACH varía entre un 15% para una frecuencia de actualización de la posición de 10 loc/hora hasta 92% para una frecuencia de actualización de la posición de 60 loc/hora, tomado para una célula que sirve a 500 usuarios. Estos valores, si bien se consideran aceptables, muestran los límites del canal RACH/FACH como canal que permite añadir nuevos servicios de red o usuario que requieran de señalización adicional.

Este último aspecto, es importante a tomar en cuenta durante la planificación de los servicios de localización sobre redes UMTS Release 99 - Release 6, donde el canal RACH/FACH es el principal vehículo para la señalización no asociada a llamada en el sistema UMTS. El 3GPP ha reconocido las limitaciones del canal RACH/FACH y en el Release 7 introdujo la posibilidad de utilizar el canal de transporte HS-DSCH y el canal físico HS-PDSCH como canal físico en el estado Cell_FACH, proporcionando más de 1 Mbps para la señalización no asociada a llamada (en estado Cell_FACH).

6.3.3 Carga de señalización en 802.11g

Para el análisis en la interfaz radio WLAN, se utilizó un canal 802.11g, con las siguientes características.

¹⁷³ Se consideran 500 usuarios por célula como un límite máximo, tomando en cuenta que no todos los usuarios de la misma van a utilizar servicios de localización utilizando el mismo modo (básico o avanzado) ni a la misma frecuencia de actualización. Por tanto, se considera el caso analizado, en términos de número de usuarios máximo, como el peor caso posible.

Canal de transporte	Condiciones	Capacidad
Cumple 802.11g	Móvil aproximadamente de 10 a 15 metros alejado del RAG. No hay obstrucciones significativas entre los dos puntos. Utiliza cifrado WEP de 128 bits y protocolo de transporte orientado a conexión (tipo TCP) [Kbar2005]	9100 kbps [Isaksson2005, Barka2007, Kbar2005]

Tabla 20 Característica del canal radio WLAN 802.11g

Las Figura 148 y Figura 149 muestran la ocupación del canal para los modos de determinación de la posición básico y avanzado respectivamente.

Los resultados muestran que tanto para el modo básico como en el avanzado la ocupación del canal debida a la señalización para la determinación de la posición se encuentra por debajo del 0.2% para la configuración máxima de usuarios analizada (250 usuarios), para la frecuencia de actualización de la posición de 60 loc/hora.

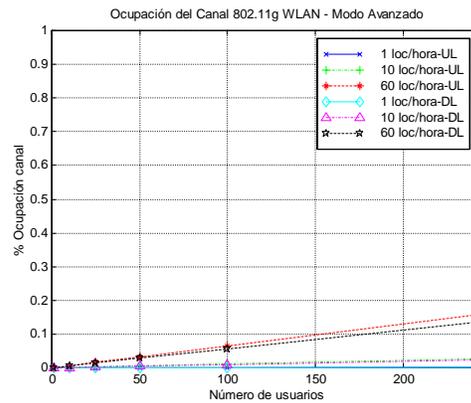
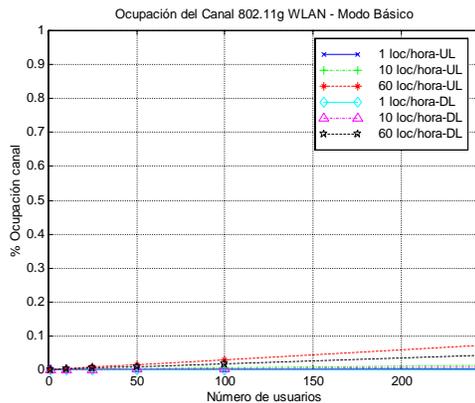


Figura 148 Ocupación del canal WLAN 802.11g – Determinación de la posición en Modo Básico

Figura 149 Ocupación del canal WLAN 802.11g – Determinación de la posición en Modo Avanzado

6.4 Conclusiones

Al analizar los resultados obtenidos para la estimación de la carga de señalización para el servicio de determinación de la posición en Mobile-IP RAN para las tecnologías radio GSM (SDCCH y GPRS PDCH), UMTS y WLAN 802.11g, se distinguen los siguientes aspectos:

- Dependencia lineal de la ocupación con el número de usuarios y con la frecuencia de actualización de la posición.
- Las tecnologías radio denominadas de segunda generación (GSM, CDMA), se adaptan al modo de localización básico, sin embargo no poseen suficiente capacidad para el manejo de una alta tasa de peticiones de localización avanzada, o de servicios que requieran una alta frecuencia de actualización de la posición.
- Las tecnologías radio de tercera generación, se adaptan al modo de localización básico, y al modo de localización avanzado. En este último modo, el impacto de la señalización es algo mayor, por lo que en el caso de interfaces radio que utilicen canales compartidos de baja velocidad (tales como RACH/FACH en UMTS), debe tomarse en cuenta este

factor cuando se diseñen los servicios de localización, en especial la frecuencia estimada de actualización de la posición del móvil. Este problema desaparece cuando se utilizan los canales de alta velocidad como transporte en el modo Cell-FACH.

- En las tecnologías radio de banda ancha tales como WLAN 802.11g/n y WiMAX 802.16e, la contribución de la señalización para la determinación de la posición en la ocupación del canal es mínima (por debajo del 0.2%), por lo que estas tecnologías permiten el despliegue de servicios de localización que necesiten una alta tasa de actualización de la posición a nivel masivo.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DEL MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN EN MOBILE-IP RAN

7.1 Introducción

En el Capítulo 4 se presentó el modelo de sincronización de Mobile-IP RAN, consistiendo en la sincronización de los siguientes ámbitos:

- Sincronización de red,
- Sincronización de la interfaz radio,
- Sincronización entre RAGs durante soft-handover, y
- Sincronización de tramas de usuario en soft-handover,

La sincronización estricta de red en Mobile-IP RAN está basada en una fuente común (GPS) y una red (opcional) de distribución de la señal de reloj para aquellos RAGs que no tengan un GPS. La sincronización de la interfaz radio depende de la tecnología radio utilizada y es una función del (módulo radio del) RAG.

Para la sincronización entre RAGs durante el soft-handover y la sincronización de tramas en el soft-handover, se propuso una adaptación de los mecanismos de sincronización existentes en las interfaces terrestres de las tecnologías cdma2000 y UMTS al entorno Mobile-IP RAN.

En este Capítulo se presenta el análisis del mecanismo de sincronización de la interfaz $iRAG_{SHO}$, con el objetivo de determinar:

- La necesidad de los mecanismos de sincronización entre RAGs y de tramas de usuario durante el procedimiento de soft-handover en la interfaz $iRAG_{SHO}$ ¹⁷⁴.
- El impacto del mecanismo y de los algoritmos de sincronización de tramas en el ancho de banda y en el retardo del establecimiento del contexto de la interfaz $iRAG_{SHO}$.

¹⁷⁴ Si no existe la sincronización estricta, el procedimiento de sincronización de RAGs es obligatorio, no por su contribución en la sincronización de la interfaz $iRAG_{SHO}$ (cuestión que se estudia en este Capítulo) sino por su contribución en la sincronización de la interfaz radio.

- Evaluar el comportamiento del mecanismo de sincronización de tramas para distintos escenarios de carga de la interfaz $iRAG_{SHO}$.

Para este análisis, se ha modelado el tráfico de la interfaz $iRAG_{SHO}$, así como los mecanismos de sincronización de RAGs y de tramas de usuario en la interfaz, utilizando MATLAB® como herramienta de simulación, con el objeto de obtener:

1. La carga de señalización y el retardo del mecanismo de sincronización de tramas
2. La dependencia del algoritmo de sincronización de tramas en la carga de la interfaz
3. Evaluar el tiempo de llegada de las tramas y la tasa de pérdida de tramas (tramas que llegan demasiado tarde o demasiado temprano) en la interfaz $iRAG_{SHO}$ para distintos valores de carga de la interfaz, para los casos: (a) Con el mecanismo de sincronización de tramas activados en el establecimiento y en la vida útil del contexto¹⁷⁵, (b) Sólo en la vida útil (no hay mecanismo de sincronización en el establecimiento del contexto), (c) Sólo en el establecimiento (no hay mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto), y (d) Sin ningún mecanismo de sincronización.

El propósito de este análisis cumplir con el objetivo de validar la propuesta del modelo de sincronización en Mobile-IP RAN.

7.2 Modelo de red

La Figura 150 muestra el modelo de red utilizado para el análisis del mecanismo de sincronización. En el modelo se utiliza un móvil y dos RAGs.

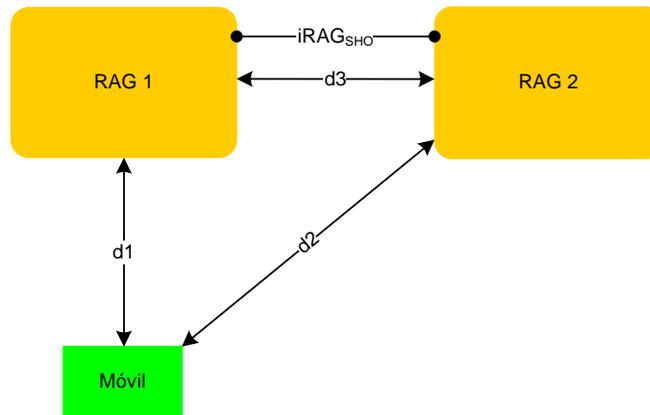


Figura 150 Modelo de red utilizado para el análisis del mecanismo de sincronización en Mobile-IP RAN

El modelo asume lo siguiente:

- El móvil se encuentra a una distancia d_1 del RAG 1 (de anclaje) y a una distancia d_2 del RAG 2 (vecino), d_3 define la distancia entre estos RAGs.

$$d_2^2 = d_1^2 + d_3^2 \quad \text{Ec 2}$$

¹⁷⁵ Se refiere a la vida útil del enlace en las interfaces $iRAG_H$ e $iRAG_{SHO}$ para el soporte del soft-handover de un usuario determinado.

- El móvil se encuentra moviéndose en la zona de cobertura de forma aleatoria generando un cambio en la diferencia de tiempos (asociados al cambio de las distancias $d1$ y $d2$). Esta diferencia de tiempo se denomina OFF.

$$OFF = \frac{(d2 - d1)}{(3 \cdot 10^8)} \quad \text{Ec 3}$$

- La interfaz $iRAG_{SHO}$ se encuentra (en cada caso estudiado) bajo una condición de carga media, máxima o máxima sin control de admisión. Esta condición de carga genera un componente de retardo en la interfaz $iRAG_{SHO}$ adicional al retardo de transmisión sin carga. La componente de retardo asociado (más la componente de retardo asociada al parámetro OFF) se denomina Delay (retardo medio).
- La interfaz $iRAG_{SHO}$ tiene un ancho de banda de usuario denominado BW_{RAG}

7.2.1 Recepción y transmisión de tramas radio en el RAG

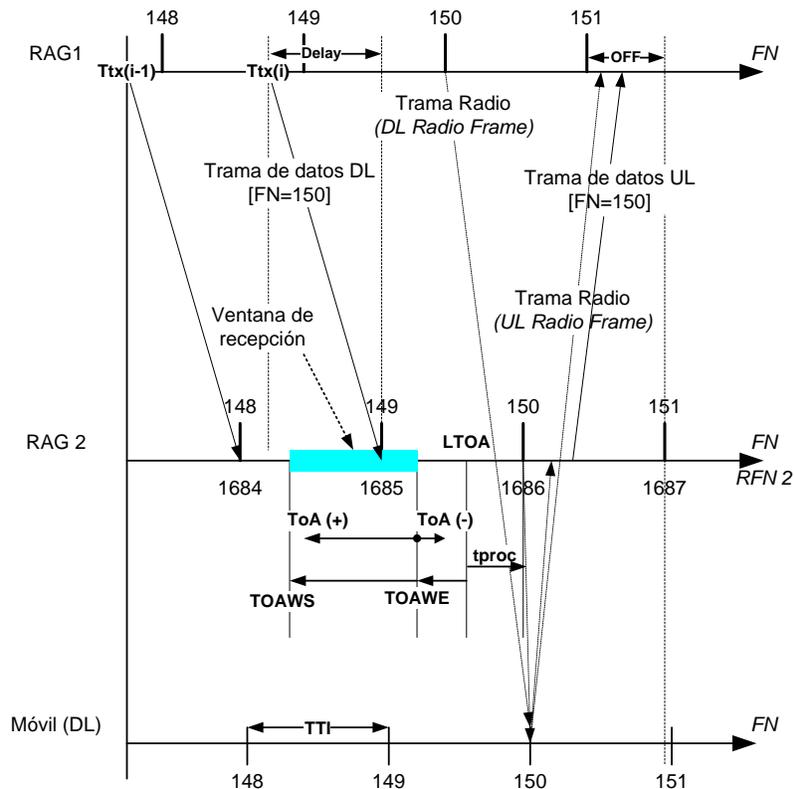


Figura 151 Modelo de recepción de tramas en el RAG en soft-handover, de acuerdo con [TS25402]

El modelo de recepción de tramas radio sobre la interfaz $iRAG_{SHO}$ y transmisión de estas tramas en el enlace radio durante el soft-handover sigue el utilizado en las redes CDMA cdma2000 [AS0015-C] y UMTS [TS25402], y se muestra en la Figura 151.

- El RAG origen tiene un intervalo de transmisión de tramas radio denominado TTI (*Transmission Time Interval*). Cada trama se transmite en la interfaz aire en su número de trama radio (FN – *Frame Number*) asociado.

- El RAG tiene un tiempo de procesamiento de tramas t_{proc} . Este es el tiempo mínimo que tarda el RAG en transmitir por la interfaz radio una trama recibida por la interfaz $iRAG_{SHO}$. Este tiempo define el tiempo máximo relativo en que pueda llegar una trama sobre la interfaz $iRAG_{SHO}$ y ser enviada en el FN previsto (LTOA, *Latest Time of Arrival*).
- La ventana de transmisión está definida por los parámetros TOAWE y TOAWS, que indican el fin y el comienzo de la ventana de recepción. El tiempo de llegada (ToA) define la diferencia tiempo entre el final de la ventana y la llegada de la trama. Es positivo si la trama llega antes de TOAWE y negativo si la trama llega después.
- Una trama se considera perdida (se descarta y no se transmite), si llega después de LTOA o antes de TOAWS.
- Para que la trama llegue dentro de la ventana de recepción, el RAG origen debe determinar, basado en el retardo estimado entre RAGs, y el número de trama (FN) destino, el tiempo de transmisión de la trama (Ttx).

7.2.2 Modelo de carga de tráfico de usuario en la interfaz $iRAG_{SHO}$

El modelo de carga de tráfico de usuario en la interfaz $iRAG_{SHO}$ se utiliza con el objetivo de obtener el retardo promedio en la interfaz dada una condición de carga determinada¹⁷⁶. Este retardo permite determinar el tiempo de llegada (ToA) de cada trama y si ésta es transmitida o descartada aumentando o disminuyendo la tasa de pérdida de tramas en la interfaz.

Para el modelo de carga de tráfico de usuario en la interfaz $iRAG_{SHO}$ se ha utilizado el modelo de simulación de la interfaz lub con transporte IP de UMTS definido en [TR25933] y [R3-002552] y aplicado al tamaño de las tramas de voz y datos utilizados en la interfaz $iRAG_{SHO}$ de Mobile-IP RAN. Para el estudio se ha asumido una capa de enlace basada en PPP Multiplexado (PPPMux) y HDLC, tal y como está descrito en [R3-011456] y [Montilla2002a]¹⁷⁷. El modelo se basa en una fuente de voz y otra fuente de datos, al que se añaden las cabeceras de los protocolos de transporte (y la multiplexión en el caso de PPPMux) y pasan a un planificador antes de entrar a la interfaz. El planificador tiene una prioridad simple en el cual se transmiten tramas de voz siempre que haya una trama de voz en la cola.

Tipo de trama de datos interfaz $iRAG_{SHO}$ Mobile-IP RAN	Tamaño en bits
<i>SbitServV – Tamaño de bits Servicio de Voz</i>	640 (80 bytes)
<i>SbitServD – Tamaño de bits Servicio de Datos</i>	1792 (224 bytes)

Tabla 21 Tamaño de tramas de datos sobre la interfaz $iRAG_{SHO}$

¹⁷⁶ Es importante destacar que el objetivo del modelo de carga no es analizar la eficiencia de la propuesta Mobile-IP RAN en cuanto la relación del tamaño de las tramas respecto a la información contenida en ellas. Esta tesis no aborda el estudio de la mejora de esta eficiencia, por ejemplo utilizando compresión de cabeceras u otro mecanismo alternativo. Este estudio se deja como una vía futura de investigación.

¹⁷⁷ La utilización de estos protocolos de enlace comprende un ejemplo de utilización y de ninguna forma especifica el uso de estos protocolos de forma obligatoria.

Para el análisis del mecanismo de sincronización de la interfaz iRAG_{SHO} en Mobile-IP RAN, se definen tres escenarios de carga:

- (a) Carga Normal: Se refiere a la carga de la interfaz que genera un retardo de los paquetes constante al incrementar la carga infinitesimalmente, y su valor corresponde aproximadamente al retardo de transmisión (sin carga) y al retardo de propagación. Corresponde al caso en que las colas del planificador se mantienen vacías (el retardo de colas es aproximadamente cero).
- (b) Carga máxima con control de admisión (CAC): Se refiere a la carga de la interfaz que genera un retardo menor o igual que el retardo máximo admisible. La variación del retardo es mayor al cambiar la carga infinitesimalmente. Corresponde al caso en que las colas del planificador no están vacías, produciendo un retardo de colas, y existe un algoritmo de control de admisión que no permite nuevas conexiones (y tráfico adicional) en caso de que la carga genere un retardo de interfaz mayor del máximo admitido. En este análisis, se asume el valor de retardo máximo de 5 ms para las tramas de voz y 100 ms para las tramas de datos¹⁷⁸.
- (c) Carga máxima sin control de admisión (CAC): Se refiere a los valores de carga de interfaz cercanos a la máxima capacidad real de la interfaz. Al no existir control de admisión, no se regula la carga máxima, produciendo valores de retardo (y su variación) altos.

La Figura 152 muestra el retardo de las tramas de voz obtenido en las simulaciones, para las distintas zonas de carga la interfaz iRAG_{SHO}. Se ha utilizado un ancho de banda de 2 Mbps, y tres mezclas de tráfico (100% Voz, 80% Voz – 20% Datos, 20% Voz – 80% datos).

7.2.3 Modelo de sincronización de tramas

7.2.3.1 Sincronización en el establecimiento del contexto

El modelo de sincronización de tramas en el establecimiento asume que periódicamente el RAG puede obtener el tiempo de ida y vuelta a través de la señalización del procedimiento de sincronización de RAG y de los mensajes *DL Synchron* y *UL Synchron*. En este modelo, el retardo entre RAGs ($D_{TransRAG}$) es calculado como:

$$D_{TransRAG} = D_{transDL} + D_{transUL} + 2 \times (D_{prop} + vaMed) \quad Ec 4$$

Donde,

- D_{trans} , es el retardo de transmisión en la interfaz en el enlace evaluado como,

$$D_{trans} = \frac{SbitSync}{BW_RAG} \quad Ec 5$$

donde $SbitSync$ (DL y UL) representa el tamaño de los mensajes *DL Synchron* y *UL Synchron*.

¹⁷⁸ De acuerdo a los valores sugeridos en [R3-002552] para la interfaz lub basada en transporte IP del sistema UMTS.

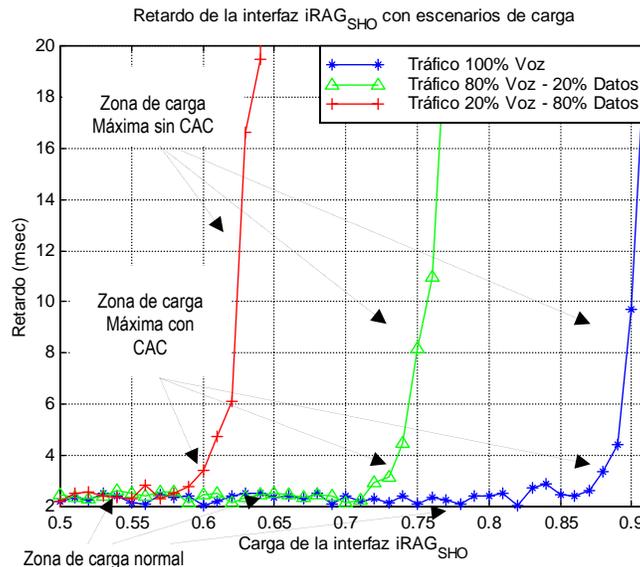


Figura 152 Retardo de tramas interfaz iRAG_{SHO}, escenarios de carga

- D_{prop} , es el retardo de propagación de los bits sobre la interfaz,

$$D_{prop} = \frac{d3}{3.10^8} \quad \text{Ec 6}$$

- $vaMed$, es un valor aleatorio que representa la variación media del retardo, debido a las condiciones de carga de la interfaz. Su valor está relacionado con el modelo de carga utilizado.

7.2.3.1.1 Determinación del Tiempo de transmisión inicial (Ttx(1))

Para determinar el tiempo de transmisión inicial, el RAG origen utiliza una de estas fórmulas:

- a) Si el RAG utiliza el mecanismo de sincronización de tramas en el establecimiento del enlace

$$Ttx(i = 1) = TTI - \frac{DTransRAG}{2} - t_{proc} - OFF$$

Ec 7

- b) Si el RAG no utiliza el mecanismo de sincronización en el establecimiento del enlace

$$Ttx(i = 1) = TTI - DtransDLest - t_{proc} - OFF$$

Ec 8

donde $DtransDLest$ es una estimación del retardo de transmisión, calculado a partir de conocer el ancho de banda y el tamaño de las tramas.

7.2.3.2 Sincronización durante la vida útil del contexto

La sincronización de tramas durante la vida útil del contexto en la interfaz iRAG_{SHO} depende fundamentalmente del algoritmo de sincronización de tramas utilizado en el RAG origen y en el RAG destino. En este análisis se han utilizado dos modelos de sincronización que nos permite evaluar el impacto del mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto:

- (a) Sincronización periódica: Durante la sincronización periódica de tramas, el RAG origen inicia el procedimiento de sincronización sobre la interfaz iRAG_{SHO} periódicamente, con un período fijo denominado *TimerSync*. Cada *TimerSync*, el RAG origen envía la trama *DL Synch* para evaluar el tiempo de llegada. En este escenario, se asume que las tramas de datos ascendentes no contienen ninguna indicación del tiempo de llegada¹⁷⁹.
- (b) Sincronización adaptativa¹⁸⁰: Durante la sincronización adaptativa, el RAG destino indica el tiempo de llegada al RAG origen en todas las tramas de datos de subida (por lo que no es necesario utilizar el mecanismo de sincronización de forma explícita una vez establecido el contexto y existan tramas de subida). El RAG origen mantiene un temporizador dinámico *TimerSync(i)* que define el período de evaluación del tiempo de llegada (y de ajuste de temporización).

$$TimerSync(i) = \left\{ \begin{array}{ll} TimerSync(i-1) + delta, & \text{si } TOAWE < ToA < n \times TOAWS \\ TimeSync(0), & \text{si } i = 0, TOAWE > ToA > n \times TOAWS \end{array} \right\}$$

Ec 9

Donde delta define el incremento que se hace al temporizador cuando la trama llega dentro de la ventana óptima y $[n \times TOAWS, TOAWE]$ define la ventana óptima. *TimeSync(0)* es el valor inicial del temporizador.

7.2.3.2.1 Determinación del Tiempo de transmisión (Ttx(i))

Para determinar el tiempo de transmisión de las tramas siguientes, el RAG origen utiliza cualquiera de estas fórmulas:

- (a) Si el RAG utiliza el mecanismo de sincronización de tramas;

$$Ttx(i) = \left\{ \begin{array}{ll} Ttx(i-1) + ToA - a \times TOAWS + TTI, & \text{si } ToA(i-1) > n \times TOAWS \\ Ttx(i-1) - ToA - b \times TOAWS + TTI, & \text{si } ToA(i-1) < 0 \\ Ttx(i-1) + TTI, & \text{en cualquier otro caso} \end{array} \right\}$$

Ec 10

- (b) Si el RAG no utiliza el mecanismo de sincronización de tramas;

$$Ttx(i) = Ttx(i-1) + TTI$$

Ec 11

donde a y b son parámetros de optimización del algoritmo.

¹⁷⁹ El objetivo de estudiar este caso es determinar la idoneidad de incluir el tiempo de llegada en todas las tramas de datos de subida, tal como se realiza en el sistema cdma2000 (en el sistema UMTS no se incluye el tiempo de llegada en las tramas de subida).

¹⁸⁰ Este algoritmo es similar al definido en [Sagfors2004], adaptado al entorno de Mobile-IP RAN (no se utiliza el mensaje de [TS25427] *Timing Adjustment* utilizado en UMTS).

7.3 Resultados y análisis

7.3.1 Retardo del procedimiento de sincronización de tramas (DSync)

El retardo introducido por el procedimiento de sincronización de tramas durante el establecimiento de contexto se estima como el retardo entre RAGs ($D_{transRAG}$) más el tiempo de procesamiento de la trama $DL Sync$ en el RAG destino y de la trama $UL Sync$ en el RAG origen (estimado como $2 \times t_{proc}$).

$$DSync = DTransRAG + 2 \times t_{proc}$$

Ec 12

La Tabla 22 indica los valores de los parámetros utilizados para estimar el retardo del procedimiento de sincronización de tramas $DSync$. Estos parámetros se han escogido tomando en cuenta los valores utilizados en las redes 3G [TS25933] y otros trabajos previos tales como [Sagfors2004] y [Abraham2002].

La Figura 153 muestra el retardo en el establecimiento del contexto debido al procedimiento de sincronización para distintas distancias entre RAGs (que afecta al retardo de propagación) y para distintos valores del ancho de banda de la interfaz (que afecta al retardo de transmisión). El mismo ha sido obtenido aplicando a la Ec 12, los valores de los parámetros de la Tabla 22.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia entre RAGs (d_3)	[100:10000]	Metros
Ancho de banda interfaz $iRAG_{SHO}$ (BW_RAG)	[1:16]	Mbps
Tamaño de la trama $DL Sync$ ($SbitSyncDL$)	168	Bits
Tamaño de la trama $UL Sync$ ($SbitSyncUL$)	184	Bits
Tiempo de procesamiento de trama en el RAG (t_{proc})	2	Milisegundos
Variación del retardo de transmisión ($varMed$)	0	Segundos

Tabla 22 Valores utilizados para la estimación del retardo del procedimiento de sincronización de tramas en el establecimiento de contexto

El retardo está acotado entre 4 y 4.4 ms para el rango de ancho de banda entre 1 y 16 Mbps y distancia entre RAGs entre 100 m y 10 Km. Puede decirse que bajo condiciones ideales, el retardo del procedimiento es de media 4.2 ms. Este retardo es menor que un intervalo de tiempo de transmisión (el intervalo de tiempo típico en comunicaciones de tiempo real, que probablemente utilicen un canal dedicado CDMA en soft-handover, es de 10 o 20 ms), y mucho menor que el tiempo estimado de establecimiento del contexto (cientos de milisegundos), por lo

que se considera que este retardo introducido no afecta el mecanismo de soft-handover¹⁸¹. El estudio del procedimiento de sincronización de tramas analiza la utilidad de este procedimiento.

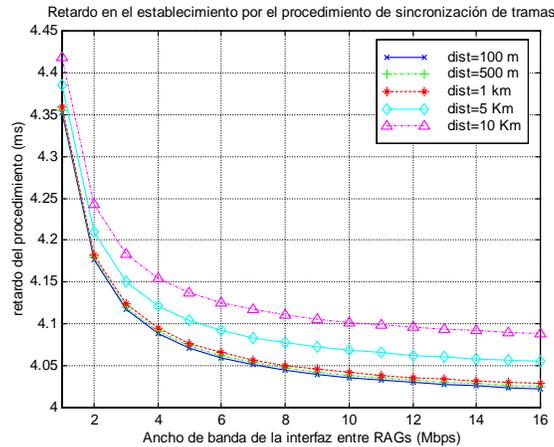


Figura 153 Retardo en el establecimiento del contexto por el procedimiento de sincronización de tramas

7.3.2 Carga del procedimiento de sincronización de tramas

Al realizar el procedimiento de soft-handover en Mobile-IP RAN (ver sección 4.9.6.1.1), se realiza el procedimiento de sincronización de tramas antes del envío de las tramas de usuario sobre la interfaz iRAG_{SHO}. Este procedimiento se realiza para todos los usuarios en soft-handover, y el ancho de banda utilizado (BW_{Sync}) se define como:

$$BW_{Sync} = nr_{cxt} \times \frac{SbitSync}{TimerSync}$$

Ec 13

Donde:

- nr_{cxt} , define el número de contextos (usuarios) de soft-handover sobre la interfaz
- $SbitSync$, define el tamaño de bits de la trama de sincronización
- $TimerSync$, está definido en la sección 7.2.3.2, su valor depende del algoritmo de sincronización utilizado (periódico o adaptativo).
- Se realizó el análisis del ancho de banda para condiciones normales de carga, para la carga máxima con control de admisión y para la carga máxima sin control de admisión.

La Figura 154 muestra el ancho de banda utilizado por el procedimiento de sincronización de tramas en la interfaz iRAG_{SHO}, para condiciones de carga normal, máxima con CAC y para carga máxima sin CAC, donde se muestra que el ancho de banda utilizado en la interfaz iRAG_{SHO} depende fundamentalmente del algoritmo de sincronización utilizado:

¹⁸¹ Como ya se ha mencionado anteriormente, el procedimiento de sincronización de tramas existe en el sistema UMTS para la sincronización del plano de usuario de la interfaz Iub.

- Al utilizar el algoritmo de sincronización periódico (Ec 13 con *TimerSync* = 500 ms), el ancho de banda es constante, y depende linealmente del número de contextos de soft-handover y del tamaño de bit de la trama de sincronismo de trama. En el caso del ejemplo (período de 500 ms), el ancho de banda es de 45 kbps. Sobre una interfaz de 2 Mbps, representa una carga del 2.2%.
- Al utilizar el algoritmo de sincronización adaptativo (Ec 9 y Ec 13), el ancho de banda utilizado varía, dependiendo de que las tramas lleguen al destino dentro de la ventana óptima de recepción. En el caso del ejemplo (período inicial de 500 ms con incrementos de 100 ms), el ancho de banda tiene el rango:
 - Para los escenarios de carga normal y de carga máxima con CAC de la interfaz iRAG_{SHO}, el ancho de banda utilizado por el mecanismo de sincronización de tramas tiene un rango de 4.4 a 45 kbps, con media 5.8 kbps. Sobre una interfaz de 2 Mbps, esto representa una carga media del 0.2%.
 - Para el escenario de carga máxima sin CAC, el ancho de banda utilizado tiene un rango de 9.6 a 45 kbps, con media de 32 kbps. Sobre una interfaz de 2 Mbps, esto representa una carga media del 1.5%.

Parámetro	Valor	Unidad	Comentario
SbitSync	184	Bits	Utilizado el valor del UL (SbitSyncUL) por ser el de mayor tamaño
Nr_cxt	120		Corresponde a una interfaz de 2 Mbps con 100% usuarios de voz.
TimerSync(0)	500	Milisegundos	Corresponde al algoritmo de sincronización, ver sección 7.2.3.2
Delta	100	Milisegundos	Corresponde al algoritmo de sincronización, ver sección 7.2.3.2
TTI	20	milisegundos	Corresponde a un valor típico del TTI para tramas de voz en UMTS
TOAWS	10	Milisegundos	
TOAWE	1	Milisegundos	
tproc	2	Milisegundos	

Tabla 23 Valores utilizados en la estimación de la carga del procedimiento de sincronización de tramas

Este análisis demuestra que la carga introducida por el mecanismo de sincronización está influido por el algoritmo de sincronización utilizado, que el ancho de banda utilizado varía aproximadamente entre 4.4 kbps y 45 kbps, y que la carga, estudiada para un enlace de 2 Mbps (considerado como valor mínimo de ancho de banda para esta interfaz), se encuentra en el rango de 0.2% al 2.2%. Estos valores, de ancho de banda absoluto, y de carga del enlace, son considerados aceptables para el mantenimiento del sincronismo de la interfaz.

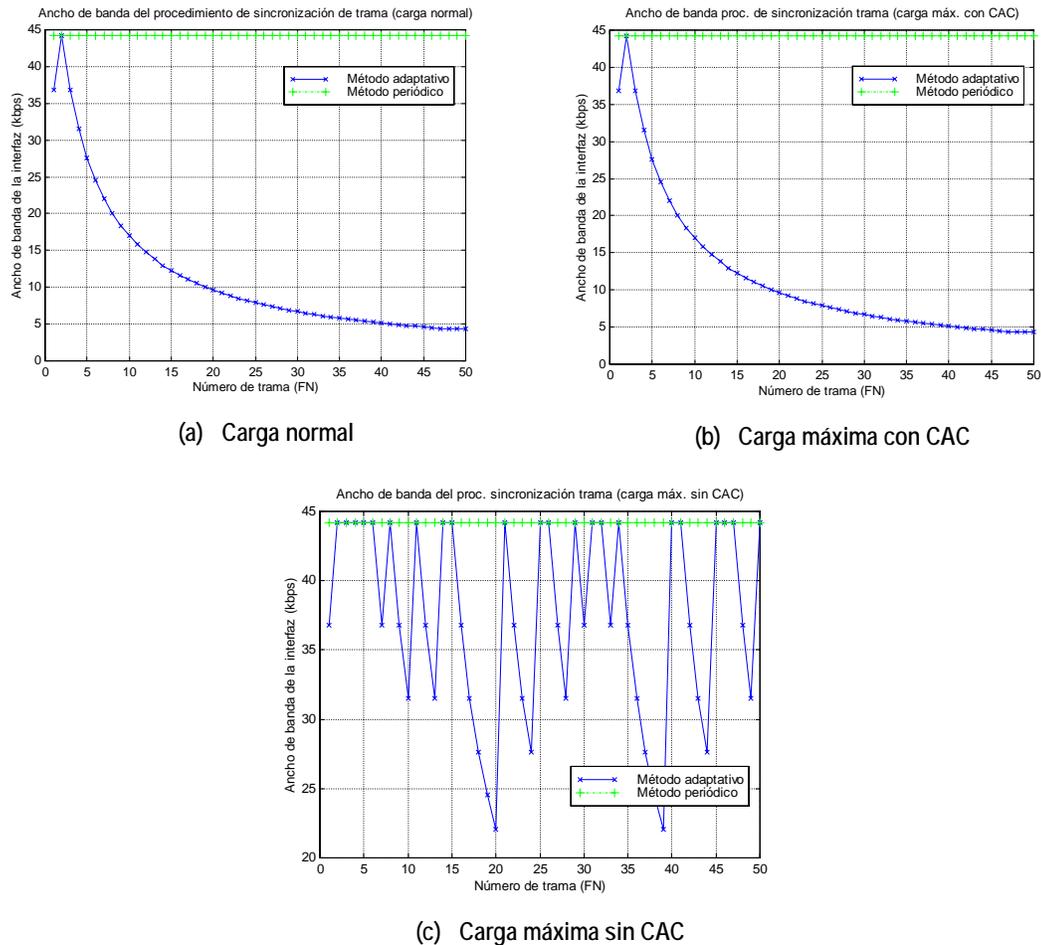


Figura 154 Ancho de banda del procedimiento de sincronización de tramas en la interfaz IRAG_{SHO}

7.3.3 Procedimiento de sincronización de tramas

El objeto del análisis del procedimiento de sincronización de tramas es determinar la utilidad del procedimiento de sincronización de tramas en el inicio del contexto y durante la vida útil del mismo, para esto, se evalúa, el tiempo de llegada (ToA) en el establecimiento del contexto y durante la vida del contexto, y la tasa de pérdidas de trama (P), para los escenarios de carga normal, máxima con CAC y máxima sin CAC, para los siguientes casos:

- (a) Mecanismo de sincronización activado en el establecimiento de contexto y durante la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 10).
- (b) Mecanismo de sincronización activado durante la vida útil del contexto pero no en el establecimiento del contexto (Ec 8 y Ec 10).
- (c) Mecanismo de sincronización activado en el establecimiento de contexto pero no durante la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 11).
- (d) Sin mecanismo de sincronización (Ec 8 y Ec 11).

Parámetro	Valor	Unidad	Comentario
vaMed	$Z \times rand(0:1) \times (1 + 0.5 \times rand(-1:1))$ Z=0.5 para carga normal Z=0.9 para carga máxima con CAC Z=7 para carga máxima sin CAC.	ms	Corresponde al algoritmo de sincronización en el establecimiento de contexto, ver sección 7.2.3.1.
DtransLest	1.5	ms	Ver sección 7.2.3.1.1.
a,b	0.5		Ver sección 7.2.3.2.1. Indica que el ToA objetivo del algoritmo es 0.5xTOAWS
n	0.7		Ver sección 7.2.3.2.1.
d3	1	Km	Distancia entre RAGs

Tabla 24 Valores (adicionales) utilizados en el análisis de los algoritmos de sincronización

7.3.3.1 Análisis del tiempo de llegada en el establecimiento de contexto - ToA(1)

La Figura 155 muestra el tiempo de llegada (ToA) en los 10 primeros intervalos de transmisión para los escenarios de carga normal, carga máxima con CAC y carga máxima sin CAC, en los casos de análisis: (a) Con el mecanismo de sincronización de tramas activados en el establecimiento y en la vida útil del contexto, (b) Sólo en la vida útil (no hay mecanismo de sincronización en el establecimiento del contexto), (c) Sólo en el establecimiento (no hay mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto), y (d) Sin ningún mecanismo de sincronización.

La Tabla 25 indica el valor del tiempo de llegada inicial (ToA(1)), para cada uno de los casos mencionados anteriormente. Estos valores muestran lo siguiente:

Parámetro	Escenario	Caso A Sinc. establecimiento y vida útil	Caso B Sinc. sólo en vida útil	Caso C Sinc. sólo en establecimiento	Caso D Sin sincronización
ToA(1)	Carga normal	(-0.3 ms)	(-1.01 ms)	(-0.3 ms)	(-1.01 ms)
<i>Inicio del contexto (primera trama)</i>	Carga máxima con CAC	(-0.8 ms)	(-1.6 ms)	(-0.8 ms)	(-1.6 ms)
	Carga máxima sin CAC	(-0.06 ms)	(-8.4 ms)	(-0.06 ms)	(-8.4 ms)

Tabla 25 Valores del tiempo de llegada inicial (ToA(1))

- En los casos en que aplica el mecanismo de sincronización en el establecimiento (casos A y C), el tiempo de llegada está dentro de la ventana de recepción¹⁸² (esto es

¹⁸² Es de notar que los valores obtenidos en estos casos están dentro de la ventana de recepción pero no dentro de la ventana de recepción óptima ($T > ToA(1) > 0$). La ventana de recepción óptima define la ventana en la cual el RAG origen no realiza ninguna adaptación del tiempo de transmisión de trama. Se considera que el algoritmo utilizado para el cálculo del tiempo de transmisión inicial (Ttx(1)) podría ser optimizado en un trabajo futuro.

$TOAWS > ToA(1) > -1$, en los resultados de la simulación $10 > ToA(1) > -1$ con valores que oscilan en el rango $[-0.8 \text{ ms}, -0.06 \text{ ms}]$ independientemente de la carga del enlace.

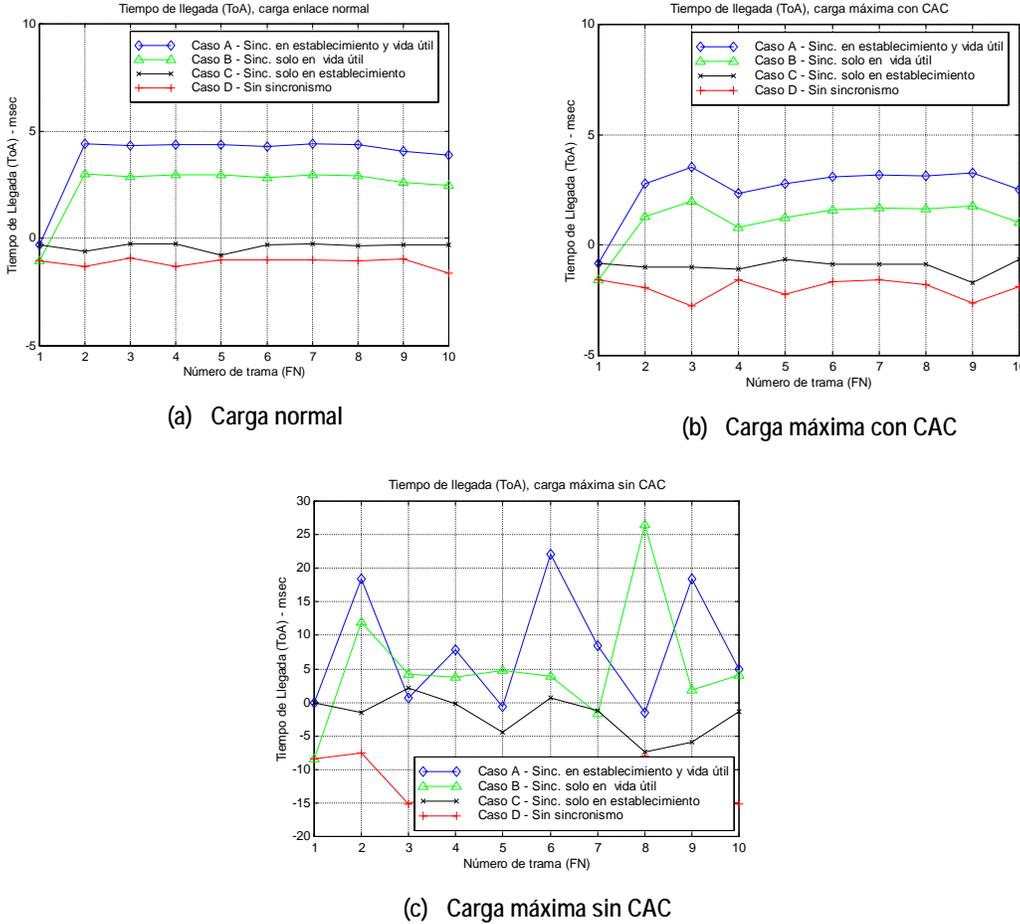


Figura 155 ToA(1) para distintas condiciones de carga (10 intervalos de tiempo)

- En los casos en que no se aplica el mecanismo de sincronización en el establecimiento (casos B y D), el tiempo de llegada está fuera de la ventana de transmisión (esto es $ToA(1) < TOAWS$, en los resultados de la simulación $ToA(1) < -1$) con valores que oscilan en el rango $[-8.4 \text{ ms}, -1.01 \text{ ms}]$. Esto se debe a que el mecanismo de sincronización asume unas condiciones ideales (una estimación media del retardo dependiendo del ancho de banda) para el cálculo de la estimación inicial de retardo¹⁸³. En estas condiciones ideales se asume un nivel de carga del enlace que puede o no estar relacionada con la carga real del enlace. Por esto, se puede concluir, que en los casos que no se aplica el mecanismo de sincronización en el establecimiento, el tiempo de llegada inicial ($ToA(1)$) depende directamente de la diferencia entre el retardo asumido

¹⁸³ En el algoritmo utilizado, se asume que el enlace está con una carga normal. Las diferencias se deben fundamentalmente al desconocimiento de la distancia entre las estaciones base y los retardos de multiplexión y procesamiento.

por el algoritmo del cálculo del tiempo de transmisión inicial, y del retardo real del enlace. Los resultados muestran, que a mayor carga de la red, mayor es esta diferencia, y por lo tanto mayor es la diferencia del tiempo de llegada inicial (ToA(1)) respecto a la ventana de recepción.

7.3.3.2 Análisis del tiempo de llegada durante la vida del contexto - ToA(i)

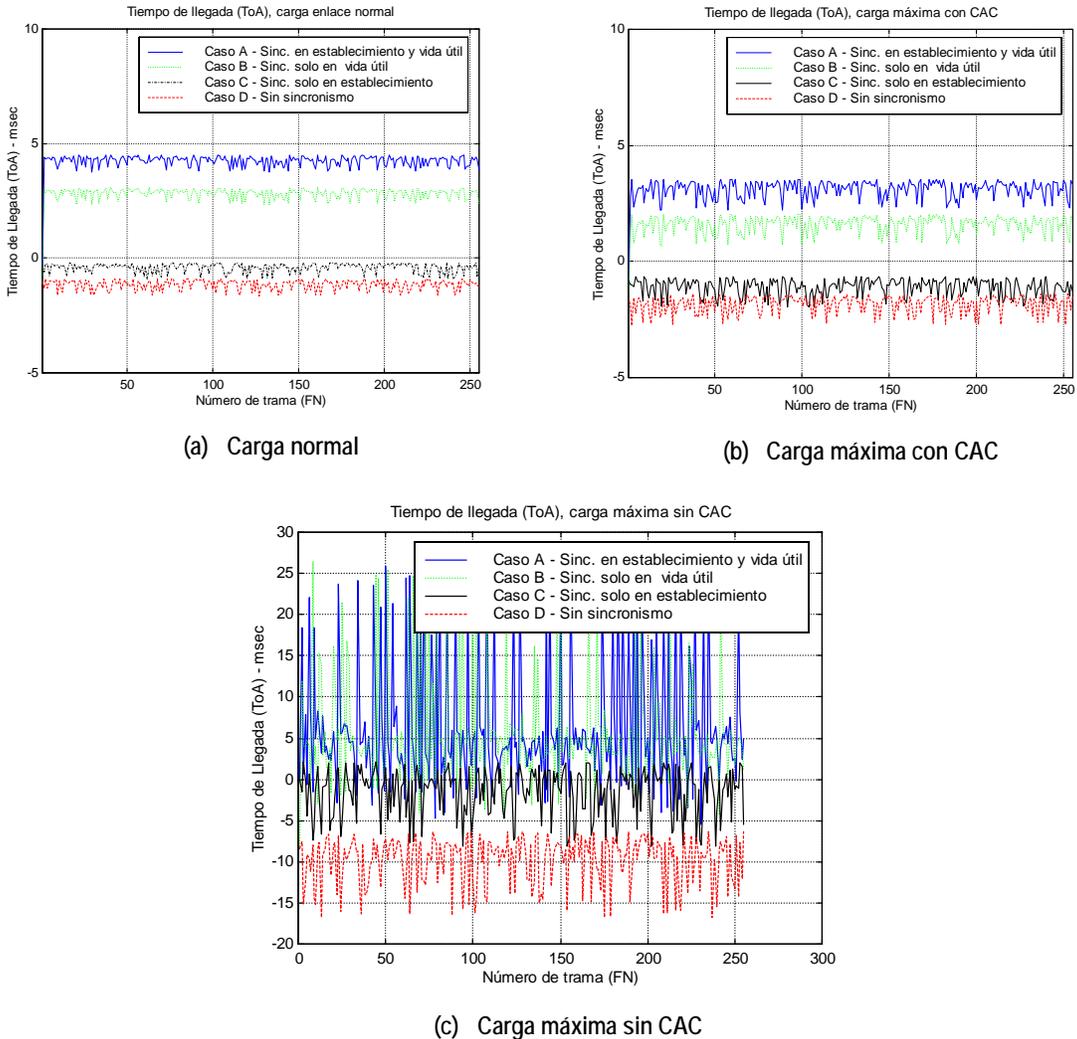


Figura 156 ToA(1) para distintas condiciones de carga (255 intervalos de tiempo)

La Figura 156 muestra el tiempo de llegada (ToA) en los 256 primeros intervalos de transmisión para los escenarios de carga normal, carga máxima con CAC y carga máxima sin CAC, en los casos de análisis: (a) Con el mecanismo de sincronización de tramas activados en el establecimiento y en la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 10), (b) Sólo en la vida útil, no hay mecanismo de sincronización en el establecimiento del contexto (Ec 8 y Ec 10), (c) Sólo en el establecimiento, no hay mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 11), y (d) Sin ningún mecanismo de sincronización (Ec 8 y Ec 11).

La Tabla 26 indica el valor mínimo, medio y máximo del tiempo de llegada ToA, para cada uno de los casos mencionados anteriormente. Estos valores muestran lo siguiente:

- En los casos que se aplica el mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto (casos A y B), los valores del tiempo de llegada (ToA) se encuentran dentro de la ventana de transmisión óptima (esto es $n \times TOAWS > ToA > 0$, en los resultados de la simulación $T > ToA > 0$) en el 100% de los casos para los escenarios de carga normal y carga máxima con CAC.
- En el caso que se aplica el mecanismo de sincronización en el establecimiento del contexto pero no durante la vida útil del mismo (caso C), los valores del tiempo de llegada (ToA) se encuentran dentro de la ventana de transmisión en el 100% de los casos para el escenario de carga normal. Esto se debe fundamentalmente a que en un escenario de carga normal, las variaciones del retardo de transmisión en la interfaz son bajas, afectando mínimamente al tiempo de llegada por lo que este se mantiene dentro de la ventana de transmisión. Sin embargo, en el caso de carga máxima con CAC, donde las variaciones del retardo de transmisión son mayores, se generan tiempos de llegada fuera de la ventana de transmisión (esto es $ToA < TOAWE$, en los resultados de la simulación, el valor medio de $ToA < -1$), como resultado de la ausencia del procedimiento de sincronismo.

Parámetro	Escenario	Caso A Sinc. establecimiento y vida útil	Caso B Sinc. sólo en vida útil	Caso C Sinc. sólo en establecimiento	Caso D Sin sincronización
ToA(i) <i>Durante la vida útil del contexto</i>	Carga normal	Min: 3.8 ms	2.3 ms	(-0.9 ms)	(-1.6 ms)
		Med: 4.3 ms	2.8 ms	(-0.4 ms)	(-1.2 ms)
		Max: 4.5 ms	3.1 ms	(-0.1 ms)	(-0.8 ms)
	Carga máxima con CAC	Min: 2.2 ms	0.7 ms	(-2 ms)	(-2.7 ms)
		Med: 3.1 ms	1.6 ms	(-1.1 ms)	(-1.9 ms)
		Max: 3.5 ms	2 ms	(-0.6 ms)	(-1.4 ms)
Carga máxima sin CAC	Min: (-5.4 ms)	(-4.3 ms)	(-8.2 ms)	(-16.8 ms)	
	Med: 6.9 ms	6 ms	(-1.4 ms)	(-9.8 ms)	
	Max: 28 ms	26.8 ms	2.1 ms	(-6.3 ms)	

Tabla 26 Valor mínimo, media y valor máximo del tiempo de llegada (ToA)

- En el caso de no aplicar mecanismo de sincronización alguno (caso D), los valores del tiempo de llegada están, de media, fuera de la ventana de recepción ($TOAWS < ToA < TOAWE$, en el ejemplo $10 < ToA < -1$). Esto se debe a que al no existir un mecanismo de sincronización, el RAG origen no puede ajustar su tiempo de transmisión a las condiciones (cambiantes) del enlace, lo que genera que el tiempo de llegada cambia acorde a la condición de variación de retardo del enlace.
- En el escenario de carga máxima sin CAC, los casos que aplican mecanismos de sincronización durante la vida útil del contexto (casos A y B), generan un tiempo de llegada, que de media, está dentro de la ventana óptima de transmisión ($n \times TOAWS > ToA > TOAWE$, en el ejemplo $T > ToA > -1$), sin embargo, los valores máximos

(entre 26.8 y 28 ms) y mínimos (entre -4.3 y -5.4 ms) demuestran que se generan tiempos de llegada fuera de la ventana de transmisión. Esto se debe a que las variaciones en el retardo mayores que la capacidad de adaptación del mecanismo de sincronización¹⁸⁴, por lo que a grandes variaciones del retardo el mecanismo tarda en converger, y mientras puede haber tiempos de llegada fuera de la ventana de transmisión. En este escenario, para los casos que no aplican mecanismos de sincronización durante la vida útil del contexto (casos C y D), las grandes variaciones del retardo hacen que el tiempo de llegada esté de media fuera de la ventana de transmisión (-1.4 ms para el caso C y -9.8 ms para el caso D).

7.3.3.3 Análisis de la tasa de pérdida de tramas (P)

La Figura 157 muestra la tasa de pérdida de tramas (P)¹⁸⁵ para los escenarios de carga normal, carga máxima con CAC y carga máxima sin CAC, en los casos de análisis: (a) Con el mecanismo de sincronización de tramas activados en el establecimiento y en la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 10), (b) Sólo en la vida útil, no hay mecanismo de sincronización en el establecimiento del contexto (Ec 8 y Ec 10), (c) Sólo en el establecimiento, no hay mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto (Ec 7 y Ec 11), y (d) Sin ningún mecanismo de sincronización (Ec 8 y Ec 11).

La Tabla 27 indica el valor de la tasa de pérdidas (P), para cada uno de los casos mencionados anteriormente. Estos valores muestran lo siguiente:

Parámetro	Escenario	Caso A Sinc. establecimiento y vida útil	Caso B Sinc. sólo en vida útil	Caso C Sinc. sólo en establecimiento	Caso D Sin sincroniza ción
P <i>Tasa de pérdidas de tramas</i>	Carga normal	0%	0.4%	0%	71%
	Carga máxima con CAC	0%	0.4%	46%	100%
	Carga máxima sin CAC	36%	37%	42%	100%

Tabla 27 Valores de la tasa de pérdidas (P) para los distintos escenarios de carga

- El caso A, donde se aplican los mecanismos de sincronización en el inicio y durante la vida útil del contexto, genera 0% de pérdida de tramas en los casos de carga normal y de carga máxima con CAC. En el caso de carga máxima sin CAC, se genera un 36% de pérdidas, mayor que valor máximo permitido de 1%¹⁸⁶. Esto se debe a la incapacidad del mecanismo de sincronización de adaptarse al valor del retardo y sus variaciones.

¹⁸⁴ El mecanismo de sincronización, tiene un retardo de adaptación, de cómo mínimo el tiempo de ida y vuelta más el tiempo de procesamiento de las tramas en el RAG destino, y con un retardo de aplicación mínimo de un intervalo de tiempo. La Figura 152 indica que el escenario de carga sin CAC, el retardo asociado puede variar en incrementos importantes al variar infinitesimalmente la carga del mismo.

¹⁸⁵ La tasa de pérdidas (P) se ha modelado como la relación entre las tramas que llegan fuera de la ventana de recepción, definida como [TOAWS,TOAWE] y el total de tramas transmitidas, para cada uno de los casos de carga definidos.

¹⁸⁶ [AROMAD05] indica un valor máximo del 1% para la tasa de pérdida de tramas para los servicios de tiempo real.

- El caso B, donde se aplica el mecanismo de sincronización sólo durante la vida útil del contexto, genera un 0.4% de pérdida de tramas en los casos de carga normal y de carga máxima con CAC. Este 0.4% se debe fundamentalmente a la(s) pérdida(s) introducida(s) durante el inicio del contexto, ya que no se aplica un mecanismo de sincronización causando que la trama inicial llegue fuera del tiempo de transmisión. Aunque el valor de la tasa de pérdida es menor que el máximo permitido, ésta no se considera una solución óptima (frente al caso A).

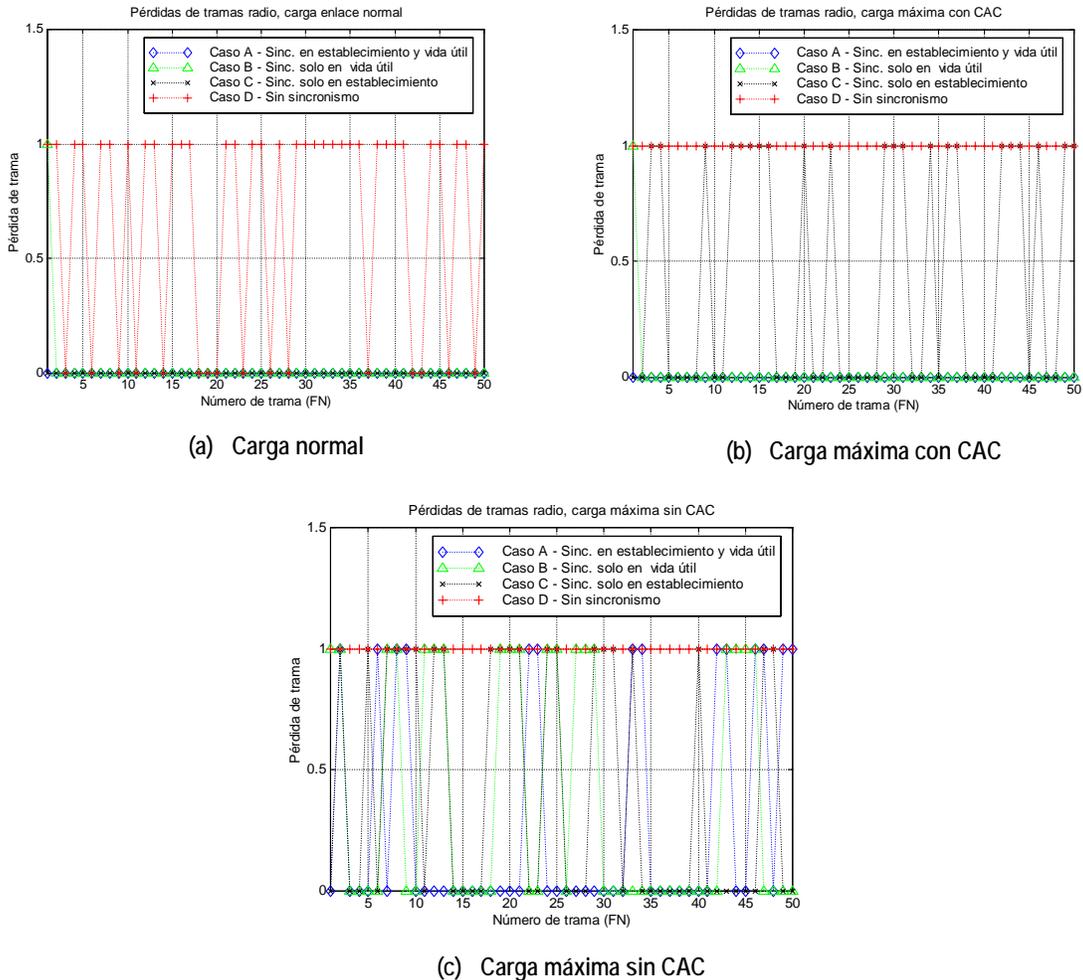


Figura 157 Tasa de pérdidas (P) en los distintos escenarios de carga

- El caso C, donde se aplica un mecanismo de sincronización durante el establecimiento, genera un 0% de pérdidas en carga normal. Esto se debe fundamentalmente a que en este escenario, las variaciones del retardo son tan pequeñas que permite que el mecanismo de sincronización en el establecimiento sea suficiente también durante la vida útil del contexto, suponiendo que se mantengan estas condiciones de carga.
- En los caso C y D, donde no se aplica el mecanismo de sincronización durante la vida útil del contexto, se generan altas tasas de pérdida (mayor del 40%) para escenarios de

carga máxima, demostrando que la ausencia de un mecanismo de sincronización genera tiempos de llegada fuera de la ventana de recepción (y la pérdida de la trama).

- Es importante destacar, en ninguno de los casos analizados se logra una baja tasa de pérdidas en el escenario de carga máxima sin CAC. Esto es debido fundamentalmente a las grandes variaciones del retardo de transmisión (debido a la carga).

7.4 Conclusiones

En este Capítulo se ha realizado el análisis de los mecanismos de sincronización de trama para Mobile-IP RAN a través de una simulación numérica de distintos escenarios de carga del enlace de la interfaz iRAG_{SHO}, con el objetivo de determinar la utilidad de los mismos así como para establecer las siguientes conclusiones:

- El mecanismo de sincronización de tramas propuesto, adaptación a Mobile-IP RAN de los mecanismos de sincronización de tramas existentes en cdma2000 [AS0015-C] y UMTS [TS25402], cumple con el objetivo de mantener la sincronización de tramas en un entorno de red de acceso radio genérica, como demuestra el estudio de la tasa de pérdidas de paquetes en condiciones de carga normal y máxima con CAC. Para estas condiciones, la tasa de pérdida cuando se utilizan los procedimientos de sincronización propuesta es del 0%. La adaptación a Mobile-IP RAN consiste fundamentalmente en la adopción de un protocolo genérico (adaptación de los protocolos propietarios existentes en las redes 3G) para la transmisión de las tramas radio (y de control asociado) para los sistemas CDMA.
- La utilización del mecanismo de sincronización de tramas en el establecimiento del contexto de la interfaz iRAG_{SHO}, introduce un retardo adicional, con un valor máximo cuantificado en condiciones de carga normal en el rango [4:4.4] ms. A la vista de los resultados obtenidos, este retardo adicional en el establecimiento se considera aceptable tomando en cuenta que es menor que el tiempo de intervalo de transmisión de trama mínimo utilizado en los canales dedicados en soft-handover (10 o 20 ms).
- La utilización del mecanismo de sincronización de tramas durante la vida útil del contexto de la interfaz iRAG_{SHO}, introduce una carga adicional a la interfaz iRAG_{SHO} considerada aceptable (carga entre 0.2% y 2.2% en un enlace de 2 Mbps). El valor de la carga media depende fundamentalmente del algoritmo de sincronización utilizado (periódico o adaptativo).
- El procedimiento óptimo de sincronización de tramas en la interfaz iRAG_{SHO}, y el utilizado en Mobile-IP RAN consiste en realizar la sincronización de tramas en el establecimiento y durante la vida útil del contexto, ya que permite en los casos de carga normal y de carga máxima con CAC, mantener una tasa de pérdidas (debido a tramas que llegan fuera de la ventana de recepción) del 0% durante el establecimiento y la vida útil del contexto. La utilización de los mecanismos de sincronización de forma selectiva, esto es sólo en el inicio o sólo durante la vida útil del contexto, si bien se adaptan a entornos concretos, producen pérdidas de tramas en otros entornos (por ejemplo en el inicio del contexto, o durante la vida útil en escenarios de carga máxima con CAC). Tomando en cuenta que el retardo y la carga introducida por los procedimientos de sincronización son aceptables, se recomienda entonces su implantación, para asegurar

la correcta operación del soft-handover en Mobile-IP RAN en el rango más amplio de escenarios de carga de la interfaz y durante toda la existencia del contexto en la interfaz.

- El procedimiento de sincronización propuesto no es sustituto del control de admisión en la interfaz $iRAG_{SHO}$. Los resultados demuestran, que en el caso de no existir control de admisión, ninguno de los mecanismos propuestos es capaz de mantener la tasa de pérdidas necesarias para los servicios de tiempo real en escenarios de carga máxima, debido a la imposibilidad de corregir los cambios en el retardo de transmisión que ocurren cuando no existe el control de admisión¹⁸⁷. Por ende, el control de admisión es parte fundamental en el mantenimiento de la sincronización de tramas en la interfaz $iRAG_{SHO}$.

¹⁸⁷ Se habla únicamente del control de admisión porque se asume en este análisis de que las fuentes se adaptan al contrato de admisión, sin embargo, es aplicaciones reales, el control de carga también debe aplicarse para asegurarse que la carga de la interfaz se mantiene dentro de los niveles considerados aceptables.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

8.1 Introducción

En este Capítulo se resumen las conclusiones más importantes de la tesis, destacando sus principales contribuciones e indicando posibles líneas de continuación del trabajo realizado.

En concreto, las conclusiones más relevantes de la tesis, que ya han sido presentadas al término de los Capítulos precedentes, se incluyen en la sección 8.2, dando una perspectiva global del trabajo desarrollado. En la sección 8.3 se presentan las principales contribuciones de la tesis. Finalmente, en la sección 8.4 se discuten algunas de las posibles vías de investigación futuras.

8.2 Resumen del trabajo realizado

En el Capítulo 1 se expuso el entorno, el planteamiento del problema y los objetivos de la tesis, en concreto:

- Se situó el entorno de la tesis en la infraestructura de redes de acceso radio, como parte integrante de las redes móviles de cuarta generación, mencionando la principal característica de esta red de acceso radio: proporciona servicios de acceso a una red de conmutación IP de cuarta generación, basada en tecnologías IP móvil.
- Se discutió el planteamiento del problema, las limitaciones de las propuestas actuales de redes de acceso radio de cuarta generación en el soporte de los servicios genéricos de la red móvil de acceso radio: gestión de recursos radio, movilidad (incluyendo el handover), sincronización, descubrimiento de servicios y otras funcionalidades. El planteamiento del problema constituye la principal motivación de esta tesis.
- Se planteó un conjunto de objetivos generales y específicos, conducentes a la realización de las aportaciones de esta tesis en el ámbito de las arquitecturas de redes móviles, específicamente en el desarrollo de una arquitectura de red de acceso móvil de cuarta generación que proporcione los servicios típicos asociados a una red de acceso móvil, a través de protocolos basados en IP móvil, y que de soporte a distintas tecnologías radio.

En el Capítulo 2, se presentó y discutió el estado del arte, que muestra una intensa actividad de investigación en torno a las arquitecturas de redes móviles de cuarta generación (4G) para el soporte de redes de acceso heterogéneas. Durante el análisis se pudo extraer las siguientes conclusiones fundamentales:

- El estado del arte actual utiliza IPv6 móvil [MIPv6] como protocolo central de movilidad IP entre el móvil y la red troncal 4G.
- Existen dos propuestas principales para la mejora del desempeño de [MIPv6] en entornos móviles: Mobile-IPv6 jerárquico [HMIPv6] y Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6].
- Las redes móviles 3G están evolucionando hacia la 4G a través de la simplificación de la red de acceso y de nuevas interfaces radio que permiten mayores velocidades de acceso, y la utilización de movilidad local IP para una mejor integración con otras redes de acceso.
- Las redes móviles 3G han adoptado Proxy Mobile-IPv6 [PMIPv6] como protocolo de movilidad local, ya que proporciona una evolución más sencilla del sistema, al no requerir modificaciones en el móvil respecto al manejo de protocolos IP para la gestión de la movilidad radio. Sin embargo, en una evolución a largo plazo, no están muy claros los beneficios de la movilidad basada en [PMIPv6] respecto a la movilidad asistida por el móvil [HMIPv6].
- Existe otro grupo importante de investigaciones de arquitecturas 4G (AROMA, DAIDALOS, WINE GLASS, MIND, Moby Dick, CAUTION++ entre otras), que proponen arquitecturas genéricas multi-tecnología, que proporcionan servicios de usuario y red.

Como parte del análisis del estado del arte, también se determinó las diferentes áreas sujetas a investigación que todavía no han encontrado una respuesta que haya sido adoptada de forma general, y que fueron abordadas como parte de la propuesta de Mobile-IP RAN.

- Aunque la evolución de los sistemas móviles 3G incluye la homogenización de muchas funciones comunes (fundamentalmente en la red troncal), estos sistemas todavía utilizan protocolos propietarios en las distintas redes de acceso radio (UTRAN, E-UTRAN, GERAN para UMTS así como cdma2000 1X o UMB para cdma2000).
- Las propuestas de investigación de arquitecturas 4G estudiadas, por sí solas, no proporcionan todos los servicios necesarios en la red de acceso de una forma integrada, ya que la mayoría de sus aportaciones han estado enfocadas en la red troncal y en los servicios de usuario, o en algún servicio específico de la red de acceso.
- El análisis de estas propuestas de integración también muestra que existen áreas no cubiertas en detalle, tales como la funcionalidad de soft-handover (y el sincronismo asociado), el soporte de métodos avanzados de localización, o simplemente las distintas características de las interfaces radio (estados de movilidad, soporte a paging o a mensajes de difusión de sistema).

Basados en el análisis del estado del arte, se realizaron las aportaciones de esta tesis, centradas en el desarrollo de una arquitectura de red de acceso móvil 4G, llamada Mobile-IP RAN, cuya característica principal es que proporciona los servicios asociados a una red

de acceso móvil (transmisión de datos de usuario, AAA, calidad de servicio, gestión de recursos radio, movilidad, posicionamiento, descubrimiento de servicios y sincronización) a través de protocolos IP móvil y soportando de forma simultánea distintas tecnologías radio.

En el Capítulo 3, se definieron los requisitos de la red de acceso móvil 4G, con el objetivo de servir a los usuarios móviles a través de distintas tecnologías radio, utilizando una arquitectura y protocolos comunes y basados en IP, para ofrecer los servicios de movilidad de usuario, sincronización de red y de usuario, transferencia de datos de usuario en modo unicast, multicast y broadcast, servicios de posicionamiento de usuario, calidad de servicio (QoS), autenticación, autorización y tarificación (AAA), seguridad y descubrimiento de servicios.

En el Capítulo 4 se realizó la principal contribución de esta tesis, el desarrollo de la arquitectura de acceso radio 4G Mobile-IP RAN, incluyendo la definición de los elementos de red, sus funciones principales, sus interfaces y protocolos asociados, así como la definición de los procedimientos relacionados con los servicios de red. Durante el desarrollo de esta arquitectura se pudo establecer las siguientes conclusiones principales:

- Es factible la integración de una arquitectura de acceso radio que proporcione los servicios asociados a una red de acceso móvil, utilizando protocolos de red genéricos y basados en IPv6, que se utilizan con una gran independencia de la tecnología de acceso radio utilizada. Estos servicios incluyen además de la transferencia de datos de usuario, desde el móvil a la red troncal, la movilidad radio (acceso al medio, registro, actualizaciones de localización, handover horizontal y vertical), la gestión de los recursos radio (incluyendo la sincronización de red y usuario), la gestión de la calidad de servicio en el acceso, el descubrimiento de servicios de red, y la seguridad de usuario y de red.
- Uno de los retos que se plantea en el uso de las arquitecturas internet para el acceso móvil de una red de operador (o compartida entre varios operadores) es la gestión de la autenticación, autorización y tarificación de los usuarios (AAA) que acceden a la red de acceso y a la(s) red(es) de operador(es). Para permitir un acceso compartido o el arrendamiento de la infraestructura de acceso es necesario que la red de acceso tenga mecanismos AAA independientes para el acceso radio y la red troncal, que permitan gestionarse de forma independiente. Mobile-IP RAN extiende la arquitectura AAA propuesta en Moby Dick a la red de acceso, proporcionando la posibilidad de gestionar el acceso de los usuarios de forma integrada (interfaz entre el RA3c y el servidor AAA) pero a su vez con la posibilidad de introducción de políticas de gestión de acceso y tasación propias a la red de acceso, a través del RA3c.
- Para permitir la heterogeneidad de tecnologías radio en la red de acceso, se debe dotar a la estación base de una mayor autonomía (respecto a las estaciones base de los sistemas 3G) de sus funciones o procedimientos radio que requieran una alta tasa de actualización (por ejemplo control de potencia o cambios en los parámetros de la capa física) o que son propietarios a cada tecnología radio (mapeo de parámetros de calidad de servicio a parámetros radio). Estas funciones son realizadas en Mobile-IP RAN por el RAG (siendo éste el elemento que posee el módulo radio). Sin embargo, esta decisión no implica una falta de coordinación en la función de gestión de recursos radio de la red (a través de indicadores comunes y generales tales como la carga de canal/red, calidad, velocidad o tecnología del RAG vecino), ya que esta coordinación y gestión puede ser proporcionada por

elementos centralizados (RRM en Mobile-IP RAN). La centralización permite la distribución y aplicación de un mismo algoritmo de gestión de los recursos que permita el manejo de la red y sus indicadores, de forma coordinada.

- La gestión de la calidad de servicio en la red de acceso se compone de tres aspectos fundamentales: la calidad de servicio en el acceso radio, el tratamiento de los distintos elementos de red a los datos de usuario (por ejemplo colas en un enrutador) y la calidad de servicio en el transporte. De estos tres aspectos, la calidad de servicio en el acceso radio es dependiente de la tecnología radio utilizada. Para poder gestionar de forma común la calidad de servicio de la red, se estableció en Mobile-IP RAN una función de mapeo en el RAG que se encarga de traducir los parámetros genéricos de calidad de servicio en parámetros radio, por lo que el gestor de calidad de servicio en Mobile-IP RAN (RQoSb) puede entonces gestionar la calidad de servicio de la red a través de parámetros genéricos de calidad de servicio.
- El modelo de movilidad propuesto en Mobile-IP RAN permite la optimización de la reserva de recursos dependiendo del estado de uso y de movilidad del móvil, de forma similar a las redes móviles 3G actuales. El modelo de movilidad en Mobile-IP RAN, añade estados de movilidad adicionales a los tradicionalmente utilizados en los mecanismos de movilidad IP (a saber, Libre, Activo y Durmiente) para la gestión de los recursos dentro de la red de acceso.
- La utilización de mecanismos de movilidad IP local (jerárquica en Mobile-IP RAN) permite al móvil la gestión de la movilidad a través de múltiples interfaces de acceso de una forma homogénea, es decir, independiente de la tecnología móvil utilizada. Sin embargo, para la optimización de la comunicación entre la red y el móvil (por ejemplo para la difusión de la información del sistema de la red al móvil), Mobile-IP RAN establece una función de mapeo entre la señalización [HMIPv6] y los procedimientos de las distintas tecnologías radio. Nótese que esto no invalida la aplicabilidad general de la arquitectura y de los procedimientos de movilidad a cualquier red de acceso, sino que optimiza el acceso en aquellas tecnologías radio que ofrecen procedimientos y recursos que pueden ser utilizados de forma más eficiente.
- La arquitectura de movilidad local jerárquica propuesta en [HMIPv6] proporciona una base para el soporte de la movilidad en la red de acceso móvil Mobile-IP RAN. Sin embargo, ha sido necesario extenderla para el completo soporte de los mecanismos y procedimientos necesarios en la red de acceso móvil: soporte a difusión de información del sistema y paging. Estos procedimientos permiten el soporte a la movilidad bajo cualquier tecnología de acceso sin detrimento a la utilización de la función de mapeo descrita anteriormente.
- La utilización de un procedimiento común de handover, basado en [FHMIPv6] y [CXTP], más las extensiones propuestas para Mobile-IP RAN, permite la realización de handover horizontales y verticales utilizando un procedimiento único de señalización. Los procedimientos de inicio, preparación y ejecución del handover involucran una gran interacción entre el módulo (protocolos) radio y el módulo de señalización de gestión de handover.
- Las extensiones a [FHMIPv6] y [CXTP] propuestas en Mobile-IP RAN hacen posible también la realización del soft-handover (esto es añadir, eliminar RAGs al grupo

activo del móvil, y el cambio del RAG de anclaje). Esto representa una propuesta novedosa en cuanto se proporciona un mecanismo de señalización de red genérico, basado en IPv6 para el soporte de una funcionalidad radio CDMA, que permite mantener una funcionalidad importante de gestión de los recursos radio y movilidad en un entorno de acceso radio CDMA genérico basado en IPv6.

- Para el soporte de la funcionalidad de soft-handover, sin embargo, no basta con la adaptación de la señalización de red, también es necesario el establecimiento de protocolos que permitan el transporte de las tramas radio entre los RAGs que se encuentran en soft-handover. Mobile-IP RAN ha propuesto la adaptación de los protocolos de transporte de tramas radio CDMA a un entorno genérico IPv6, que puede ser utilizado en el caso de utilizar tecnologías radio CDMA (y su funcionalidad de soft-handover). Estos protocolos proporcionan mecanismos de transporte de tramas radio y de sincronismo de estas tramas y los RAGs asociados, procedimientos fundamentales en el soft-handover.
- La sincronización es un mecanismo importante en cualquier red radio e imprescindible en redes radio basadas en CDMA. Mobile-IP RAN especifica la sincronización de red, de interfaz radio y de usuario a través de mecanismos derivados de los sistemas UMTS y cdma2000. La sincronización, al ser un servicio del acceso radio, impacta fundamentalmente al RAG (y al móvil).
- La arquitectura propuesta de descubrimiento de servicios en Mobile-IP RAN proporciona un mecanismo para que los elementos de la red puedan descubrir los servicios que prestan los otros elementos, conformando la lista de servicios proporcionados por la red Mobile-IP RAN, y que son señalizados por el RAG a los móviles a través de los mecanismos de difusión proporcionados por la red. Uno de los principales beneficios de esta arquitectura es su carácter dinámico, es decir, que los elementos de la red Mobile-IP RAN publican sus servicios cuando están disponibles, al contrario de la configuración estática que se logra con la utilización de un centro de operación y mantenimiento. Asimismo, el uso de una arquitectura basada en un agente de directorio permite la introducción de nuevos servicios de una forma dinámica. Por ejemplo, la introducción de un LMU con nuevos procedimientos de medida, puede ser anunciada tan pronto como esté disponible.
- La arquitectura propuesta para la determinación de la posición del móvil en Mobile-IP RAN permite proporcionar servicios de posicionamiento básicos y avanzados al móvil, a través de una arquitectura genérica basada en IP. Esta arquitectura presenta ciertos cambios en el modelo de comunicación con el móvil, respecto al modelo utilizado en las redes móviles 3G (el móvil tiene comunicación directa con los servidores de localización y posicionamiento) como consecuencia de la naturaleza independiente de los servicios Mobile-IP RAN al acceso radio. Este cambio no impacta el funcionamiento del servicio, sin embargo tiene un impacto en la carga de señalización (mensajes adicionales al móvil).
- Mobile-IP RAN logra proporcionar una arquitectura genérica de posicionamiento, a pesar que ciertos métodos de posicionamiento dependen de parámetros de la tecnología radio utilizada. Esta particularidad puede tener un impacto en los algoritmos de posicionamiento del PDE (es decir, pueden existir algoritmos de posicionamiento

propietarios a cada tecnología), pero no impacta a la arquitectura de los servicios de posicionamiento en Mobile-IP RAN ni sus interfaces.

- Mobile-IP RAN, como red de acceso radio 4G, proporciona mecanismos de seguridad en el acceso radio y en el dominio de red, que protegen al usuario y a la red de los principales ataques conocidos, ya sea a través de las interfaces radio, del equipo de red o de sus interfaces. Estos mecanismos, que incluyen la autenticación y autorización del usuario en el acceso, la autenticación de los elementos de red y la confidencialidad e integridad de las comunicaciones, está basado en el estado del arte de los mecanismos y protocolos AAA y de seguridad de red especificados por el 3GPP, 3GPP2 y el IETF. Estos mecanismos se han considerado suficientes, en conjunto con la arquitectura AAA de Mobile-IP RAN para proporcionar la seguridad del usuario y de la red de acceso.

A partir del modelo de red Mobile-IP RAN, en el Capítulo 5 se realizó el análisis del modelo de movilidad en Mobile-IP RAN a través del estudio de la probabilidad de estado estacionario para cada uno de los estados de movilidad Mobile-IP RAN (ACTIVO, Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE). El análisis de la movilidad en Mobile-IP RAN muestra que la probabilidad de que el móvil se encuentre en un estado de movilidad determinado, depende fundamentalmente de los temporizadores de inactividad del móvil, de las tasas de actualización de localización, y de la relación entre los temporizadores de inactividad del móvil, así como de la tasa de sesiones. Estos parámetros permiten configurar la red, y sus recursos para estar más adaptados al perfil de comunicación (tráfico) y de movilidad del usuario, para realizar una gestión óptima de los recursos asignados al móvil en los distintos estados de movilidad.

En el Capítulo 6 se realizó el análisis del impacto del procedimiento de determinación de la posición de Mobile-IP RAN en la carga de señalización en la interfaz radio, para diferentes tecnologías radio (GSM, UMTS y WLAN 802.11g), donde se demostró:

- Una dependencia lineal de la ocupación con el número de usuarios y con la frecuencia de actualización de la posición.
- Las tecnologías radio denominadas de segunda generación (GSM, CDMA), se adaptan al modo de localización básico, sin embargo, sus canales radio no poseen suficiente capacidad para el manejo de una alta tasa de peticiones de localización avanzada, o de servicios que requieran una alta frecuencia de actualización de la posición.
- Las tecnologías radio de tercera generación, se adaptan al modo de localización básico, y al modo de localización avanzado. En este último modo, el impacto de la señalización es algo mayor, por lo que en caso de interfaces radio que utilicen canales compartidos de baja velocidad (tales como RACH/FACH en UMTS), debe tomarse en cuenta la frecuencia estimada de actualización de la posición del móvil, cuando se diseñen los servicios de localización, en especial. Este problema desaparece cuando se utilizan los canales de alta velocidad como transporte en el modo Cell-FACH.
- En las tecnologías radio de banda ancha tales como WLAN 802.11g/n y WiMAX 802.16e, la contribución de la señalización para la determinación de la posición en la ocupación del canal es mínima (por debajo del 0,2%), por lo que estas

tecnologías permiten el despliegue de servicios de localización que necesiten una alta tasa de actualización de la posición a nivel masivo.

En el Capítulo 7 se realizó el análisis de los mecanismos de sincronización de trama para Mobile-IP RAN a través de una simulación numérica de distintos escenarios de carga del enlace de la interfaz $iRAG_{SHO}$, con el objetivo de determinar la utilidad de los mismos, y se establecieron las siguientes conclusiones:

- La utilización del mecanismo de sincronización de tramas en el establecimiento del contexto de la interfaz $iRAG_{SHO}$, introduce un retardo adicional, con un valor máximo cuantificado en condiciones de carga normal en aproximadamente 4.2 ms. Este retardo adicional en el establecimiento se considera aceptable tomando en cuenta que es menor que el intervalo de transmisión de trama mínimo utilizado en los canales dedicados en soft-handover (10 o 20 ms).
- La utilización del mecanismo de sincronización de tramas durante la vida útil del contexto de la interfaz $iRAG_{SHO}$, introduce una carga adicional a la interfaz $iRAG_{SHO}$ considerada aceptable (carga máxima de 2.2% en un enlace de 2 Mbps). El valor de la carga media depende fundamentalmente del algoritmo de sincronización utilizado (periódico o adaptativo).
- El procedimiento óptimo de sincronización de tramas en la interfaz $iRAG_{SHO}$, y utilizado en Mobile-IP RAN, consiste en realizar la sincronización de tramas en el establecimiento y durante la vida útil del contexto, ya que permite en los casos de carga normal y de carga máxima con CAC, mantener una tasa de pérdidas (debido a tramas que llegan fuera de la ventana de recepción) del 0% durante el establecimiento y la vida útil del contexto. La utilización de los mecanismos de sincronización de forma selectiva, esto es, sólo en el inicio o sólo durante la vida útil del contexto, si bien se adaptan a entornos concretos, producen pérdidas de tramas en otros entornos (por ejemplo en el inicio del contexto, o durante la vida útil en escenarios de carga máxima con CAC). Tomando en cuenta que el retardo y la carga introducida por los procedimientos de sincronización son aceptables, se recomienda entonces su implantación, para asegurar la correcta operación del soft-handover en Mobile-IP RAN en el rango más amplio de escenarios de carga de la interfaz y durante toda la existencia del contexto en la interfaz.
- El procedimiento de sincronización propuesto no es sustituto del control de admisión en la interfaz $iRAG_{SHO}$. Los resultados demuestran, que en el caso de no existir control de admisión, ninguno de los mecanismos de sincronización propuestos es capaz de mantener la tasa de pérdidas necesarias para los servicios de tiempo real en escenarios de carga máxima, debido a la imposibilidad de corregir los cambios en el retardo de transmisión que ocurren cuando no existe el control de admisión. Por ende, el control de admisión es parte fundamental en el mantenimiento de la sincronización de tramas en la interfaz $iRAG_{SHO}$.

8.3 Contribuciones de la tesis

Las contribuciones de esta tesis se enmarcan dentro del ámbito de la infraestructura de redes móviles de cuarta generación, y más concretamente en las arquitecturas de acceso radio móvil de cuarta generación.

De manera más precisa, esta tesis aporta una serie de propuestas específicas para el soporte de funciones de red de acceso móvil, a través de una red genérica, basada en IP, y que permite diversas tecnologías radio de forma independiente.

En definitiva, las principales contribuciones de la tesis doctoral son las siguientes:

- La identificación de un conjunto mínimo de requisitos que debe cumplir cualquier red de acceso de cuarta generación, en cuanto a los servicios de red, con el objetivo de cumplir con el soporte de tecnologías radio heterogéneas a través de una red de acceso basada en IP. Este conjunto mínimo de requisitos garantiza que las redes de acceso radio basadas en ellos, proporcione al menos, los servicios proporcionados por las redes de acceso móvil 3G.
- La propuesta de un modelo de red de acceso basado en IPv6 móvil, con soporte simultáneo a distintas tecnologías radio y que incluye las principales funciones de una red de acceso radio móvil de cuarta generación, a saber: movilidad radio, transferencia de datos de usuario, gestión de recursos radio, servicios de posicionamiento básico y avanzados, mecanismos de sincronización de red y de tramas de usuario, calidad de servicio, descubrimiento de servicios y seguridad.
 - El modelo de red incluye la integración de distintos mecanismos y protocolos basados en IPv6 e IPv6 móvil con el propósito de proporcionar soporte como red de acceso radio genérica. Esta integración incluye la interacción de distintos protocolos y mecanismos basados en IPv6 e IPv6 móvil, así como entre estos mecanismos basados en red (IPv6) y los protocolos y mecanismos asociados a las distintas tecnologías radio para el soporte de los distintos servicios asociados a la red de acceso móvil. Esta integración permite que Mobile-IP RAN se considere una evolución de las propuestas actuales (analizadas en el estado del arte) y una de las contribuciones más importantes de esta tesis, ya que permite alcanzar el objetivo general de Mobile-IP RAN (soporte a múltiples tecnologías radio a través de protocolos basados en tecnologías IP móvil manteniendo los servicios asociados a una red de acceso radio).
 - Este modelo está basado en una serie de elementos de red (RAG, RMM, RRM, RQoSb, RA3c y PDE) que realizan las funciones genéricas de la red de acceso radio (gestión de movilidad, localización, coordinación de recursos de red, AAA, calidad de servicio, descubrimiento de servicios) y aquellos específicos a cada tecnología radio (interfaz radio, medidas, mapeo de parámetros de calidad de servicio, sincronismo en la interfaz radio).
 - Se definió la arquitectura del RAG tomando en cuenta la independencia de las funciones genéricas de aquellas dependientes de la interfaz (módulo) radio, a través de una función de mapeo, específica a cada tecnología radio.
 - Las interfaces de red se diseñaron reutilizando, siempre que fue posible, los protocolos existentes de las redes móviles e internet. En algunos casos fue necesario la extensión de estos protocolos, introduciendo nuevos parámetros o mensajes, para el soporte de las funciones de la red de acceso.

- La extensión de la arquitectura AAA propuesta en Moby Dick a la red de acceso, proporcionando la posibilidad de gestionar el acceso de los usuarios de forma integrada (interfaz entre el RA3c y el servidor AAA) pero a su vez con la posibilidad de introducción de políticas de gestión de acceso y tasación propias a la red de acceso, a través del RA3c de Mobile-IP RAN.
- La extensión de la arquitectura de calidad de servicio propuesta en Moby Dick a la red de acceso, para la gestión de la calidad de servicio de los usuarios de forma integrada (interfaz iQoS entre el RAG y el RQoSb y entre éste y el bróker de calidad de servicio) pero a su vez, con la posibilidad de introducción de políticas de calidad de servicio propias a la red de acceso, a través del RQoSb de Mobile-IP RAN.
- La propuesta de una distribución de funciones de gestión de los recursos radio (entre el RAG y el RRM) que permite la gestión de los recursos radio de forma local (por el RAG) y coordinada por un gestor común de recursos, lo que posibilita la gestión de los principales indicadores de la red radio sobre una red heterogénea.
- La propuesta de un modelo de movilidad (radio) genérico, y adaptable a distintas tecnologías radio, que permite la optimización de la reserva de recursos dependiendo del estado de uso y de movilidad del móvil, de forma similar a las redes móviles 3G actuales.
 - El modelo de movilidad en Mobile-IP RAN, añade estados de movilidad adicionales a los tradicionalmente utilizados en los mecanismos de movilidad IP para la gestión de los recursos dentro de la red de acceso.
 - Este modelo incluye parámetros que permiten la optimización del uso de recursos para distintos perfiles de tráfico y de movilidad de usuarios.
 - El modelo permite el registro, actualización de localización, gestión de paging y handover de los usuarios a través de una red radio heterogénea.
 - El mecanismo de gestión de paging (avisos) es independiente de la tecnología radio, pero a su vez integrada a estos siempre que sea posible (a través de las funciones de mapeo).
 - El mecanismo de handover, permite los traspasos entre RAGs de la misma tecnología (horizontal) o de distinta tecnología (vertical) a través de un único procedimiento, simplificando los algoritmos de operación del móvil y de la red.
- Una propuesta de soporte a soft-handover a través de protocolos IPv6.
 - Las extensiones a [FHMIPv6] y [CXTP] propuestas en Mobile-IP RAN hacen posible la realización del soft-handover (esto es añadir, eliminar RAGs al grupo activo del móvil, y el cambio del RAG de anclaje). Esto representa una propuesta novedosa en cuanto se proporciona un mecanismo de señalización de red genérico, basado en IPv6 para el soporte de una funcionalidad radio CDMA, que permite mantener una funcionalidad importante de gestión de los recursos radio y movilidad en un entorno de acceso radio CDMA genérico, basado en IPv6.
 - Mobile-IP RAN ha propuesto la adaptación de los protocolos de transporte de tramas radio CDMA a un entorno genérico IPv6, para ser utilizado en el caso de

utilizar tecnologías radio CDMA (y su funcionalidad de soft-handover). Estos protocolos proporcionan mecanismos de transporte de tramas radio y de sincronismo de tramas y los RAGs asociados; procedimientos fundamentales en el soft-handover.

- La propuesta de extensión del modelo de sincronización existente en las redes 3G, a un modelo genérico de sincronización de red y usuario, para el soporte de tecnologías radio que requieran de una sincronización (estricta) entre sus estaciones base.
 - Este modelo consistió en la adaptación de los mecanismos de sincronización existentes en las redes móviles de tercera generación.
 - Se demostró, a través del análisis del mecanismo de sincronización, la necesidad de aplicar un mecanismo de sincronización de tramas en escenarios de soft-handover, de allí que el sincronismo de tramas es parte de los servicios proporcionados por la red Mobile-IP RAN.
- La adaptación de los modelos genéricos de descubrimiento de servicios de red a la red de acceso radio móvil.
 - Esta adaptación proporciona una alternativa a los mecanismos de configuración de servicios realizada a través del centro de operación y mantenimiento, añadiendo el beneficio del dinamismo en la gestión de la disponibilidad de los servicios.
- La propuesta de un modelo genérico de prestación de servicios de posicionamiento básicos y avanzados de usuarios a través de la red de acceso.
 - La propuesta de arquitectura de servicios de posicionamiento en Mobile-IP RAN, permite la prestación de servicios de posicionamiento básicos y avanzados, como parte de los servicios de localización de usuario.
 - Esta propuesta difiere de los mecanismos actuales en que es independiente de los otros servicios de red (comunicación directa con el móvil). Asimismo, esta propuesta es flexible en la prestación del servicio, dependiendo fundamentalmente de las capacidades del móvil y del acceso radio, para la provisión del servicio a través de métodos de posicionamiento básicos o avanzados.

8.4 Vías de investigación futuras

El diseño e implantación de una arquitectura de red es un trabajo complejo y muy amplio, compuesto de distintas fases que incluyen la definición del concepto, requisitos, diseño, evaluación previa y rediseño, prototipo, optimización e implantación o fabricación.

Esta tesis doctoral, debido a la amplitud del concepto tratado, basó sus objetivos en la definición del concepto y sus requisitos, el diseño y la evaluación previa de ciertas funciones, de una red de acceso radio móvil de cuarta generación, denominada Mobile-IP RAN. Es necesario realizar trabajos e investigaciones adicionales que permitirían la realización de un prototipo, y la optimización del diseño con el objeto de su especificación técnica o estandarización.

Esta sección expone un conjunto de posibles vías de investigación futuras que se derivan del alcance de este trabajo, así como de las conclusiones obtenidas durante la realización del mismo, y que por su envergadura y por limitaciones de tiempo, no han podido ser convenientemente abordadas en el mismo. En concreto, se propone:

- Ampliar el estudio de los posibles escenarios de procedimientos AAA en Mobile-IP RAN, a escenarios de independencia entre la red Mobile-IP RAN y la red troncal, para determinar el impacto de estos escenarios en la seguridad (procedimientos y relaciones de confianza). Los ejemplos de estos escenarios consisten en la compartición de la infraestructura de acceso (Mobile-IP RAN) con distintas redes troncales, cada una de ellas con políticas AAA independientes.
- Ampliar el estudio del modelo AAA para analizar la posibilidad del uso de las mismas claves de autenticación y autorización en el acceso a la red Mobile-IP RAN, y a la red troncal, que permitan determinar si existen agujeros de seguridad que obliguen el uso de claves diferentes. El objeto de esta integración es una posible optimización en cuanto al procesamiento y número de mensajes intercambiados con la red.
- Realizar un estudio amplio de la eficiencia de los mecanismos de transmisión de datos de usuario en Mobile-IP RAN para las transmisiones multicast y broadcast, con el objeto de optimizar el uso de tecnologías radio que proporcionan canales radio de este tipo.
- Realizar un estudio de la eficiencia de la transmisión de datos de usuario en Mobile-IP RAN, con el objeto de establecer optimizaciones que permitan aumentar la eficiencia de transmisión (disminuir tamaños de cabecera respecto a la información transmitida), al mismo tiempo que se mantienen intactas las funcionalidades de la red, especialmente lo referente a la movilidad del usuario.
- Realizar un estudio de los posibles algoritmos de mapeo de los parámetros radio de cada tecnología, a partir de los parámetros genéricos de calidad de servicio señalizados por el RQoS. [AROMAD05] presenta ejemplos de mapeo para el sistema UMTS.
- Realizar un estudio sobre los algoritmos de creación del identificador de usuario (en las direcciones IPv6 del móvil) en Mobile-IP RAN, a partir de los identificadores permanentes del usuario (ejemplo IMSI, NAI), que puedan realizarse de una forma sencilla y con el nivel de seguridad adecuado. El Apéndice A de [RFC4291] describe algunos ejemplos de mapeo, pero estos no cumplen con el requisito de privacidad en la ubicación del usuario.
- Ampliar el estudio del protocolo [802.21] enfocado en el soporte de las primitivas y comandos entre capas del terminal o elemento de red con el objeto de estandarizar la comunicación entre los módulos de procesamiento en los elementos Mobile-IP RAN. El impacto de este estudio en el protocolo se estima fundamentalmente en la adición o modificación de nuevos parámetros y primitivas o comandos.
- Realizar un estudio sobre una posible integración entre los algoritmos de gestión coordinada de los recursos radio, y los parámetros (temporizadores) que controlan al modelo de movilidad en Mobile-IP RAN, con el objetivo de asignar valores de los temporizadores de forma dinámica de acuerdo al perfil de movilidad y actividad de los usuarios móviles.

- Realizar un estudio que analice el mantenimiento del estado de los buffer de capa de enlace y control de enlace radio en el RAG, durante el handover, en un entorno como el de la red Mobile-IP RAN.
- Realizar un estudio que permita comparar la utilización de las diferentes propuestas de protocolos de descubrimiento de servicios, tales como SLP, FIPA [FIPA], ZeroConf [ZeroConf] u otros, en un escenario de red Mobile-IP RAN, para escoger el protocolo que presente condiciones óptimas de rendimiento en la arquitectura propuesta.
- Realizar propuestas sobre algoritmos de posicionamiento avanzado que sean independientes de la tecnología radio, con el objeto de incluirlos en el PDE.
- Realizar propuestas sobre algoritmos de gestión de recursos independientes de la tecnología radio, con el objeto de incluirlos en el RRM.
- Realizar propuestas de optimización de las interfaces propuestas de Mobile-IP RAN. Mobile-IP RAN fue diseñada siguiendo el requisito de mantener, siempre que fuera posible, las arquitecturas y protocolos existentes en las tecnologías de Internet móvil. Una alternativa de estudio es relajar este requisito para permitir mayores modificaciones que permitan una mayor integración entre los distintos protocolos de red (por ejemplo [FHMIPv6] y [CXTP]), logrando una optimización de los protocolos necesarios en los elementos de red. Como parte de estas propuestas de optimización sería necesario validar, a través de simulaciones dinámicas del procedimiento de handover (o el procedimiento relacionado con la interfaz optimizada), los beneficios obtenidos por la optimización.

APÉNDICE A

CAMBIOS EN EL MENSAJE DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA UMTS

Introducción

Los sistemas móviles 3G realizan la distribución de parámetros del sistema a través de mensajes de información, a través del canal de difusión o a través de canales dedicados de control. El sistema UMTS realiza la distribución de parámetros del sistema a través del mensaje *System Information* (Información del Sistema); el mismo divide la información en bloques, donde cada uno de ellos representa un grupo de información en un área de aplicación determinada. El bloque maestro y la asignación de bloques determinan cuales están presentes y su orden. [TS25331] define los bloques existentes. En esta tesis se propone un nuevo bloque, que se utiliza para la difusión de la información de sistema Mobile-IP RAN en el acceso radio UMTS. También se utiliza para la difusión de la información necesaria para la operación del móvil en modo disponible para realizar las siguientes funciones:

- Movilidad
- Servicios de Localización

A lo largo de este apéndice se describe la extensión al protocolo RRC de UMTS [TS25331], necesaria para la difusión de los parámetros de sistema Mobile-IP RAN con acceso radio UMTS.

La extensión consiste en incorporar un nuevo bloque, para tener la información necesaria para adquirir:

- Conectividad Mobile-IP RAN: Información de célula, del RAG, del RMM y del HA.
- Localización: Direcciones del LBS-S y del PDE.

Las secciones siguientes de este apéndice describen las acciones al recibir el bloque (o no recibirlo), la estructura y los elementos de información que lo componen, y su definición en el protocolo ASN.1 utilizado.

Acciones al recibir el bloque maestro y los bloques de asignación

Si el bloque no está incluido/asignado en el canal de difusión, el móvil debe:

1. Iniciar el proceso de registro de acuerdo a [TS25331]¹⁸⁸.
2. (opcional) Colocar el parámetro *mobileipran_cell* a FALSE¹⁸⁹.

Acciones al recibir el bloque

- Si el móvil recibe el bloque en el mensaje *System Information message*, con una etiqueta válida (o actualizada respecto a la almacenada anteriormente), debe:
 1. Almacenar el contenido del bloque y almacenar el valor de la etiqueta,
 2. Considerar el contenido como válido hasta recibir el bloque con otra etiqueta, o durante las próximas 6 horas.
- Si el móvil recibe el bloque en el mensaje *System Information message*¹⁹⁰, con una valor de la etiqueta igual al valor almacenado, este debe ignorar el bloque.
- Si el móvil recibe el campo Dirección LBS-S, debe colocar el parámetro *location_service*¹⁹¹ a BASIC. Si no recibe este campo, debe colocar el parámetro *location_service* a NULL.
- Si el móvil recibe el campo Dirección PDE, debe colocar el parámetro *location_service* a ADVANCED.

Contenido del bloque

La Tabla 28 muestra la estructura del bloque de Información (*SIB - System Information Block*) propuesto, con los elementos (y su respectivo tipo) que los conforman.

¹⁸⁸ Esto indica que la estación base UMTS no es compatible con Mobile-IP RAN por lo que el registro debe realizarse de acuerdo a los procedimientos de registro de UMTS.

¹⁸⁹ Este parámetro opcional es utilizado en los móviles para desactivar las funciones asociadas con Mobile-IP RAN en esa célula (movilidad, gestión de recursos radio, etc).

¹⁹⁰ Dentro de la misma célula

¹⁹¹ Este parámetro indica el modo de localización del móvil dentro de Mobile-IP RAN (Básico, avanzado, nulo)

Elemento de Información/ grupo	Presencia	Tipo	Descripción
Indicador SIB		Boolean	TRUE indica que el SIB se difunde en la célula.
Elementos de Movilidad UTRAN	Obligatorio		
Identidad de célula		Bitstring (28)	De acuerdo a [TS25331] 10.3.2.2. Identifica la célula a la cual pertenecen los parámetros Mobile-IP RAN
Elementos de Movilidad Mobile-IP RAN	Obligatorio		De acuerdo al Routing Advertising message para [HMIPv6]
Identificador de RAG	Obligatorio	Bitstring (16)	
Dirección IPv6 RMM	Obligatorio	Bitstring (128)	De acuerdo a [HMIPv6]
RMM ID	Obligatorio	Bitstring (16)	De acuerdo a [HMIPv6]
Distancia	Obligatorio	Bitstring (4)	De acuerdo a [HMIPv6]
Preferencia	Obligatorio	Bitstring (4)	De acuerdo a [HMIPv6]
R	Obligatorio	Bolean	De acuerdo a [HMIPv6]
Tiempo útil	Obligatorio	Bitstring (32)	De acuerdo a [HMIPv6]
Elementos de Movilidad MIPv6	Opcional		De acuerdo al Routing Advertising message para [MIPv6]
Dirección IPv6 HA	Obligatorio	Bitstring (128)	De acuerdo a [Narten1998] y [MIPv6]
Tiempo útil	Obligatorio	Bitstring (16)	De acuerdo a [Narten1998] y [MIPv6]
Tiempo actividad	Obligatorio	Bitstring (32)	De acuerdo a [Narten1998] y [MIPv6]
Tiempo de retransmisión	Obligatorio	Bitstring (32)	De acuerdo a [Narten1998] y [MIPv6]
Elementos de Localización Mobile-IP RAN	Opcional		
Dirección IPv6 LBS-S	Obligatorio	Bitstring (128)	
Dirección IPv6 PDE	Opcional	Bitstring (128)	

Tabla 28 Definición de los elementos del bloque de Información. Formato de acuerdo a [TS25331]

Definición ASN.1 del bloque y sus elementos

```
-- *****
-- SYSTEM INFORMATION BLOCK INFORMATION ELEMENTS
-- *****

RAGIdentity ::= BIT STRING (SIZE (16))
IPv6Address ::= BIT STRING (SIZE (128))
DistanceRMM ::= BIT STRING (SIZE (4))
PreferenceRMM ::= BIT STRING (SIZE (4))
RCoARM ::= BOOLEAN
LifetimeRMM ::= BIT STRING (SIZE (32))
LifetimeHA ::= BIT STRING (SIZE (16))
ReachabletimeHA ::= BIT STRING (SIZE (32))
RetranstimeHA ::= BIT STRING (SIZE (32))

SysInfoTypeXX ::= SEQUENCE {
  -- UTRAN Mobility Elements
  cellIdentity CellIdentity,
  -- Mobile IP RAN Elements
  ragIdentity RAGIdentity,
  rmmIdentity RAGIdentity,
  ipAddressRMM IPv6Address,
  distanceRMM DistanceRMM,
  preferenceRMM PreferenceRMM,
  rcoaRMM RCoARM,
  lifetimeRMM LifetimeRMM,
  -- Mobile IP Elements
  ipAddressHA IPv6Address,
  lifetimeHA LifetimeHA,
  reachabletimeHA ReachabletimeHA,
  retranstimeHA RetranstimeHA,
  -- LCS Mobile-IP RAN Elements
  ipAddressLBSs IPv6Address,
  ipAddressPDE IPv6Address,
}
```


APÉNDICE B

MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO DE LOS ESTADOS DE MOVILIDAD MOBILE-IP RAN

El modelo matemático utilizado para el cálculo de la probabilidad de estado estacionario de los estados de movilidad Mobile-IP RAN utilizado en el Capítulo 5, se basa en el modelo presentado en [Won2002] y [Won2003], basado en la probabilidad de estado estacionario utilizado técnicas Semi-Markov, y adaptado al modelo de movilidad de Mobile-IP RAN.

El Capítulo 4 presenta el modelo de movilidad de Mobile-IP RAN. Para simplificar el modelo de movilidad que se utiliza en el modelo matemático, se asume que el registro inicial no va seguido de la transmisión de datos de usuario¹⁹², sino que posteriormente al registro, el usuario pasa al estado Disponible-Ahorro RAG directamente.

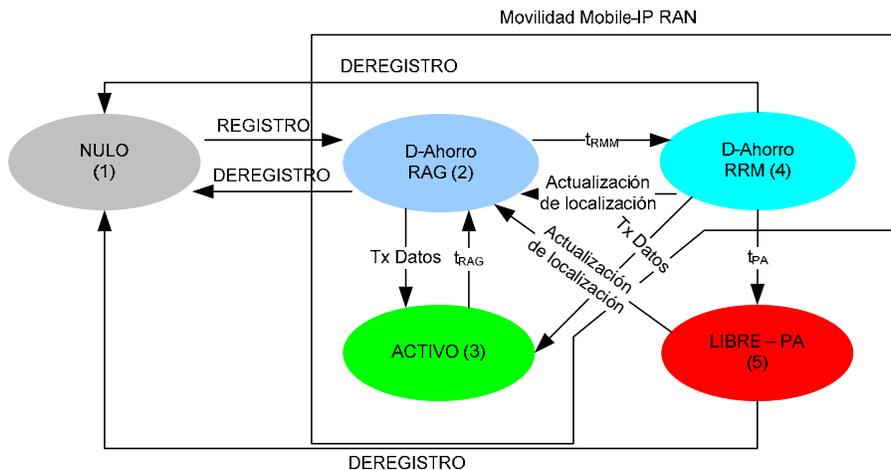


Figura 158 Diagrama de transición entre estados de Mobile-IP RAN

¹⁹² Esto se hace siguiendo el modelo de uso de las tecnologías GSM y UMTS en el dominio de conmutación de paquetes, donde el registro en el dominio GPRS/UMTS/IMS no indica el inicio de la sesión por lo que los recursos se liberan automáticamente y el móvil pasa del estado NULO a un estado equivalente al Disponible-RAG.

Se asume también que el cambio a estado NULO se puede producir desde cualquier estado Disponible-Ahorro dado que los tiempos de residencia en los estados son mucho mayores que el tiempo utilizado para realizar el desregistro.

La Figura 159 muestra el comportamiento entre transiciones de estados en el dominio del tiempo.

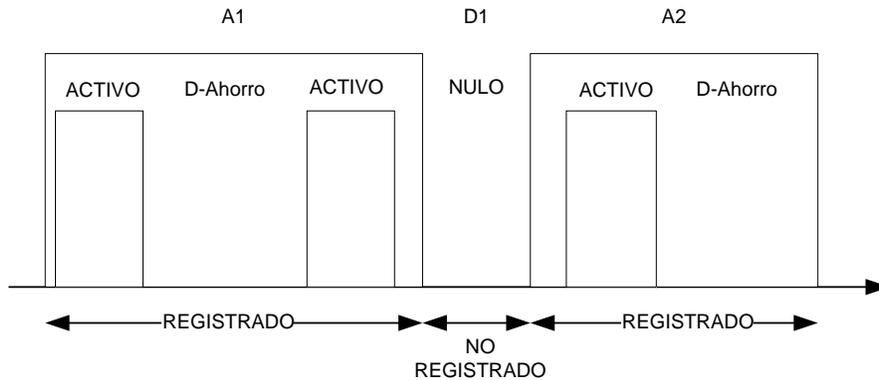


Figura 159 Transiciones entre estados de registro y estados de movilidad

El móvil se registra en la red y permanece por un tiempo A1. Después el móvil se desregistra y mantiene ese estado durante D1. El móvil cambia de nuevo de estado durante un tiempo A2 y así sucesivamente. Dentro de los períodos en los que el móvil está registrado, el mismo alternará entre estados ACTIVO (de transmisión/recepción), y Disponible-Ahorro (no hay transmisión/recepción).

a) Postulados del modelo:

- La duración del n-ésimo estado de registro A_n y la duración del estado de desregistro D_n siguen una distribución exponencial con parámetros λ_a y λ_d respectivamente;
- Las sesiones de transmisión y recepción de datos en el móvil ocurren de acuerdo a un proceso Poisson con parámetros λ_o y λ_i respectivamente;
- Las duraciones de la estadía de un móvil en el estado Disponible-Ahorro RAG, Disponible-Ahorro RMM y LIBRE (se asume el estado disponible a nivel de red troncal en el *Paging Agent-PA*), siguen una distribución exponencial con parámetros λ_{RAG} , λ_{RMM} y λ_{PA} respectivamente, que representan la tasa de actualización de RAG, RMM, y PA respectivamente.

El tiempo de residencia de un móvil en cada estado Mobile-IP RAN no sigue una distribución exponencial, por lo tanto, el estudio de la transición entre estados se realiza utilizando técnicas semi-markov [Won2002 y Won2003].

La probabilidad de estado estacionario de una cadena de Markov continua (representada en la figura arriba) se obtiene a través de las siguientes ecuaciones;

$$\pi_j = \sum_{k=1}^5 \pi_k P_{kj}, j = 1,2,3,4 \text{ y } 5 \quad \text{Ec 14}$$

$$1 = \sum_{k=1}^5 \pi_k \quad \text{Ec 15}$$

donde P_{kj} representa la probabilidad de transición del estado k al j . Para obtener la probabilidad de transmisión de estado P_{kj} , se necesita derivar la distribución de tiempo entre los estados k a j , estos es, T_{kj} .

En el estado NULO, un móvil entra al estado Disponible-Ahorro RAG después de un registro en la red; siendo la función de densidad de probabilidad (PDF) de T_{12} dada por

$$f_{T_{12}}(t) = \lambda d \times e^{-\lambda d \times t} \quad \text{Ec 16}$$

La salida de este estado se produce por cualquiera de los siguientes eventos:

- Desregistro (T_{21});
- El establecimiento de una sesión saliente o entrante (T_{23});
- Expiración del temporizador de inactividad t_{RMM} (T_{24})

La PDF de T_{21} y T_{23} se obtienen de:

$$f_{T_{21}}(t) = \lambda a \times e^{-\lambda a \times t} \quad \text{Ec 17}$$

$$f_{T_{23}}(t) = \lambda s a \times e^{-\lambda s a \times t} \quad \text{Ec 18}$$

$$\lambda s a = \lambda i + \lambda o \quad \text{Ec 19}$$

Si T_{RAG} y t_{RMM} denotan la duración de residencia en el RAG y el valor del temporizador de inactividad en el estado Disponible-Ahorro RAG respectivamente, el tiempo de residencia en este estado desde un registro hasta la expiración del temporizador t_{RMM} puede expresarse como:

$$T_{24} = \begin{cases} t_{RMM}, & \text{si } M = 0 \\ \sum_{i=1}^M (T_{RAG_i} | T_{RAG_i} < t_{RMM}) + t_{RMM}, & \text{si } M \geq 1 \end{cases}$$

donde M es el número total de actualizaciones de localización de RAG hasta la expiración del temporizador t_{RMM} , y la i -ésima ($i \geq 1$) duración T_{RAG} es independiente y distribuida idénticamente. Por lo tanto, la función de distribución acumulada (CDF) de T_{24} se obtiene a través de;

$$F_{T_{24}}(t) = \Pr \left(\sum_{i=0}^M (T_{RAG_i} | T_{RAG_i} < t_{RMM}) + t_{RMM} \leq t \right)$$

$$F_{T_{24}}(t) = \sum_{m=0}^{\infty} \Pr \left(\sum_{i=0}^m T'_{RAG_i} + t_{RMM} \leq t \right) \times \left(1 - e^{-\lambda_{RAG} \times t_{RMM}} \right)^m \times e^{-\lambda_{RAG} \times t_{RMM}} \quad \text{Ec 20}$$

Donde $T_{RAG0}=0$.

La PDF condicional de T_{RAG_i} , dado que $T_{RAG_i} < t_{RMM}$ es;

$$f_{T_{RAG_i}} | T_{RAG_i} < t_{RMM} (t) = f_{T_{RAG_i}} (t) = \begin{cases} \frac{\lambda_{RAG} \times e^{-\lambda_{RAG}t}}{1 - e^{-\lambda_{RAG}t_{RMM}}}, & \text{si } t < T_{RMM} \\ 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

El móvil experimenta una transición del estado Disponible-Ahorro RAG al estado ACTIVO cuando ocurre una sesión (transmisión o recepción de datos)¹⁹³. La salida del estado ACTIVO es causada por la culminación de una sesión:

- Culminación de la sesión (T₃₂)

La duración de una sesión de datos se modela como una distribución Pareto y la PDF de T₃₂ se obtiene de [Won2003]:

$$f_{T_{32}} (t) = \frac{\alpha \times K_s^\alpha}{t^{\alpha+1}} \quad \text{Ec 21}$$

Donde K_s es la duración mínima de una transmisión en la sesión y α es la apertura.

La salida del estado Disponible-Ahorro RMM se produce con cualquiera de los siguientes eventos:

- Un desregistro (T₄₁);
- Una actualización de la localización de RAG (T₄₂);
- El establecimiento de una sesión (T₄₃);
- La expiración del temporizador t_{pa} (T₄₅)

Los valores PDF de T₄₁, T₄₂, y T₄₃ son:

$$f_{T_{41}} (t) = \lambda a \times e^{-\lambda a t} \quad \text{Ec 22}$$

$$f_{T_{42}} (t) = \lambda_{RMM} \times e^{-\lambda_{RMM} t} \quad \text{Ec 23}$$

$$f_{T_{43}} (t) = \lambda s a \times e^{-\lambda s a t} \quad \text{Ec 24}$$

Si T_{RMM} se denomina a la duración de la residencia en el RMM, el tiempo de residencia en el estado Disponible-Ahorro RMM desde la expiración del temporizador t_{RMM} a la expiración del temporizador t_{pa} puede expresarse como:

$$T_{45} = \begin{cases} t_{pa}, & \text{si } N = 0 \\ \sum_{i=1}^N (T_{RMM_i} | T_{RMM_i} < t_{pa}) + t_{pa}, & \text{si } N \geq 1 \end{cases} \quad \text{Ec 25}$$

Donde N es el número total de actualizaciones de localización RMM hasta la expiración del temporizador t_{pa}, y la i-ésima ($i \geq 1$) duración de residencia T_{RMM_i} es independiente e idénticamente distribuida. Entonces, la CDF de T₄₅ se obtiene como:

¹⁹³ Se asume que durante la sesión, la tasa de datos es suficientemente alta de forma que el tiempo entre paquetes es menor que el tiempo de inactividad, por lo que el móvil permanece en estado activo.

$$F_{T_{45}}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \Pr\left(\sum_{i=0}^n T'_{RMM_i} + t_{pa} \leq t\right) \times \left(1 - e^{-\lambda_{RMM} \times t_{pa}}\right)^n \times e^{-\lambda_{RMM} \times t_{pa}} \quad \text{Ec 26}$$

Donde $T_{RMM0}=0$; incluida por conveniencia y la PDF condicionada de T_{RMMi} , dado que $T_{RMMi} < t_{pa}$ está dada por:

$$f_{T_{RMM_i} | T_{RMM_i} < t_{pa}}(t) = f_{T'_{RMM_i}}(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\lambda_{RMM} \times e^{-\lambda_{RMM} \times t}}{1 - e^{-\lambda_{RMM} \times t_{pa}}}, & \text{si } t < t_{pa} \\ 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{array} \right\} \quad \text{Ec 27}$$

La salida del estado LIBRE (PA) se produce bajo cualquiera de los siguientes eventos:

- Desregistro (T_{51});
- Una actualización del área de localización (Área de Paging) dada la expiración del temporizador del área de paging - t_{LA} ¹⁹⁴ (T_{52});
- Un establecimiento de sesión (T_{53})

La PDF de T_{51} y T_{53} se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$f_{T_{51}}(t) = \lambda a \times e^{-\lambda a \times t} \quad \text{Ec 28}$$

$$f_{T_{53}}(t) = \lambda s a \times e^{-\lambda s a \times t} \quad \text{Ec 29}$$

La transición del estado LIBRE (PA) al Disponible-Ahorro RAG es causado por una actualización de la localización RAG o la expiración del temporizador de actualización de la localización en la red troncal. Si t_{LA} denota el temporizador de actualización de localización y T_{pa} la duración de la residencia en la red troncal respectivamente, el tiempo del estado LIBRE (PA) al Disponible-Ahorro RAG se obtiene de la siguiente relación;

$$T_{52} = \min\{T_{pa}, t_{LA}\} \quad \text{Ec 30}$$

Donde la CDF de la duración de la residencia en la red troncal se da por:

$$f_{T_{pa}}(t) = \lambda_{pa} \times e^{-\lambda_{pa} \times t} \quad \text{Ec 31}$$

Por lo que se obtiene la CDF de T_{52} :

$$F_{T_{52}}(t) = 1 - U(T_{pa} - t) \times e^{-\lambda_{pa} \times t} \quad \text{Ec 32}$$

donde $U(\cdot)$ es la función paso unidad.

Las probabilidades de transición entre estados se derivan entonces de la cadena continua de Markov.

$$P_{12}=1^{(195)}$$

¹⁹⁴ Denominado t_{LA} para diferencial del temporizador t_{pa} de Mobile-IP RAN

¹⁹⁵ Esto es por definición, ya que la probabilidad de que el móvil salga del estado NULO se considera 1.

Basados en la independencia de T_{21} , T_{23} y T_{24} , la probabilidad P_{21} se deriva como:

$$P_{21} = \int_0^{\infty} f_{T_{23}}(t) \times \Pr(T_{21} > t) \times \Pr(T_{24} > t) dt$$

$$P_{21} = \frac{\lambda a \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}})}{\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG} \times e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}}} \quad \text{Ec 33}$$

P_{23} y P_{24} se obtienen utilizando los valores de P_{21} como;

$$P_{23} = \frac{\lambda sa}{\lambda a} \times P_{21} = \frac{\lambda sa \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}})}{\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG} \times e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}}} \quad \text{Ec 34}$$

$$P_{24} = 1 - P_{21} - P_{23} = \frac{(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}})}{\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG} \times e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}}} \quad \text{Ec 35}$$

$$P_{32} = 1^{(196)}$$

La probabilidad de P_{41} se expresa como:

$$P_{41} = \int_0^{\infty} f_{T_{41}}(t) \times \Pr(T_{42} > t) \times \Pr(T_{43} > t) \times \Pr(T_{45} > t) dt$$

$$P_{41} = \frac{\lambda a \times (1 - e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}})}{\lambda a + \lambda_{RMM} + \lambda sa + \lambda_{RMM} \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}} \quad \text{Ec 36}$$

P_{42} , P_{43} y P_{45} se obtienen utilizando los valores de P_{41} ;

$$P_{42} = \frac{\lambda_{RMM}}{\lambda a} \times P_{41} = \frac{\lambda_{RMM} \times (1 - e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}})}{\lambda a + \lambda_{RMM} + \lambda sa + \lambda_{RMM} \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}} \quad \text{Ec 37}$$

$$P_{43} = \frac{\lambda sa}{\lambda a} \times P_{41} = \frac{\lambda sa \times (1 - e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}})}{\lambda a + \lambda_{RMM} + \lambda sa + \lambda_{RMM} \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}} \quad \text{Ec 38}$$

$$P_{45} = \frac{(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda a) \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}}{\lambda a + \lambda_{RMM} + \lambda sa + \lambda_{RMM} \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}} \quad \text{Ec 39}$$

La probabilidad de P_{51} se expresa como;

$$P_{51} = \int_0^{\infty} f_{T_{51}}(t) \times \Pr(T_{52} > t) \times \Pr(T_{53} > t) dt$$

$$P_{51} = \frac{\lambda a \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{pa}) \times t_{pa}})}{\lambda a + \lambda sa + \lambda_{pa}} \quad \text{Ec 40}$$

¹⁹⁶ En el modelo propuesto se asume que el móvil solo puede salir del estado ACTIVO hacia el Disponible-Ahorro RAG, es decir, se asume que el móvil no puede ser apagado o de-registrado mientras el móvil se encuentra en una sesión activa.

$$P_{52} = \frac{\lambda sa \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda pa) \times t_{ia}})}{\lambda a + \lambda sa + \lambda pa} \quad \text{Ec 41}$$

$$P_{53} = \frac{\lambda pa}{\lambda a + \lambda sa + \lambda pa} + \frac{\lambda sa \times e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda pa) \times t_{ia}}}{\lambda a + \lambda sa + \lambda pa} \quad \text{Ec 42}$$

Para poder calcular la probabilidad de estado estacionario de un proceso semi-markov, se debe calcular el tiempo medio de residencia en cada estado.

Para el estado NULO (1);

$$\bar{t}_1 = \frac{1}{\lambda d} \quad \text{Ec 43}$$

Para el estado Disponible-Ahorro RAG (2);

$$\bar{t}_2 = E[\min\{T_{21}, T_{23}, T_{24}\}]$$

$$\bar{t}_2 = \frac{P_{21}}{\lambda a} = \frac{1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}}}{\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG} \times e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda_{RAG}) \times t_{RMM}}} \quad \text{Ec 44}$$

Para el estado ACTIVO (3), el tiempo medio de residencia está dado por [Won2003] corregido para incluir el tiempo de inactividad t_{RAG} ;

$$\bar{t}_3 = t_{RAG} \times \frac{\alpha \times Ks}{\alpha - 1} \quad \text{Ec 45}$$

De igual forma se derivan los tiempos medios de residencia en los estados Disponible-Ahorro RMM (4) y LIBRE (5);

$$\bar{t}_4 = \frac{1 - e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}}{\lambda a + \lambda_{RMM} + \lambda sa + \lambda_{RMM} \times e^{-(\lambda a + 2\lambda_{RMM} + \lambda sa) \times t_{pa}}} \quad \text{Ec 46}$$

$$\bar{t}_5 = \frac{1}{\lambda a + \lambda sa + \lambda pa} \times (1 - e^{-(\lambda a + \lambda sa + \lambda pa) \times t_{ia}}) \quad \text{Ec 47}$$

Finalmente, para calcular la probabilidad de estado estacionario de cada estado de movilidad, la probabilidad de un proceso semi-markov se escribe como;

$$P_k = \frac{\pi_k \times \bar{t}_k}{\sum_{i=1}^5 \pi_i \times \bar{t}_i}$$

Donde los valores de π_k y \bar{t}_k se obtienen de las ecuaciones Ec 14 y Ec 15, y Ec 43 a Ec 47 respectivamente.

Acrónimos

2G	Segunda Generación <i>Second Generation</i>
3G	Tercera Generación <i>Third Generation</i>
3GPP	Proyecto de asociación de la Tercera Generación <i>Third Generation Partnership Project</i>
3PSP	Proveedores externos de Servicio <i>Third Party Service Provider</i>
4G	Cuarta Generación <i>Fourth Generation</i>
A4C	Cliente de Autorización, Autenticación, Auditoria y Contabilidad <i>Authorization, Authentication, Audit and Accounting Client</i>
AAA	Autenticación, Autorización y Contabilidad <i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
AAAC	Cliente AAA <i>AAA Client</i>
AAAH	AAA Local <i>Home AAA</i>
AAL	Capa de Adaptación ATM <i>ATM Adaptation Layer</i>
ACT	Activo (Estado de Movilidad de red troncal)
AFLT	Triangulación Avanzada del enlace descendente <i>Advanced Forward Link Trilateration</i>
AGPS	GPS Asistido <i>Assisted GPS</i>
aGW	Pasarela de Acceso E-UTRAN <i>E-UTRAN Access Gateway</i>
AGW	Pasarela de Acceso UMB <i>UMB Access Gateway</i>
α (alfa)	Apertura de la curva en la distribución Poisson
AN	Red de Acceso/Nodo de Acceso <i>Access Network/Access Node</i>
ANP	Punto de Anclaje <i>ANchor Point</i>

ANRI	Instancia de enrutamiento de la red de acceso (UMB) <i>Access Network Router Instance</i>
ANWR	Enrutador Inalámbrico de Acceso <i>Access Node Wireless Router</i>
AP	Punto de Acceso <i>Access Point</i>
AP-ID	Identificador de AP <i>AP Identifier</i>
APP	Aplicación <i>Application</i>
AR	Enrutador de Acceso <i>Access Router</i>
AROMA	Soluciones avanzadas de gestión de recursos para futuros entornos radios heterogéneos Todo IP <i>Advanced Resource Management Solutions for Future All IP Heterogeneous Mobile Radio Environments</i>
ATM	Modo de Transferencia Asíncrono <i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BAck	Mensaje [MIPv6] Binding Update Acknowledge
BAN	Red de Acceso BRAIN <i>BRAIN Access Network</i>
BAR	Enrutador de Acceso BRAIN <i>BRAIN Access Router</i>
BCCH	Canal de Control de Difusión <i>Broadcast Control Channel</i>
BCMP	Protocolo de Movilidad de Candidato BRAIN <i>BRAIN Candidate Mobility Protocol</i>
BMG	Pasarela móvil BRAIN <i>BRAIN Mobile Gateway</i>
BRAIN	Acceso Radio de banda ancha para redes IP <i>Broadband Radio Access for IP Based Networks</i>
BRAN	Red de Acceso Radio de Banda Ancha <i>Broadband Radio Access Network</i>
BSC	Controlador de Estaciones Base <i>Base Station Controller</i>
BSIC	Código de Identidad de Estación Base <i>Base Station Identity Code</i>

BTS	Estación Base <i>Base Transceiver Station</i>
BU	Mensaje [MIPv6] Binding Update
BW_RAG	Ancho de banda de la interfaz iRAG _{SHO}
CAC	Control de Admisión de Conexiones <i>Connection Admission Control</i>
CAN	Nodo de Adaptación de Contenido <i>Content Adaptation Node</i>
CARD	Descubrimiento del router de acceso destino <i>Candidate Access Router Discovery</i>
CAUTION	Plataforma de gestión de capacidades de la red para el incremento de la utilización de los sistemas móviles de próxima generación. <i>CApacity and network management platform for increased Utilization of wireless systems of next generation.</i>
CBS	Servicio/Servidor de Difusión de Célula <i>Cell Broadcast Service/Server</i>
CCCH	Canal de Control Común <i>Common Control Channel</i>
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código <i>Code Division Multiple Access</i>
Cell-ID	Identificador de Célula <i>Cell Identifier</i>
CFN	Número de trama de la conexión <i>Connection Frame Number</i>
CMS	Sistema Central de Monitoreo <i>Central Monitoring System</i>
CN	Red Troncal/Nodo Correspondiente <i>Core Network/Correspondent Node</i>
CoA	<i>Care-of-Address</i>
COPS	(Protocolo de) Servicio común de políticas abiertas <i>Common Open Policy Service (Protocol)</i>
CRMS	Servidor Común de Gestión de Recursos <i>Common Resource Management Server</i>
CS	Conmutación de Circuitos <i>Circuit Switched</i>
CTC	Mensaje [CXTTP] Context Transfer Cancel
CTD	Mensaje [CXTTP] Context Transfer Data

CTDR	Mensaje [<i>CXTP</i>] <i>Context Transfer Data Reply</i>
CXTP	Protocolo de Transferencia de Contexto <i>Context Transfer Protocol</i>
C-RNTI	Identificador Temporal de Red Radio – RNC de Control <i>Control RNC - Radio Network Temporary Identifier</i>
d1	Distancia Móvil-RAG 1 en el análisis del modelo de sincronización
d2	Distancia Móvil-RAG 2 en el análisis del modelo de sincronización
d3	Distancia entre RAGs en el análisis del modelo de sincronización
DA	Dominio Administrativo/Agente de Directorio <i>Administrative Domain/Directory Agent</i>
DAD	Detección de Direcciones duplicadas <i>Duplicated Address Detection</i>
DAIDALOS	Diseño de Interfaces avanzadas de red para la entrega y administración de servicios personales optimizados e independientes de la localización <i>Design Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location Independent, Optimized personal Services</i>
DCCH	Canal de Control Dedicado <i>Dedicated Control Channel</i>
DCH	Canal dedicado <i>Dedicated Channel</i>
Delay	Componente del retardo de transmisión respecto a la carga del enlace en el análisis del modelo de sincronización
Delta	Incremento de TimerSync, en el análisis del modelo de sincronización
DGPS	GPS Diferencial <i>Differential GPS</i>
DHCP	Protocolo de Configuración Dinámica de Terminal <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DiffServ	Servicios Diferenciados <i>Differentiated Services</i>
DISP	Disponible (Estado de Movilidad de red troncal)
DL	Enlace descendente <i>Downlink</i>
Dprop	Retardo de propagación en la interfaz iRAG _{SHO} .
DRX	Recepción discontinua <i>Discontinuous Reception</i>
DSCH	Canal descendente compartido <i>Downlink Shared Channel</i>

DSCP	Código de servicios diferenciados <i>DiffServ Code Point</i>
DSL	Línea Digital de Subscriptor <i>Digital Subscriber Line</i>
DSLAM	Multiplexor DSL <i>DSL Access Multiplexer</i>
DT	Transferencia Directa <i>Direct Transfer</i>
DTrans	Retardo de transmisión en la interfaz iRAG _{SHO}
DTransDLest	Retardo de transmisión estimado en la interfaz iRAG _{SHO}
DTrans _{RAG}	Retardo entre RAGs, utilizado en el análisis del modelo de sincronización de tramas
EB	Estación Base
eBS	Estación Base (cdma200) evolucionada <i>Evolved Base Station</i>
EDGE	Tasa de Datos Mejorada para la evolución de GSM <i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
EIR	Registro de Identidad de Equipos <i>Equipment Identity Register</i>
EMG	Pasarela mejorada de movilidad <i>Enhanced Mobility Gateway</i>
eNB	Nodo-B Mejorado <i>E-UTRAN (Enhanced) Node-B</i>
ESN	Número de Serie Electrónico <i>Electronic Serial Number</i>
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones <i>European Telecommunications Standards Institute</i>
E-OTD	Diferencia Observada de Tiempo Mejorada <i>Enhanced Observed Time Difference</i>
E-UTRAN	UTRAN Evolucionada <i>Evolved UTRAN</i>
FACH	Canal de Acceso Descendente <i>Forward Access Channel</i>
FBAck	Mensaje [FHMIpV6] Fast Binding Update Acknowledge
FBU	Mensaje [FHMIpV6] Fast Binding Update
FCAR	Reserva agregada y Cadena de Reenvío <i>Forwarding Chain and Aggregate Reservation</i>

FDD	Dúplex por División de Frecuencia <i>Frequency Division Duplex</i>
FemtoCell	Estación base residencial o de oficina
FHMIPv6	(Protocolo de) Traspasos Rápidos para MIPv6
FIPA	Base para Agentes Físicos Inteligentes <i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
FN	Número de trama <i>Frame Number</i>
FSN	Número de secuencia de trama (cdma2000) <i>Frame Sequence Number</i>
GERAN	Red de Acceso Radio GSM y EDGE <i>GSM/EDGE RAN</i>
GGSN	Nodo de Soporte Pasarela GPRS <i>Gateway GPRS Support Node</i>
GMM	Gestión de Movilidad GPRS <i>GPRS Mobility Management</i>
GMSC	MSC Pasarela <i>Gateway MSC</i>
GMT	Tiempo medio de Greenwich <i>Greenwich Mean Time</i>
GMU	Unidad de Gestión Global <i>Global Management Unit</i>
GPRS	Servicio Radio de Paquetes <i>General Packet Radio Service</i>
GPS	Sistema de Posicionamiento Global <i>Global Positioning System</i>
GRE	Encapsulado Genérico de Enrutamiento <i>Generic Routing Encapsulation</i>
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles <i>Global System for Mobile Communications</i>
GSN	Nodo de Soporte GPRS <i>GPRS Support Node</i>
GTP	Protocolo de Túneles GPRS <i>GPRS Tunneling Protocol</i>
HA	Agente Local <i>Home Agent</i>
HAck	Mensaje [FHMIPv6] Handover Acknowledge

HC	Mensaje [<i>FHMIPv6</i>] <i>Handover Cancel</i>
HI	Mensaje [<i>FHMIPv6</i>] <i>Handover Initiate</i>
HLR	Registro de Suscriptores Propios <i>Home Location Register</i>
HLS	Servidor de Suscriptores Propios <i>Home Location Server</i>
HMIPv6	IP Móvil v6 Jerárquico <i>Hierarchical Mobile IPv6</i>
HO	Handover
HSDPA	Acceso por Paquetes de Alta velocidad en el enlace descendente <i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HS-DSCH	Canal rápido DSCH <i>High Speed DSCH</i>
HS-PDSCH	Canal rápido físico DSCH <i>High Speed Physical DSCH</i>
HSS	Servidor de Suscriptores Propios <i>Home Subscriber Server</i>
iAAA	Interfaz de Autenticación, Autorización y Tasación (AAA)
ICMP	Protocolo de mensajes de control de Internet <i>Internet Control Message Protocol</i>
ID	Identificador <i>Identifier</i>
IDMP	Protocolo de Gestión de Movilidad Intradominio <i>Intradomain Mobility Management Protocol</i>
IEEE	Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IETF	Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet <i>Internet Engineering Task Force</i>
IKE	Intercambio de claves de Internet <i>Internet Key Exchange</i>
iLBS	Interfaz de Localización – Servidor LBS-S - Móvil
iLM	Interfaz de Localización – Servidor PDE – Móvil
iLCN	Interfaz de Localización – Cliente LCS – Red
IMS	Subsistema Multimedia IP <i>IP Multimedia Subsystem</i>
IMSI	Identidad Internacional del Suscriptor Móvil <i>International Mobile Subscriber Identity</i>

IMT	Telefonía Móvil Internacional <i>International Mobile Telephony</i>
IP	Protocolo Internet <i>Internet Protocol</i>
IPDL	Períodos Disponibles en el enlace descendente <i>Idle Periods on DownLink</i>
IPsec	(Protocolo de) Seguridad IP <i>IP Security (protocol)</i>
IPv4	IP versión 4
IPv6	IP versión 6
iRAG _H	Interfaz entre RAGs, para handover
iRAG _L	Interfaz RAG – PDE para el servicio de posicionamiento
iRAG _{SHO}	Interfaz entre RAGs, para soft-handover
IS	Estándar interino <i>Interim Standard</i>
iSD	Interfaz de Descubrimiento de Servicios en Mobile-IP RAN
ITMU	Unidad de Monitorización de Tráfico de Interfaz <i>Interface Traffic Monitoring Unit</i>
IWF	Función de Interconexión <i>InterWorking Function</i>
IWU	Unidad de Interconexión <i>InterWorking Unit</i>
KDC	Centro de Distribución de Claves <i>Key Distribution Centre</i>
KPI	Indicador de desempeño de red <i>Key Performance Indicator</i>
K _s	Duración mínima de transmisión en una sesión
L1	Capa 1 (Nivel físico) <i>Layer 1 (Physical Layer)</i>
L2	Capa 2 (Nivel de Enlace) <i>Layer 2 (Link Layer)</i>
L2-ID	Identificador en la red de acceso
L3	Capa 3 (Nivel de Red) <i>Layer 3 (Network Layer)</i>
λ_a (La)	Tasa de registros en la red
λ_d (Ld)	Tasa de desregistros en la red

λ_i (Li)	Tasa de establecimiento de sesiones entrantes
λ_o (Lo)	Tasa de establecimiento de sesiones salientes
λ_{PA} (Lpa)	Tasa de actualización de Área de Paging (PA)
λ_{RAG} (Lrag)	Tasa de actualización de RAG
λ_{RMM} (Lrmm)	Tasa de actualización de RMM
λ_{sa} (Lsa)	Tasa de establecimiento de sesiones ($\lambda_i + \lambda_o$)
LBack	Mensaje [HMIPv6] <i>Local Binding Update Acknowledge</i>
LBS	Servicios Basados en Localización <i>Location Based Services</i>
LBS-S	Servidor LBS <i>LBS Server</i>
LBU	Mensaje [HMIPv6] <i>Local Binding Update</i>
LCoA	CoA local <i>Local CoA</i>
LCR-TDD	TDD de Baja Tasa de Datos <i>Low Chip Rate TDD</i>
LCS	Servicios de Localización <i>LoCation Services</i>
LMA	Elemento de Anclaje de Movilidad Local <i>Local Mobility Anchor</i>
LMU	Unidad de Medidas de Localización <i>Location Measurement Unit</i>
LS	Servidor de Localización <i>Location Server</i>
LTE	Evolución a largo plazo <i>Long-Term Evolution</i>
L-CM	Interfaz LCS: Red Troncal-Móvil <i>LCS Interface: Core Network - Mobile</i>
L-PDE	PDE Local <i>Local PDE</i>
LTOA	Tiempo último de llegada <i>Latest Time of Arrival</i>
MA	Agente de Movilidad <i>Mobility Agent</i>

MAC	Control de Acceso al Medio <i>Media Access Control</i>
MAP	Punto de Anclaje de Movilidad <i>Mobility Anchor Point</i>
MAP-GSM	Protocolo de Aplicación Móvil <i>Mobile Application Part (protocol)</i>
Mbps	Megabits por segundo <i>Megabits per second</i>
MC-CDMA	CDMA de portadoras múltiples <i>Multi-Carrier CDMA</i>
MGIS	Sistema de Información Geográfico de Red Móvil <i>Mobile Network Geographic Information System</i>
MIND	Desarrollos de red basados en IP móvil <i>Mobile IP based Network Developments</i>
MIPv6	Protocolo Internet Móvil versión 6 <i>Mobile-IP version 6</i>
MLD	Protocolo de descubrimiento de escuchas multicast <i>Multicast Listener Discovery Protocol</i>
MLP	Protocolo de Localización Móvil <i>Mobile Location Protocol</i>
MM	Gestión de la Movilidad <i>Mobility Management</i>
MMR	Enrutador Móvil MIND <i>MIND Mobile Router</i>
MMSPP	Plataforma de aprovisionamiento de servicios multimedia <i>Multimedia Services Provisioning Platform</i>
Mobile-IP RAN	Red de Acceso Radio basada en IP Móvil <i>Mobile-IP based Radio Access Network</i>
MobyDick	Movilidad y Servicios diferenciados en una red IP futura <i>Mobility and Differentiated Services in a Future IP Network</i>
ms	Milisegundos
MSC	Centro de Conmutación Móvil <i>Mobile Switching Center</i>
	Dibujos de Secuencia de Mensajes <i>Message Sequence Chart</i>
MT	Terminal Móvil <i>Mobile Terminal</i>

MTP	Protocolo de Transporte de Mensajes <i>Message Transport Protocol</i>
MWIF	Foro de Internet Móvil Inalámbrico <i>Mobile Wireless Internet Forum</i>
NAS	Estrato no de acceso <i>Non-Access Stratum</i>
NBAP	Protocolo de aplicación de Nodo B <i>Node B Application Protocol</i>
ND	No Disponible (Estado de Movilidad de red troncal)
NETLMM	Gestión de Movilidad Local basada en la Red <i>Network-Based Localized Mobility Management</i>
NLA	Identificador de agregación al próximo nivel <i>Next-Level Aggregation Identifier</i>
NNACK	Mensaje [FHMIIPv6] Neighbor Advertisement Acknowledge
NNI	Interfaz Red-Red <i>Network to Network Interface</i>
Nr_cxt	Número de contextos en la interfaz iRAG _{SHO}
OFDM	Multiplexado por División de Frecuencias Ortogonales <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFF	Diferencia de tiempo entre el móvil y la señal del RAG 2 respecto al RAG 1 en el análisis del modelo de sincronización
OMA	Alianza Móvil Abierta <i>Open Mobile Alliance</i>
OMC	Centro de Operación y Mantenimiento <i>Operations and Maintenance Centre</i>
OTD	Diferencia de Tiempo Observada <i>Observed Time Difference</i>
OTDOA	Diferencia de Tiempo de Llegada Observada <i>Observed Time Difference Of Arrival</i>
P1	Probabilidad de Estado de movilidad NULO de Mobile-IP RAN
P2	Probabilidad de Estado de movilidad Disponible-Ahorro RAG de Mobile-IP RAN
P3	Probabilidad de Estado de movilidad ACTIVO de Mobile-IP RAN
P4	Probabilidad de Estado de movilidad Disponible-Ahorro RMM de Mobile-IP RAN
P5	Probabilidad de Estado de movilidad LIBRE de Mobile-IP RAN
PA	Agente de Paging/Área de Paging <i>Paging Agent/Paging Area</i>

PAL	Agente Local de Paging <i>Paging Agent – Local</i>
PATE	Error de Tiempo de Llegada del paquete <i>Packet Arrival Time Error</i>
PBNMS	Servidor de Gestión de Red Basado en Políticas <i>Policy Based Network Management Server</i>
PCF	Función de Control de Paquetes <i>Packet Control Function</i>
PCH	Canal de Paging <i>Paging Channel</i>
PDCH	Canal Dedicado a Paquetes (GPRS) <i>Packet Dedicated Channel (GPRS)</i>
PDCCP	Protocolo de Control de Paquetes de Datos <i>Packet Data Control Protocol</i>
PDE	Entidad de Determinación de la Posición <i>Position Determination Entity</i>
PDF	Función de Densidad de Probabilidad <i>Probability Density Function</i>
PDP	Punto de Definición de Políticas <i>Policy Definition Point</i>
PDSN	Nodo Servidor de Paquetes de Datos CDMA <i>CDMA Packet Data Serving Node</i>
PDU	Unidad de paquetes de datos <i>Packet Data Unit</i>
PEP	Punto de Aplicación de Políticas <i>Policy Enforcement Point</i>
PLMN	Red Móvil Pública Terrestre <i>Public Land Mobile Network</i>
PN	Seudo Ruido <i>PseudoNoise</i>
PPPMux	Multiplexado PPP <i>PPP Multiplexing</i>
PrRtAdv	Mensaje [FHMIIPv6] Proxy Router Advertisement
PS	Dominio de Conmutación de Paquetes <i>Packet Switched (domain)</i>
QoS	Calidad de Servicio <i>Quality of Service</i>

QoSB	Broker QoS <i>QoS Broker</i>
RA3C	Ciente AAA Regional <i>Regional AAA Client</i>
RACH	Canal de Acceso Aleatorio <i>Random Access Channel</i>
RAG	Pasarela Regional de Acceso <i>Regional Access Gateway</i>
RAN	Red de Acceso Radio <i>Radio Access Network</i>
RANAP	Protocolo de Aplicación RAN <i>RAN Application Part</i>
RAR	Radio AR
RCoA	CoA Regional <i>Regional CoA</i>
RG	Pasarela Radio <i>Radio Gateway</i>
RLC	Control del Enlace Radio <i>Radio Link Control</i>
RLP	Protocolo de Enlace Radio <i>Radio Link Protocol</i>
RMM	Gestor de Movilidad Regional <i>Regional Mobility Manager</i>
RMU	Unidad de Gestión de Recursos <i>Remote Management Unit</i>
RNC	Controlador de Red Radio <i>Radio Network Controller</i>
RNS	Subsistema de Red Radio <i>Radio Network Subsystem</i>
RNSAP	Capa de Aplicación RNS <i>RNS Application Layer</i>
RQoSb	Gestor/Broker Regional de QoS <i>Regional QoS broker</i>
RR	Recurso Radio <i>Radio Resource</i>
RRC	Protocolo de Control de Recursos Radio <i>Radio Resource Control protocol</i>

RRM	Gestor de Recursos Regionales <i>Regional Resource Manager</i>
RSVP	Protocolo de Reserva de Recursos <i>Resource reSerVation Protocol</i>
RtSolPr	Mensaje [FHMIPv6] Router Solicitation for Proxy Advertisement
SAE	Evolución de la Arquitectura del Sistema <i>System Architecture Evolution</i>
SbitServD	Tamaño de bits de la trama del servicio de datos en la interfaz iRAG _{SHO}
SbitServV	Tamaño de bits de la trama del servicio de voz en la interfaz iRAG _{SHO}
SbitSync	Tamaño de bits de los mensajes <i>DL Sync</i> y <i>UL Sync</i>
SCCP	Protocolo de Control de Conexión de Señalización (SS7) <i>Signaling Connection Control Part</i>
SCTP	Protocolo de control de transmisión de flujo <i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SDCCH	Canal de Control Dedicado Autónomo <i>Stand-alone Dedicated Control Channel</i>
SDH	Jerarquía digital asíncrona <i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SDL	Lenguaje de Especificación y Descripción <i>Specification and Description Language</i>
SDS	Servidor de Descubrimiento de Servicios <i>Service Discovery Server</i>
SDU	Unidad de Selección/Distribución <i>Selection/Distribution Unit</i>
SFN	Número de Trama del Sistema <i>System Frame Number</i>
SGSN	Nodo de Soporte Servidor de GPRS <i>Serving GPRS Support Node</i>
SHO	Soft-handover
SIB	Bloque de Información de Sistema <i>System Information Block</i>
SIM	Modulo de Identidad del Suscriptor <i>Subscriber Identity Module</i>
SIP	Protocolo de Inicio de Sesión <i>Session Initiation Protocol</i>
SLA	Identificador de Agregación de Sitio <i>Site-Level Aggregation Identifier</i>

SLP	Protocolo de Localización de Servicios <i>Service Location Protocol</i>
SM	Gestión de sesión <i>Session Management</i>
SMLC	Centro de Localización Móvil Servidor <i>Serving Mobile Location Centre</i>
SPP	Plataforma de Aprovisionamiento de Servicios <i>Service Provisioning Platform</i>
SRNC	Controlador de sesión de red (UMB) <i>Session referente Network Controller</i>
SRNS	RNS Servidor <i>Serving RNS</i>
SS7	Sistema de Señalización número 7
SSCF	Función de Coordinación Especifica de Servicio <i>Service Specific Coordination Function</i>
SSCOP	Protocolo Orientado a conexión Especifico al Servicio <i>Service Specific Connection Oriented Protocol</i>
SYS_TIME	Tiempo del sistema (IS-95 y cdma2000) <i>System Time</i>
T1	Número de trama específica al RNC (RFN) que indica cuando el RNC envía el mensaje DL Node Synchronisation, ver [TS25402]
T2	Número de trama específica al Nodo B (BFN) que indica cuando el Nodo B recibe el mensaje DL Node Synchronisation, ver [TS25402]
T3	Número de trama específica al Nodo B (BFN) que indica cuando el Nodo B envía el mensaje UL Node Synchronisation, ver [TS25402]
T4	Número de trama específica al RNC (RFN) que indica cuando el RNC recibe el mensaje UL Node Synchronisation, ver [TS25402]
TA	Área de Seguimiento/Avance de Tiempo <i>Tracking Area/Timing Advance</i>
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet <i>Transmisión Control Protocol/Internet Protocol</i>
TDD	Dúplex por División de Tiempo <i>Time Division Duplex</i>
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo <i>Time Division Multiple Access</i>
TimerSync	Período de evaluación del tiempo de llegada
t _{LA} (t _{LA})	Temporizador de inactividad en estado ACTIVO (red troncal)

TMSI	Identidad Temporal del Suscriptor Móvil <i>Temporary Mobile Subscriber Identity</i>
ToA	Tiempo de llegada <i>Time of Arrival</i>
TOAWE	Final de la ventana del tiempo de llegada <i>Time of Arrival Window Endpoint</i>
TOAWS	Comienzo de la ventana del tiempo de llegada <i>Time of Arrival Window Startpoint</i>
t _{PA} (tPA)	Temporizador de inactividad en estado Disponible-Ahorro RMM
t _{proc}	Tiempo de procesamiento de tramas en el RAG
t _{RAG} (tRAG)	Temporizador de inactividad en estado ACTIVO Mobile-IP RAN
t _{RMM} (tRMM)	Temporizador de inactividad en estado Disponible-Ahorro RAG
TTI	Intervalo de transmisión de tramas <i>Transmission Time Interval</i>
T _{tx}	Tiempo de transmisión de trama (sobre la interfaz iRAG _{SHO})
\bar{t}_x (t _x)	Tiempo medio de residencia en cada estado (x) de Movilidad Mobile-IP RAN.
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario <i>User Datagram Protocol</i>
UE	Equipo de usuario <i>User Equipment</i>
UL	Enlace ascendente <i>Uplink</i>
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMB	Servicio móvil de banda ancha ultra <i>Ultra Mobile Wideband</i>
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UNA	Mensaje [FHMIPv6] Unsolicited Neighbor Advertisement
UTC	Tiempo Universal Coordinado <i>Universal Time Coordinated</i>
UTRAN	Red de Acceso Radio UMTS <i>UMTS RAN</i>
vaMed	Variación media del retardo de transmisión en la interfaz iRAG _{SHO}
VLR	Registro de Ubicación de Visitantes <i>Visitor Location Register</i>

WCDMA	CDMA de Banda Ancha <i>Wideband CDMA</i>
WEP	Protocolo de seguridad (inalámbrico) similar al cableado <i>Wired Equivalent Security Protocol</i>
Wine Glass	Red IP Inalámbrica como plataforma genérica para soporte de servicios con soporte a localización <i>Wireless IP Network as Generic Platform for Location Aware Service Support</i>
WiMAX	Interoperabilidad global para acceso microondas <i>World Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	Red de Área Local Inalámbrica <i>Wireless Local Area Network</i>
ZeroConf	Conectividad con cero configuración (previa) <i>Zero Configuration Networking</i>

Bibliografía

- [80211] IEEE Std. 802.11g™ - 2003. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band". Junio 2003.
- [802.16e] IEEE Std. 802.16e™ - 2005 y IEEE Std. 802.16™ - 2004/Cor 1-2005. "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1". Febrero 2006.
- [802.21] IEEE P802.21/D14, "Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services", septiembre 2008.
- [Abraham2002] S. Abraham et. al. "Effect of Timing Adjust Algorithms on lub Link Capacity for Voice Traffic in W-CDMA Systems". *Proceedings of 56th Vehicular Technology Conference 2002, VTC 2002*, diciembre 2002, pp. 311-315
- [Annoni2001] M. Annoni y otros. "Radio Access Networks beyond the 3rd Generation: A First Comparison of Architectures from 4 IST Proyectos". IST Mobile Summit 2001. Barcelona 10-12 septiembre, 2001.
- [AROMAD01] F. Casadevall. "AROMA IST-4-027567 D01. Project Description". Enero 2006.
- [AROMAD05] R.Ljung y A. Dahlen. "AROMA IST-4-027567 D05. Target Scenarios specification: Vision at project stage 1". Abril 2006.
- [AROMAD18] J. Pérez-Romero. "AROMA IST-4-027567 D18. Final report on AROMA algorithms and simulation results". Diciembre 2007.
- [AS0003-A] 3GPP2 A.S0003-A. "BTS-BSC Inter-operability (A_{bis} Interface), version 2.0. Julio 2001.
- [AS0011-A] 3GPP2 A.S0011-A. "Interoperability Specification (IOS) for cdma2000 Access Network Interfaces – Part 1 Overview (3G-IOS v4.3)", version 1.0. Octubre 2002.
- [AS0013] 3GPP2 A.S0013-D. "Interoperability Specification (IOS) for cdma2000 Access Network Interfaces – Part 3 Features (3G-IOS v5.1)", version 1.0. Junio 2007.
- [AS0015-C] 3GPP2 A.S0015-C "Interoperability Specification (IOS) for cdma2000 Access Network Interfaces – Part 5 (A3 and A7 Interfaces) (3G-IOS v5.0.1), version 2.0. Diciembre 2005.
- [AS0020-0] 3GPP2 A.S0020-0 v2.0 "Interoperability Specification (IOS) for Ultra Mobile Broadband (UMB) Radio Access Network Interfaces", version 2.0. Julio 2008.
- [Barka2007] E. Barka y M. Boulmalf. "Impact of encryption on the Throughput of Infrastructure WLAN IEEE 802.11g". *IEEE proceedings on Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2007*, Marzo 2007. pp 2693-2699.
- [Bijwaard2005] D. Bijwaard y S. Van der Gaast. "The Daidalos project and standardizing NGN in ETSI TISPAN – an overview". *ETSI TISPAN#8, Portorose, Slovenia*. Septiembre 2005.
- [Campbell2002] A. Campbell, J. Gómez, S. Kim, C. Wan, Z.Turanyi, A. Valko. "Comparison of IP Micromobility Protocols". *IEEE Wireless Communications Magazine*, Febrero 2002. pp. 72-82.
- [CARD] M. Liebsch, y otros. "Candidate Access Router Discovery (CARD)". IETF RFC 4066, Julio 2005.
- [CAUTIOND21] S. Nousiainen, editor. "CAUTION IST-2001-38229, D-2.1 Resource and mobility management in multi-system environment". Mayo 2003.

- [CAUTIOND61] Vlahodimitropoulos K; editor. "CAUTION IST-2001-38229, D-6.1 Interim Exploitation Plans". Noviembre 2003.
- [Chia2001] S. T. Stanley Chia y W. C.Y. Lee. "A Synchronized Radio System Without Stable Clock Sources" *IEEE Personal Communications Magazine*, Abril 2001. pp. 45-50.
- [Chih2004] Shou-Chih Lo y otros. "Architecture for Mobility and QoS Support in All-IP Wireless Networks". *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol 22, N° 4, pp 691-705, mayo 2004.
- [CS0001-C] 3GPP2 C.S0001-C. "Introduction to cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems, Release C". Mayo 2002.
- [CS0002-D] 3GPP2 C.S0002-D v2.0. "Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Release D, version 2.0", septiembre 2005.
- [CS0010-C] 3GPP2 C.S0010-C v2.0. "Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations, Release C, version 2.0", febrero 2006.
- [CS0022-0] 3GPP2 C.S0022-A. "Position Determination Service for cdma2000 Spread Spectrum Systems", version 1.0, marzo 2004.
- [CXTP] J. Luoghney, editor. "Context Transfer Protocol (CXTP)". IETF RFC 4067, Julio 2005.
- [D0101] J. Jaehnert. "Moby Dick Framework Specification", *D0101, IST-2000-25394 Moby Dick*, octubre 2001.
- [D0201d] A. Mokhtar. "Moby Dick QoS Framework Specification", *D0201, IST-2000-25394 Project Moby Dick*, octubre 2001 (documento de trabajo).
- [D0202] Moby Dick WP2. "Development and Implementation Report on the QoS Components for MobyDick", *D0202, IST-2000-25394 Project Moby Dick*, junio 2003.
- [D0301] M. Liebsh. "Specification of the Moby Dick Mobility Architecture", *D0301, IST-2000-25394 Moby Dick*, octubre 2001.
- [D0302] Moby Dick WP3. "Mobility Architecture Implementation Report", *D0302, IST-2000-25394 Moby Dick*, diciembre 2002.
- [D0401] Moby Dick WP4. "AAAC Design", *D0401, IST-2000-25394 Project Moby Dick*, Enero 2002.
- [D0402] Moby Dick WP4. "Development and Implementation Report on AAAC Components", *D0402, IST-2000-25934 Project Moby Dick*, Junio 2003.
- [Daidalos2004] The Daidalos Consortium. "Daidalos Flyer: motivation, goals, scenarios, technical approach, architecture and business models", disponible en <http://www.ist-daidalos.org/daten/publications/publications.htm>. Junio 2004.
- [Das2002] S. Das y otros. "IDMP: an intradomain mobility management protocol for next-generation wireless networks". *IEEE Wireless Communications magazine*, vol 9, pp 38-45, junio 2002.
- [DeLaOliva2008] A. De La Oliva y otros. "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services". *IEEE Wireless Communications magazine*, agosto 2008, pp. 96-103.
- [DeSilva2002] P. De Silva, H. Sirisena. "A Mobility Management Protocol for IP-based Cellular Networks". *IEEE Wireless Communications magazine*, junio 2002. pp. 31-37.
- [Featherstone2000] W. Featherstone y D. Molkdar. "System Level Performance Evaluation of GPRS for various traffic models". *IEEE Vehicular Technology Conference*, septiembre 2000, Volumen 6, pp. 2648-2652.

- [Ferrus2006] R. Ferrus y otros. "EVEREST Testbed: QoS Management Evaluation in B3G Networks". 2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, TRIDENTCOM 2006, mayo 2005, pp. 26-31.
- [FHMIPv6] R. Koodli, editor. "Mobile IPv6 Fast Handovers". IETF RFC 5268, Junio 2008.
- [FH80211] P. McCann. "Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks". IETF RFC 4260, Noviembre 2005.
- [FIPA] Foundation for Intelligent Physical Agents. <http://www.fipa.org/>
- [Frattasi2006] S. Frattasi y otros. "Defining 4G Technology from the User's Perspective". *IEEE Network Magazine*, Enero/Febrero 2006. pp. 35-41.
- [Garcia2006] C. García y otros. "Soporte de QoS en Redes de 4^a Generación". *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 4, N° 1, Marzo 2006, pp. 14-20.
- [Giaretta2008] G. Giaretta y otros. "AAA Goals for Mobile IPv6", draft IETF draft-ietf-mext-aaa-goals-01.txt. Mayo 2008.
- [Guttman2002] E. Guttman y J. Kempf. "Service Location Protocol, Version 2 (bis)". Draft individual <draft-guttman-svrlc-rfc2608bis-02.txt>, Enero 2002 (expirado).
- [Halonen2002] T. Halonen, J. Romero y J. Meler. "GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS". Editorial Wiley, 2002.
- [HiperLAN2] ETSI. TR 101 683. "HIPERLAN Type 2; System Overview". Versión 1.1.1, Febrero 2002.
- [HMIPv6] H. Soliman y otros "Hierarchical Mobile IPv6 mobility Management (HMIPv6)", IETF RFC 5380, Octubre 2008.
- [Holma2007] H. Holma y otros. "High-Speed Packet Access Evolution in 3GPP Release 7". *IEEE Communications Magazine*. Diciembre 2007.
- [Hong2007] K. Hong y otros. "Cost-Effective IP Paging for Wireless Internet". *IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2007*. Noviembre 2007. pp. 1982-1986.
- [Hu2005] Bo Hu et al. "Local Route Optimization in Hierarchical Mobile IPv6 Networks from Topology Perspective". *IEEE International Symposium on Communications and Information Technology*, ISCIT2005. Octubre 2005, pp. 787-790.
- [Hui2003] Suk Yu Hui y Kai Hau Yeung. "Challenges in the Migration to 4G Mobile Systems". *IEEE Communications Magazine*. Diciembre 2003.
- [IMT2000] Unión Internacional de Telecomunicaciones. Proyecto IMT-2000. "What is IMT-2000". Presentación de la UIT del proyecto IMT-2000, what_is_IMT2000-2.pdf. Disponible en <http://www.imt-2000.org/portal/> (Enero 2003).
- [IPPaging] J. Kempf. "Dormant Mode Host Alerting ("IP Paging") problem statement, *IETF RFC 3132*, Junio 2001.
- [IPv6] S. Deering, R. Hinden. "Internet Protocol, Version 6 (ipv6) Specification". Request for Comments (Draft Standard) 2460, Internet Engineering Task Force, Diciembre 1998.
- [Isaksson2005] L. Isaksson y otros. "Application-Perceived Throughput Process in Wireless Systems". *IEEE proceedings of the 2005 Systems Communications Conference, ICW'05*, Agosto 2005, pp. 172-177.
- [ISGPS200] IS-GPS-200 Navstar Global Positioning System Interface Specification, Revision D, "Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces", IRN-200D-001, marzo 2006.

- [IS-801] TIA TIA-801-A "Position Determination Service for cdma2000 Spread Spectrum Systems". Abril 2004.
- [Jaehwoon2006] J. Lee et al, "I-FHMIPv6: A novel FMIPv6 and HMIPv6 Integration Mechanism", IETF draft draft-jaehwoon-mipshop-iffmipv6-01.txt, junio 2006 (expirado).
- [Jing2008] L. Jing et al, "Multi-Session Method to Reduce Handover Latency and Data Loosing in FHMIPv6". *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, ICCIT'08*. Noviembre 2008, p.p. 126-130.
- [Jinsha2008] Y. Jinsha y otros. "An Improved FHMIPv6 Handover Scheme For Mobile WiMAX". *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2008*. Octubre 2008, pp. 1-4
- [Joachim2002] Hans Joachim. "Moby Dick's IETF Activities: IP Paging and Random Generation of Address Identifiers". Presentación, disponible en <http://www.ist-mobydick.org/presentations/MobyDickRandomAddr-IPPaging.pdf>, septiembre 2002.
- [Jung2005] H. Jung, et. al "Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6)", IETF draft draft-jung-mipshop-fhmipv6-00.txt, octubre 2005 (expirado).
- [Karetsos2005] G. Karetsos y otros. "A Hierarchical Radio Resource Management Framework for Intergrating WLANs in Cellular Networking Environments". *IEEE Wireless Communications*. Diciembre 2005. pp. 11-17.
- [Kbar2005] G. Kbar y W. Mansoor. "Testing the Performance of Wireless LAN". *IEEE proceedings of 2005 Asia-Pacific Conference on Communications*. Octubre 2005, pp. 492-496.
- [Kempf2001] J. Kempf, y otros. "Requirements and Functional Architecture for an IP Host Alerting Protocol". IETF RFC 3154, agosto 2001.
- [Kempf20061] J. Kempf, y otros. "Problem Statement for IP Local Mobility". Internet Draft draft-ietf-netlmm-nohost-ps-00.txt (trabajo en progreso), IETF, febrero 2006.
- [Kempf20062] J. Kempf, y otros. "Requirements and Gap Analysis for IP Local Mobility". Internet Draft draft-ietf-netlmm-nohost-req-00.txt (trabajo en progreso), IETF, febrero 2006.
- [Koodli2009] R. Koodli, editor. "Mobile-IPv6 Fast Handovers", IETF Draft draft-ietf-misphop-rfc5268bis-01.txt (trabajo en progreso), IETF, marzo 2009.
- [Kupper2005] Axel Küpper. "Location-Based Services, Fundamentals and Operations". Editorial John Wiley& Sons. 2005.
- [Lee2003] J. Lee y otros. "Paging extension for Hierarchical Mobile IPv6: P-HMIPv6". *The 11th IEEE International Conference on Networks, ICON 2003*. Octubre 2003, pp. 245-248.
- [Liers2005] F. Liers y A. Mitschele-Thiel. "UMTS Data Capacity Improvements Employing Dynamic RRC Timeouts". *16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. IEEE PIMRC 2005*, septiembre 2005, pp. 2186-2190.
- [Lim2007] Yu-Xu Lim y H. Owen. "Secure Wireless Location Services". *IEEE Proceedings of SoutheastCon 2007*. Marzo 2007, pp. 135-140.
- [LMM] C. Williams, editor. "Localized Mobility Management Requirements". Internet Draft draft-ietf-mobileip-lmm-requirements-03.txt (trabajo expirado), IETF, Marzo 2003.
- [Martin2004] Israel Martin-Escalona y Francisco Barcelo. "Optimization of the cost of providing Location Services in Mobile Cellular Networks". *15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. IEEE PIMRC 2004*. Septiembre 2004.
- [MATLAB] D. Handelman y B. Littlefield. "The Student Edition of MATLAB®, The Language of Technical Computing. Version 5 User Guide". Ed. Prentice Hall, 1997.

- [McCann2004] Stephen McCann y Helena Flygare. "Hiperlan/2 Public Access Interworking with 3G Cellular Systems". *Wireless Networks 10. Kluwer Academic Publishers*, 2003. pp. 43-51.
- [MIPv4] C. Perkins, editor. "IP Mobility Support for IPv4". IETF RFC 3344. , agosto 2002.
- [MIPv6] D. B. Johnson, C. Perkins y J. Arkko. "Mobility Support in IPv6". IETF RFC 3775, junio 2004.
- [Montilla2002] Alberto Montilla Bravo y Marisol García Valls. "FIPA-based QoS Negotiator for Nomadic Agents". *Proceedings of MATA 2002: Mobile Agents for Telecommunication Applications*, vol. 2521, octubre 2002, pp. 216-225.
- [Montilla2002a] Alberto Montilla Bravo. "Arquitectura IP en la red UTRAN". *XI Jornadas Telecom I+D. Madrid*. Noviembre 2002.
- [Montilla2003] Alberto Montilla Bravo, José Ignacio Moreno, Ignacio Soto. "Mobile-IP RAN: arquitectura IP móvil en las redes de acceso 4G". *XII Jornadas Telecom I+D. Madrid*. Noviembre 2003.
- [Montilla2004] Alberto Montilla Bravo, José Ignacio Moreno, Ignacio Soto. "Advanced positioning and location based services in 4G mobile-IP radio access networks". *15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. IEEE PIMRC 2004*. Septiembre 2004.
- [Mugica2000] María Múgica Urquizu. "Simulación de tráfico y gestión de movilidad de usuarios en GSM/DCS-1800". Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid. 2000.
- [MWIF] Open Mobile Alliance (OMA). Documentos MWIF disponibles en www.openmobilealliance.org.
- [Narten1998] T. Narten y otros. "Neighbor discovery for IP Version 6 (IPv6)". IETF RFC 2461. Diciembre 1998.
- [Newman2004] Peter Newman. "In Search of the All-IP Mobile Network". *IEEE Radio Communications*. Diciembre 2004. pp S3-S8.
- [Olmos2007] J. Olmos y otros. "A Functional End-to-End QoS Architecture Enabling Radio and IP Transport Coordination". *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2007*, marzo 2007, pp. 4351-4356.
- [Perez-Romero2005] J. Pérez-Romero y otros. "Common Radio Resource Management: Functional Models and Implementation Requirements". *16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. IEEE PIMRC 2005*, septiembre 2005, pp. 2067-2071.
- [PMIPv6] S. Gundavelli (ed.), y otros. "Proxy Mobile IPv6". IETF RFC 5213. Agosto 2008.
- [Politis2004] Christos Politis, y otros. "Hybrid Multilayer Mobility Management with AAA Context Transfer Capabilities for All-IP Networks". *IEEE Wireless Communications*, pp 76-88, agosto 2004.
- [R3-002552] RAN WG3#16(00)2552. "Simulation Results for Iub UP Based Plane IP Protocol Stacks". *Contribución de Motorola al TSG-RAN Working Group 3 meeting #16*, Windsor, Inglaterra. Octubre 2000.
- [R3-011456] TSGR3#21(01)1456. "PPPMux on the IP UTRAN Protocol Stack". *Contribución de Motorola al TSG-RAN Working Group 3 meeting #21*, Busán, Korea. Mayo 2001.
- [Racz2007] A. Racz et al. "Handover Performance in 3GPP Long Term Evolution (LTE) Systems". *16th IEEE Mobile and Wireless Communications Summit 2007*, Julio 2007, pp. 1-5.

- [RFC2748] D. Durham, ed. "The COPS (Common Open Policy Service) Protocol". IETF RFC 2748. Enero 2000.
- [RFC2916] P. Falstrom. "E.164 Number and DNS". IETF RFC 2916. Septiembre 2000.
- [RFC3084] K. Chan y otros. "COPS usage for Policy Provisioning (COPS-PR)". IETF RFC 3084. Marzo 2001.
- [RFC3111] E. Guttman. "Service Location Protocol Modifications for IPv6". IETF RFC 3111. Mayo 2001.
- [RFC3436] A. Jungmaier y otros. "Transport Layer Security over Stream Control Transmission Protocol". IETF RFC 3436. Diciembre 2002.
- [RFC3588] P. Calhoun y otros. "Diameter Base Protocol". IETF RFC 3588. Septiembre 2003.
- [RFC4005] P. Calhoun y otros. "Diameter Network Access Server Application". IETF RFC 4005. Agosto 2005.
- [RFC4261] J. Walker y A. Kulkarni, editores. "Common Open Policy Server (COPS) over Transport Layer Security (TLS)". IETF RFC 4261. Diciembre 2005.
- [RFC4282] B. Aboba y otros. "The Network Access Identifier". IETF RFC 4282. Diciembre 2005.
- [RFC4291] R. Hinden y S. Deering. "IP Version 6 Addressing Architecture". IETF RFC 4291. Febrero 2006.
- [RFC4301] S. Kent y K. Seo. "Security Architecture for the Internet Protocol". IETF RFC 4301. Diciembre 2005.
- [RFC4306] C. Kaufman, editor. "Internet Key Exchange (IKEv2) Protocol". IETF RFC 4306. Diciembre 2005.
- [RFC4830] J. Kempf, editor. "Problem Statement for Network-Based Localized Mobility Management (NETLMM)". IETF RFC 4830. Abril 2007.
- [RFC4831] J. Kempf, editor. "Goals for Network-Based Localized Mobility Management (NETLMM)". IETF RFC 4831. Abril 2007.
- [RFC4832] C. Vogt y J. Kempf. "Security Threats for Network-Based Localized Mobility Management (NETLMM)". IETF RFC 4832. Abril 2007.
- [RFC4960] R. Stewart, editor. "Stream Control Transmission Protocol". IETF RFC 4960. Septiembre 2007.
- [RFC5269] J. Kempf y R. Koodli. "Distributing a Symmetric Fast Mobile IPv6 (FHMIPv6) Handover Key Using Secure Neighbor Discovery (SEND)". IETF RFC 5269. Junio 2008.
- [RFC5271] H. Yokota y G. Dommety. "Mobile IPv6 Fast Handover for 3G CDMA Networks". IETF RFC 5271, junio 2008.
- [Sachs2004] J. Sachs y otros. "Integration of Multi-Radio Access in a Beyond 3G Network". *15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004*, septiembre 2004.
- [Sagfors2004] M. Sagfors y J. Peisa. "Transmission Offset Adaptation in UTRAN". Vehicular Technology Conference 2004. vol. 7, pp.5240-5244, septiembre 2004.
- [SDL] Telelogic AB. "Introduction to SDL". 2001
- [Schiff1999] Joel L. Schiff. "The Laplace Transform, Theory and Applications". Editorial Springer-Verlag, New York. 1999.

- [Shah2004] R. Shah y M. Chatterjee. "A hierarchical architecture to integrate GSM and Mobile IP". *Proceedings IEEE WCNC 2004*, pp. 138-143.
- [Shin2008] D. Shin y S. Min. "Fast Handover Solution using Multi-tunnel in HMIPv6 (FM-HMIPv6)". *Proceedings of the 2008 Second International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2008, pp. 833-838.
- [Siebert2003] M. Siebert y otros. "Towards an ANWIRE B3G Wireless System Integration Architecture – ANWIRE Task Force 1.5: System Integration". *Wireless, Mobile and Always Best Connected 1st International ANWIRE Workshop*. 22 abril 2003.
- [Skehill2007] R. Skehill y otros. "The Common RRM Approach to Admission Control for Converged Heterogeneous Wireless Networks". *IEEE Wireless Communications*, abril 2007. pp. 48-56.
- [SLPv2] E. Guttman y otros. "Service Location Protocol, version 2". IETF RFC 2608, Junio 1999.
- [SR005-B] 3GPP2 S.R0005-B. "Network Reference Model for cdma2000 Spread Spectrum Systems". Abril 2001.
- [SR0037-0] 3GPP2 S.R0037-0. "IP Network Architecture Model for cdma2000 Spread Spectrum Systems". Mayo 2002.
- [SR0079A] 3GPP2 S.R0079-A. "Support for End-to-End QoS", version 1.0. Junio 2006.
- [Thongthan2003] Saowanee Thongthammachart y Henning Olesen. "Mobile location services over the next generation IP core network". *IEEE 10th international Conference on Telecommunications*. Volume 1. ICT 2003. Febrero 23 – Marzo 1, 2003. pp. 324-329.
- [TR23882] 3GPP TR 23.882 v 8.0.0 "3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions (Release 8)". Septiembre 2008.
- [TR25813] 3GPP TR 25.813 v 7.0.0. "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Radio interface protocol aspects – Release 7". Junio 2006.
- [TR25850] 3GPP TR 25.850 v 4.3.0. "UE positioning in UTRAN lub/lur protocol aspects (Release 4)". Diciembre 2001.
- [TR25881] 3GPP TR 25.881 v 5.0.0. "Improvement of Radio Resource Management (RRM) across RNS and RNS/BSS – Release 5". Enero 2002.
- [TR25891] 3GPP TR 25.891 v 0.3.0. "Improvement of RRM across RNS and RNS/BSS (Post Rel-5)". Trabajo abandonado. Febrero 2003.
- [TR25912] 3GPP TR 25.912 v 7.0.0 "Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) – Release 7". Junio 2006.
- [TR25913] 3GPP TR 25.913 v 8.0.0 "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) – Release 8". Diciembre 2008.
- [TR25931] 3GPP TR 25.931 v 7.1.0 "UTRAN functions, examples of signalling procedures – Release 7". Junio 2006.
- [TR25933] 3GPP TR 25.933 v 5.4.0 "IP Transport in UTRAN - Release5". Diciembre 2003.
- [TR33821] 3GPP TR 25.821 v 8.0.0. "Rationale and track of security decisions in Long Term Evolved (LTE) RAN / 3GPP System Architecture Evolution (SAE) (Release 8)". Marzo 2009.
- [TS101] LIF TS 101. "Location Interoperability Forum (LIF) Mobile Location Protocol". Junio 2002.

- [TS23002] 3GPP TS 23.002. "Network Architecture (Release 5)". Enero 2002.
- [TS23060] 3GPP TS 23.060 "General Packet Radio Service (GPRS) Service description; Stage 2 – Release 5". Junio 2003.
- [TS23101] 3GPP TS 23.101. "General UMTS Architecture (Release 5)". Junio 2004.
- [TS23107] 3GPP TS 23.107. "Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 8)". Diciembre 2008.
- [TS23207] 3GPP TS 23.207. "End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 8)". Diciembre 2008.
- [TS24008] 3GPP TS 24.008 "Radio Interface Layer 3 specifications; Core Network protocols; stage 3 – Release 5. Junio 2003.
- [TS25305] 3GPP TS 25.305 "Stage 2 Functional specification of User Equipment (UE) positioning in UTRAN (Release 4)". Junio 2003.
- [TS25331] 3GPP TS 25.331 v7.0.0 "Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification – Release 7". Marzo 2003.
- [TS25401] 3GPP TS 25.401 v8.1.8 "UTRAN Overall Description (Release 8)". Septiembre 2008.
- [TS25402] 3GPP TS 25.402 v 7.6.0 "Synchronization in UTRAN Stage 2 (Release 7)". Septiembre 2008.
- [TS25413] 3GPP TS 25.413 "UTRAN Iu Interface RANAP Signalling (Release 1999)". Septiembre 2001.
- [TS25427] 3GPP TS 25.427 v8.0.0 "UTRAN Iub/Iur interface user plan protocol for DCH data streams (Release 8)". Marzo 2008.
- [TS25435] 3GPP TS 25.435 v8.0.0 "UTRAN Iub Interface User Plan Protocols for Common Transport Channel data streams (Release 8)". Septiembre 2008.
- [TS29213] 3GPP TS 29.213 v8.3.0 "Policy and Charging Control signalling flows and QoS parameter mapping; (Release 8)". Marzo 2009.
- [TS33102] 3GPP TS 33.102 v8.2.0 "Security Architecture (Release 8)". Marzo 2009.
- [TS33210] 3GPP TS 33.210 v8.2.0 "Network Domain Security; IP network layer security (Release 8)". Diciembre 2008.
- [TS33401] 3GPP TS 33.401 v8.3.1 "3GPP System Architecture Evolution (SAE); Security architecture (Release 8)". Marzo 2009.
- [TS33402] 3GPP TS 33.402 v8.3.1 "Security aspects of non-3GPP accesses; (Release 8)". Marzo 2009.
- [TS43059] 3GPP TS 43.059 "Functional stage 2 description of Location Services (LCS) in GERAN (Release 5)". Abril 2002.
- [TS44031] 3GPP TS 44.031 v 5.6.0 "Mobile Station (MS) – Serving Mobile Location Centre (SMLC) Radio Resource LCS Protocol (RRLP) (Release 5)". Septiembre 2003.
- [TS45010] 3GPP TS 45.010 v4.5.0 "Radio Access Network; Radio subsystem synchronization (Release 4)". Agosto 2003.
- [TS49031] 3GPP TS 49.031 v 5.3.0 "Base Station System Application Part LCS Extension (BSSAP-LE) (Release 5)". Julio 2002.
- [VanNguyen2007] H. Van Nguyen et al. "A Modification for Fast Handover in Hierarchical Mobile IPv6", *The 9th International Conference on Advanced Communications Technologies (ICACT2007)*. Febrero 2007, pp.815-818

- [Wang2002] S.S. Wang, Marilyn Green y Maged Malkawi. "Mobile Positioning Technologies and Location Services". IEEE Radio and Wireless Conference 2002 (RAWCON 2002). Agosto 2002. pp. 9-12.
- [Wang2004] J. Wang, y otros. "Broadcast and Multicast Services in cdma2000". *IEEE Communications Magazine*, Febrero 2004. pp. 76-82.
- [Wei2007] S. Wei y otros. "An Improved DAD Check Scheme MLD-Based in FHMIIPv6". *International Conference on Computational Intelligence and Security 2007*. pp. 754-758.
- [WineGlassD16] E. Scarrone. "WINE GLASS D016, Final Project Report". *IST-1999-10699*. Febrero 2002.
- [Wisely2002] D. Wisely y E. Mitjana. "Paving the Road to Systems Beyond 3G – The IST BRAIN and MIND Projects". *13th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. PIMRC 2002*. Septiembre 2002.
- [Won2002] Y. Won Chung y otros. "Steady state analysis of P-MIP mobility management". *IEEE Communications Letter*, Volumen 7, número 6, Junio 2003. pp. 278-280.
- [Won2003] Y. Won Chung y otros. "Steady state analysis of user equipment state transitions for Universal Mobile Telecommunication Systems". *13th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. PIMRC 2002*. Volumen 5, Septiembre 2002. pp. 2034 – 2038.
- [Wu2007] L. Wu y K. Sandrasegaran. "A Survey on Common Radio Resource Management". The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, AusWireless 2007, agosto 2007, pp. 66-71.
- [XS0011-1] 3GPP2 X.S0011-001-D. "cdma2000 Wireless IP Network Standard: Introduction", version 2.0. Noviembre 2008.
- [XS0011-3] 3GPP2 X.S0011-003-D. "cdma2000 Wireless IP Network Standard: Data Mobility and Resource Management", version 2.0. Noviembre 2008.
- [XS0047-0] 3GPP2 X.S0047-0. "Mobile IPv6 Enhancements", version 1.0. Febrero 2009.
- [XS0054] 3GPP2 X.S0054-210-0. "CMIP based Inter-AGW Handoff", version 1.0. Diciembre 2007.
- [XS0054-3] 3GPP2 X.S0054-300-0. "QoS Support for Converged Access Network Specification", version 1.0. Diciembre 2007.
- [Yabusaki2005] M. Yabusaki, T. Okagawa y K. Imai. "Mobility Management in All-IP Mobile Network: End-to-End Intelligence or Network Intelligence?". *IEEE Communications Magazine*, Diciembre 2005. pp. S16-S24.
- [Yates2005] R. D. Yates y D. Goodman. "Probability and Stochastic Processes". Editorial John Wiley and Sons. 2005.
- [Yokota2008] H. Yokota y otros. "Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6", *IETF draft draft-ietf-mipshop-pfmipv6-01.txt*. Diciembre 19, 2008.
- [Zeadally2004] S. Zeadally y otros. "SIP and Mobile IP Integration to Support Seamless Mobility". *15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004*. Septiembre 2004. pp 1927-1931 Volumen 3.
- [ZeroConf] Zero Configuration Networking. <http://www.zeroconf.org/>