



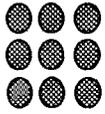
Biblioteca Rector Gabriel Ferraté
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

14003709A4

•T 00/14



UPC

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
DE TELECOMUNICACIÓ

**Contribución a la caracterización de los mecanismos de
acceso y traspaso en sistemas móviles celulares basados en
transmisión de paquetes**

Tesis Doctoral presentada en la
Universitat Politècnica de Catalunya
para la obtención del título de
Doctor Ingeniero de Telecomunicación
Autor: **Ramon Ferrús Ferré**
Director: **Dra. Pilar Díaz Romero**

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5. ARQUITECTURA DE RED BASADA EN TRANSMISIÓN DE PAQUETES

5.1. Introducción

La evolución de los actuales sistemas celulares hacia la provisión de acceso en modo paquete va a jugar un papel decisivo en la progresiva implantación del sistema UMTS/IMT-2000. Desde la perspectiva del acceso radio, la adopción de esquemas de transmisión más eficientes (EDGE) y mecanismos de transmisión en modo paquete (GPRS) van a permitir una progresiva adaptación de los principales sistemas de segunda generación, basados en TDMA (GSM y IS-136), hacia los requisitos y prestaciones previstos para la tercera generación. Paralelamente a la evolución de dichos esquemas, puede llevarse a cabo la incorporación de redes de acceso basadas en las nuevas propuestas adoptadas en UMTS/IMT-2000 (WCDMA, TD-CDMA). Bajo una perspectiva de red, existe un importante consenso en el planteamiento de una arquitectura de red construida a partir de las redes existentes (GSM y IS-136/IS-95) con la progresiva incorporación de nuevos elementos y procedimientos basados exclusivamente en transmisión en modo paquete, y probablemente con tecnología IP.

En este capítulo vamos a tratar el planteamiento de una posible arquitectura global para la prestación de servicios basados en la transmisión de paquetes dentro del concepto UMTS/IMT-2000. Para ello, analizaremos el esquema GPRS y la propuesta europea UTRAN para identificar los diferentes elementos necesarios, sus funcionalidades y los planos de transporte considerados para la transferencia de información de usuario y de señalización.

El objetivo del presente capítulo es presentar el marco de referencia necesario para justificar la elección del modelo estudiado en el capítulo 7, donde se analizan las prestaciones de un esquema de traspaso basado en mecanismos de re-selección de celda, en una arquitectura de red diseñada para la transmisión en modo paquete.

5.2. Integración de tráfico de paquetes y circuitos.

El porcentaje de tráfico de datos respecto a los servicios basados en conmutación de circuitos va a aumentar progresivamente en las redes de telecomunicación. No obstante, hasta que los mecanismos basados en transmisión en modo paquete puedan soportar eficientemente servicios de tiempo real como la telefonía, resulta necesario la coexistencia de ambas tecnologías. El desarrollo de GPRS para

servicios de paquetes conlleva la implantación de una red de transporte específica a tal efecto, además de la infraestructura PCM¹ necesaria en la red GSM. Desde el punto de vista del operador, si ambas infraestructuras se gestionan independientemente, esta situación puede repercutir en un aumento en los costes de mantenimiento, y puede hacer necesaria una planificación y adaptación de los recursos dedicados a la red de datos y a la de circuitos, conforme los porcentajes de tráfico de ambos vayan evolucionando.

Por ello, un aspecto fundamental en el diseño de UMTS es la integración de todos los servicios ofrecidos bajo una misma plataforma de transporte que pueda soportar, simultáneamente, servicios de datos con requerimientos de retardo más flexibles y servicios en tiempo real. En la Figura 5-1 se representa esquemáticamente el concepto de utilizar una única plataforma de transporte para los diferentes tipos de servicios. Otras ventajas derivadas de dicha plataforma común serían:

- La facilidad de migración de servicios hacia los mecanismos basados en paquetes conforme la eficiencia y prestaciones de éstos vayan mejorando.
- La coordinación de los diferentes servicios, teniendo entre sus principales objetivos la necesidad de una arquitectura única para el transporte de señalización común.

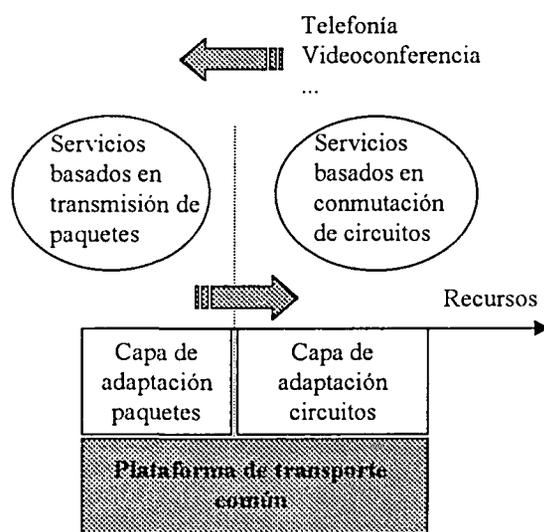


Figura 5-1. Plataforma común de transporte para integrar servicios basados en transmisión de paquetes y en conmutación de circuitos.

¹ PCM (Pulse Code Modulation) es una técnica de codificación de voz a 64kbts/s. En muchos casos y abusando del lenguaje, dicha acepción se utiliza para referirse a las redes de conmutación de circuitos basadas en dicha tecnología.

Las flechas en la Figura 5-1 representan la posibilidad de incrementar los recursos destinados a la transmisión en modo paquete conforme dicha tecnología vaya soportando nuevos servicios.

En la sección 5.5 se describen dos opciones, basadas en tecnologías ATM y IP, para la implementación de la plataforma común de transporte y se justifica la adopción de una posible arquitectura troncal UMTS basada en IP.

5.3. Funcionalidades radio dependientes y radio independientes. Concepto de red de acceso.

Otro concepto importante dentro del planteamiento del sistema de tercera generación, es la separación entre las funciones dependientes de la interfaz radio utilizada, de las funciones genéricas que son independientes del acceso radio. De esta forma resulta posible armonizar diferentes esquemas de acceso bajo una misma red troncal, sin necesidad de modificar los protocolos e interfaces de los nodos operantes en dicha red.

Dentro del sistema GPRS/GSM [GSM 03.60], la división entre funciones radio-dependientes y radio-independientes se plasma en la separación del segmento *Base Station Subsystem* (BSS) de los nodos denominados GSN (*GPRS Support Node*), mediante los cuales se lleva a cabo la interconexión con la red de datos externa, por ejemplo con una red IP (véase Figura 5-2). La gestión de movilidad y de conexión para el encaminamiento y transferencia de la información se ubica en los nodos GSN, mientras que el segmento BSS proporciona el punto de acceso a los diferentes terminales móviles en función de un identificador de nivel enlace y un identificador de la celda activa.

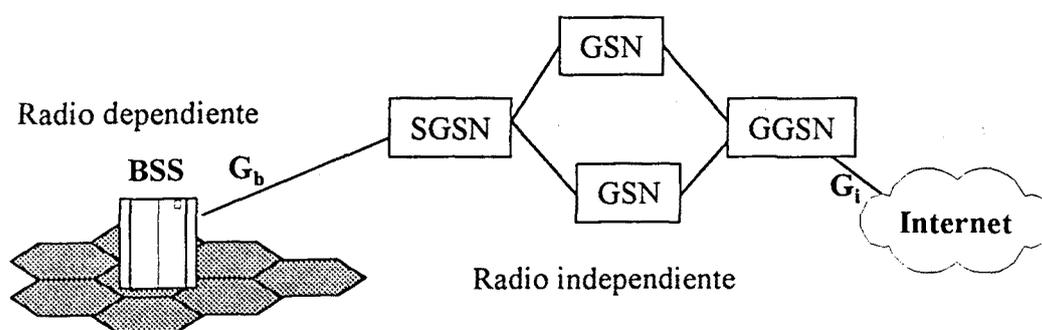


Figura 5-2. Arquitectura básica del sistema GPRS/GSM.

En la arquitectura propuesta en [UTRAN] para UMTS, la separación entre las funciones dependientes de la interfaz radio de las no dependientes, queda claramente manifiesta mediante la identificación de las capas denominadas *Access Stratum* y *Non-Access Stratum*. En la Figura 5-3 se observa la distribución de ambas capas entre el equipo terminal (UE), la red de acceso (RAN) y la red troncal

(CN). La finalidad básica de la capa *Access Stratum* es la provisión de servicios equiparables a los de una capa de enlace a las capas superiores mediante determinados SAPs (*Service Access Point*). De esta forma, las entidades de nivel superior (gestión de movilidad, gestión de la conexión, etc.) pueden utilizar los servicios de la red de acceso independientemente de la tecnología utilizada en ésta. Otro aspecto relevante a destacar en la arquitectura propuesta para UMTS es la independencia de los mecanismos ubicados en la capa *Non-Access Stratum* de la propia red de acceso. Así pues, dentro de RAN se concentran única y fundamentalmente las funciones de gestión y control de recursos radio (RRM), difusión de información de control común y *paging*, aspectos de cifrado y gestión completa del mecanismo de traspaso entre celdas pertenecientes a dicha red de acceso. En cambio, la gestión permanente de la movilidad, la gestión de las conexiones a los diferentes servicios accesibles desde la red troncal, así como la provisión de servicios suplementarios, son funciones ubicadas en algún nodo de la red troncal. La red de acceso para IMT-2000/UMTS definida en ETSI recibe el nombre de UTRAN (UMTS *Terrestrial RAN*).

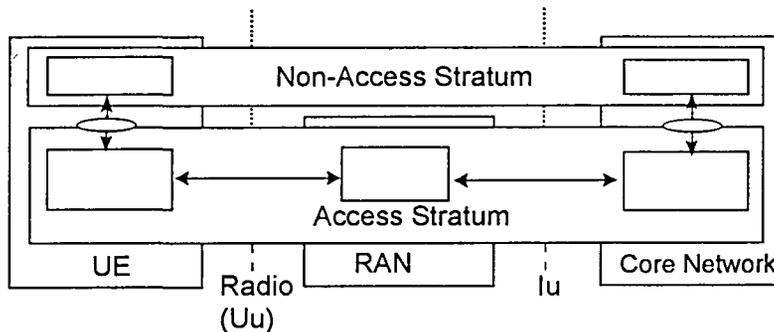


Figura 5-3. Arquitectura para UMTS propuesta por ETSI.

Análogamente, en GPRS la utilización del concepto de red de acceso de UMTS conduce a la identificación del segmento BSS como una posible red de acceso para el sistema de tercera generación. A continuación se enumeran las diferentes funcionalidades específicas para la red de acceso UTRAN descrita en [UTRAN]:

- ✓ Funciones para controlar el acceso al sistema
 - Difusión de parámetros de control
- ✓ Funciones relacionadas con la seguridad en la información
 - Cifrado de la información radio
- ✓ Funciones relacionadas con el traspaso
 - Monitorización del entorno radio.

- Decisión del traspaso.
 - Control del traspaso y mecanismos de macrodiversidad.
 - Ejecución del traspaso.
 - Finalización del traspaso.
 - Reubicación de SRNS.
 - Traspaso entre sistemas diferentes.
- ✓ Funciones relacionadas con la gestión y control de los recursos radio.
- Establecimiento y liberación de servicios portadores (*Radio Bearer Control*)
 - Reserva y liberación de recursos radio.
 - Asignación y desasignación de recursos radio.
 - Transferencia de paquetes de datos a través de la interfaz radio.
 - Determinación de la potencia de emisión y Control de potencia.
 - Control y realización de la Codificación de canal
 - Provisión de un mecanismo de acceso aleatorio.

Por tanto, el concepto de red de acceso permite el aislamiento de la tecnología utilizada en la interfaz radio de la gestión y utilización de los servicios portadores ofrecidos, conduciendo directamente a una visión de red global integrada por una plataforma de transporte común conectada a redes de acceso de diferentes tecnologías.

5.4. Evolución hacia UMTS

Para planificar la migración de los esquemas actuales hacia UMTS, así como la estandarización de las diferentes especificaciones, se han definido dos etapas para la implantación total de UMTS. En la primera fase de implantación de UMTS, planificada para principios del año 2001, la arquitectura prevista consiste básicamente en una red troncal evolucionada GSM/GPRS y accesos radio basados tanto en GSM BSS como en las redes de acceso UTRAN de tercera generación. La interconexión de UTRAN a la red GSM se realizaría mediante funciones de *interworking* con los nodos MSC y SGSN, para servicios en modo circuito y modo paquete respectivamente.

En una fase posterior (UMTS Phase 2), planificada para ser operacional en torno al año 2005, pasaría ya a utilizarse, conjuntamente con la red troncal GSM/GPRS, la red troncal de tercera generación (UMTS Core Network), de forma que las redes de acceso UTRAN estarían directamente conectadas a ella a través de las interfaces I_u sin necesidad de mecanismos de *interworking*. No obstante, paralelamente a la implantación de la tecnología de tercera generación, la red GSM/GPRS también sigue su propia evolución hacia la arquitectura adoptada en la red troncal UMTS, de forma que la distinción entre las diferentes fases de implantación de UMTS puede resultar bastante difusa. Un aspecto importante dentro de la evolución de GPRS es la integración de las funcionalidades de los nodos SGSN y GGSN en un único elemento denominado IGSN (Integrated GSN).

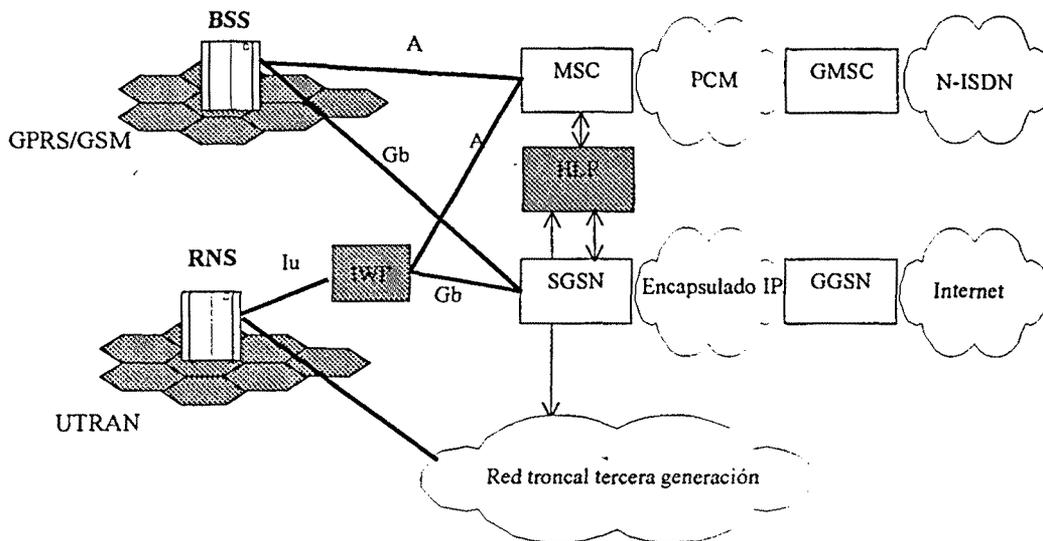


Figura 5-4. Arquitectura prevista para UMTS Phase 2.

Finalmente, los nodos MSC y IGSN podrían ser substituidos por sus equivalentes dentro de la tercera generación. Los nuevos nodos estarían directamente conectados a la red de acceso UTRAN mediante la interfaz I_u . Además, otra posibilidad respecto a los nodos MSC y IGSN, sería su integración en un único elemento de red para la provisión de servicios basados tanto en modo circuito como en modo paquete.

De forma similar, en [Ensuque99] se plantea un posible escenario de evolución desde el sistema GPRS a una plataforma UMTS/IP haciendo referencia a aspectos importantes como la incorporación de QoS, VoIP y servicios suplementarios y de valor añadido en GPRS con tecnología IP. Concretamente, las etapas mencionadas tienen en cuenta:

1. Incorporación de mayor flexibilidad en GPRS. Implementación de las diferentes interfaces definidas en GPRS para extender la información de movilidad de GSM hacia GPRS. Interacción de CAMEL con GPRS para permitir la introducción de servicios de valor añadido a través del acceso en modo paquete.
2. Provisión de servicios en tiempo real. Desarrollo e implantación de los mecanismos definidos en GPRS para garantizar calidad de servicio. Para ello deberían tenerse en cuenta aspectos como la utilización de estrategias QoS del tipo *Interserv* y *DiffSer* definidas en IETF.
3. Interworking con la red PTSN, soporte de mecanismos de call (session) control. La evolución del sistema GPRS debe adoptar los diferentes avances conseguidos para VoIP (voz sobre IP). Actualmente existen dos entornos de desarrollo básico de VoIP, uno bajo ITU (denominado H.323) y otro bajo IETF. Particularmente, el modelo H.323 está diseñado para soportar aplicaciones multimedia en redes IP sin QoS.
4. Soporte de servicios suplementarios entre redes diferentes (concepto VHE). De forma similar a la provisión de servicios suplementarios en las redes de telefonía, resulta necesaria la introducción de los mismos dentro del entorno IP de GPRS.
5. Integración dentro del entorno global de movilidad IP. Integración de las funcionalidades de los nodos SGSN y GGSN en un único nodo denominado *Integrated GSN* con capacidad de gestión de movilidad IP. No obstante, la gestión de movilidad basada en el sistema de señalización número 7 del CCITT (SS7) podría mantenerse de forma paralela para permitir la compatibilidad con equipos de segunda generación.

5.5. Arquitectura global UMTS/IP

En un primer momento, la opción que se presentó como clara candidata a constituir la base de dicha plataforma de transporte fue ATM. Entre las principales razones esgrimidas se encontraban:

- La característica primordial de ATM es la multiplexación de diferentes clases de servicios con QoS dispares sobre un mismo enlace. ATM proporciona un mecanismo de transporte con alto grado de flexibilidad.
- La tecnología ATM empezaba a introducirse en las redes WAN y LAN.
- La tecnología IP no estaba lo suficientemente desarrollada para pensar en su implantación como red troncal para la provisión de servicios en tiempo real.

En la Figura 5-5 se representa una posible configuración de red troncal UMTS basada en ATM [Rainbow98a]. El tráfico IP se gestiona mediante la incorporación de enrutadores en los nodos MSC de la red troncal y en los nodos RNC dentro de la red de acceso. Para dicho tráfico, la capa ATM podría utilizarse únicamente para proporcionar un enlace punto a punto entre los diferentes enrutadores de la red. De esta forma resultaría viable la introducción de los progresivos avances en gestión de movilidad y calidad de servicio a nivel de IP sin repercutir en la tecnología de transporte.

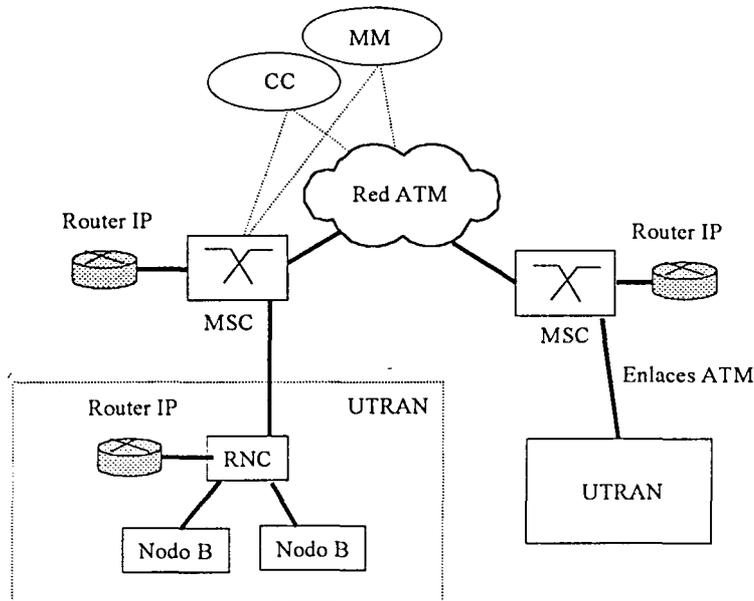


Figura 5-5. Posible arquitectura basada en ATM para la implementación de la red troncal UMTS

En cambio, el rápido desarrollo actual de la tecnología IP y la implantación del sistema GPRS están haciendo que la opción de una red troncal exclusivamente basada en IP pase a presentarse como mejor alternativa a la solución basada en ATM. No obstante, dentro de la red de acceso propuesta para UMTS, ATM sigue considerándose como mecanismo de transporte.

Considerando el concepto de red de acceso, y teniendo en cuenta la hegemonía actual de la tecnología IP para la provisión de servicios multimedia, así como sus avances hacia la incorporación de aplicaciones en tiempo real, en [Ensuque99] se presenta una posible arquitectura global para integrar diferentes sistemas de acceso (GSM/GPRS, UTRAN) bajo una única plataforma troncal, denominada UMTS Core Network, con tecnología IP como mecanismo de transporte. Las redes de acceso GPRS y UTRAN estarían conectadas a la red troncal a través de los nodos IGSN. Accesibles a través de la misma red IP troncal podrían encontrarse los nodos encargados de los aspectos de movilidad global y gestión de red, así como los proveedores de servicio y contenidos. El acceso a los servicios también sería posible mediante la utilización de sistemas de banda ancha como el esquema BRAN (*Broadband Radio Access Network*) desarrollado en ETSI y diferentes sistemas *Wireless LAN*. La arquitectura

descrita se encuentra representada en la Figura 5-6. Tal como se ha comentado en la sección dedicada a la evolución hacia UMTS, paralelamente a la plataforma troncal IP podrían co-existir las redes de circuitos con señalización SS7 y los diferentes nodos encargados de su gestión.

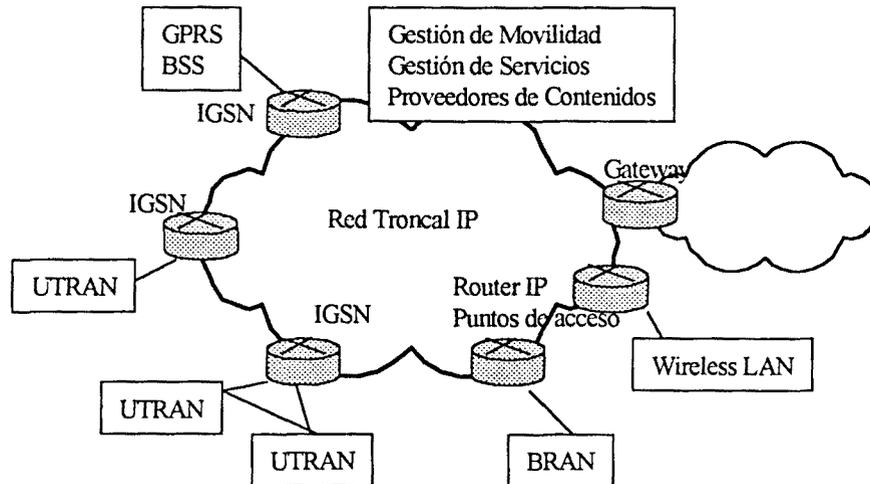


Figura 5-6. Posible escenario para la integración de IP y UMTS.

Estrictamente, los nodos IGSN para UTRAN y para GPRS serían diferentes en cuanto a funciones e interfaces con sus respectivas redes de acceso, pero desde ambos se proporcionaría movilidad local y gestión de la transferencia y encaminamiento de la información.

5.6. Terminación de la capa IP en UMTS

En [Rainbow99a] se plantean cuatro escenarios posibles para analizar la evolución hacia una red troncal UMTS basada en tecnología IP:

- Escenario 1: IP termina en el nodo GGSN.
- Escenario 2: IP termina en el nodo IGSN.
- Escenario 3: IP termina en el RNC de UTRAN.
- Escenario 4: IP llega hasta las estaciones de base.

En la Figura 5-7 se representan los cuatro puntos posibles para la terminación de la capa IP. El primer escenario corresponde a la solución planteada para GPRS donde la interconexión con la red externa IP se realiza mediante el nodo GGSN. El segundo escenario contempla la integración de las funcionalidades de los nodos SGSN y GGSN en un único nodo denominado IGSN. De esta forma se evita la utilización del encapsulado para transportar información de usuario entre nodos GSN. Ambos

escenarios se corresponden a una primera fase de implantación de UMTS (véase sección 5.4). En el tercer escenario IP llega hasta el controlador RNC de forma que los enlaces entre la red troncal y UTRAN podrían estar basados directamente en tecnología IP. Finalmente el cuarto escenario es una posible aplicación del concepto BLAN (BTS Local Area Network) descrito en [Rainbow98b] donde IP llega hasta los Nodos B. Esta última solución implica prescindir de mecanismos de macrodiversidad en el controlador RNC y por tanto está más orientada a su utilización junto con la capa física TD-CDMA. La idea básica consiste en agrupar un cierto número de estaciones de base como si se tratara de una red local y dirigir el tráfico IP de forma *multicast* a todas las celdas donde de efectuará el correspondiente filtrado en función de unas tablas diseñadas para gestionar la movilidad local.

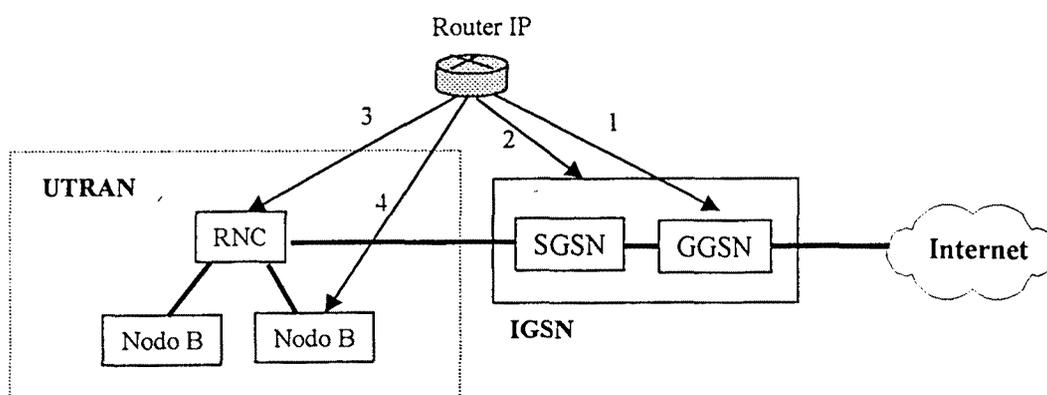


Figura 5-7. Posibles puntos para la terminación de la capa IP en UMTS/IP

5.7. Arquitectura y mecanismos de transmisión en UTRAN

5.7.1. Descripción del modelo de referencia e interfaces de UTRAN.

La red de acceso propuesta por ETSI para el sistema UMTS/IMT-2000 se denomina UMTS *Terrestrial* RAN (UTRAN) y está formada por un conjunto de RNSs (Radio Network Subsystems) conectados a una red troncal CN (Core Network) a través de la interfaz denominada I_{ur} . Dentro de cada RNS existe un nodo RNC (Radio Network Controller) y una o varias entidades denominadas Node B conectadas al RNC mediante la interfaz I_{ub} . Cada RNS es responsable de los recursos de todas las celdas que lo componen pero se contempla la posibilidad de poder utilizar recursos radio de otros RNS mediante la interfaz I_{ur} . En dicha situación, al RNS que presta los recursos a una conexión en particular se le denomina DRNS (Drift RNS) mientras que al RNS necesario para gestionar cada conexión se conoce como SRNS (Serving RNS). En la Figura 5-8 podemos ver representada los diferentes nodos e interfaces de UTRAN.

Es importante destacar que las interfaces y funciones dentro de UTRAN y CN son independientes del mecanismo de transporte adoptado tanto dentro del segmento RNS como en la conexión con la red troncal. De esta forma, las diferentes interfaces pueden implementarse mediante conexiones directas o bien mediante la utilización de una red de transporte adecuada.

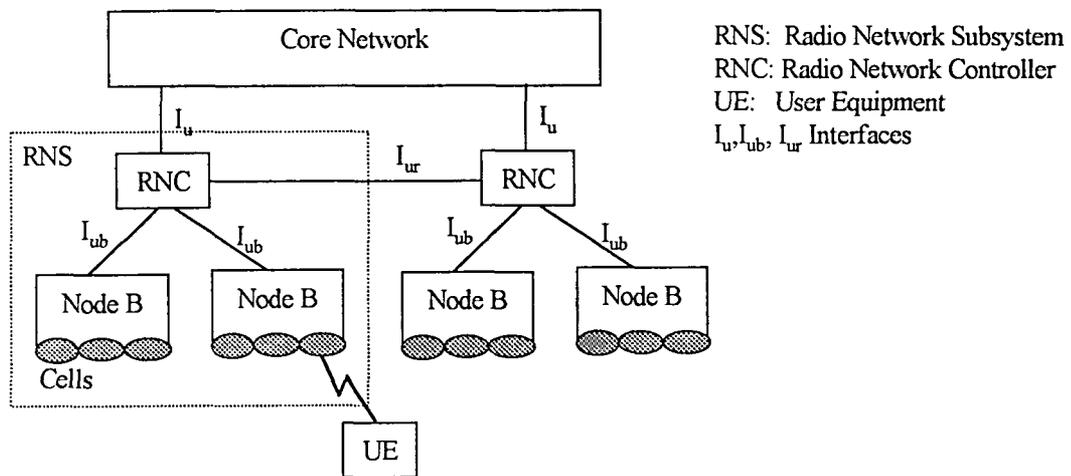


Figura 5-8. Arquitectura de UTRAN para la red de acceso de IMT-2000/UMTS

A continuación se describen brevemente las principales características de las interfaces definidas en UTRAN. La descripción de la capa física de la interfaz radio correspondiente al modo FDD, denominada WCDMA, se ha abordado en el Capítulo 3.

5.7.2. Arquitectura de la interfaz radio en UTRAN.

5.7.2.1. Canales de transporte y canales lógicos.

Para describir la interfaz entre la capa física y las capas superiores en UTRAN se utiliza el concepto de canales de transporte, (*transport channels*). Particularmente, un canal de transporte especifica cómo se transmite la información en la interfaz radio en función de aspectos tales como: la dirección de la transferencia (UL, DL o bidireccional), características del control de potencia, velocidad de transmisión, direccionamiento implícito o explícito y posibilidad de operación en *sleep mode*, entre otros. Los canales de transporte definidos se encuentran detallados en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Canales de transporte definidos en UTRAN.

Canales de transporte comunes (necesitan direccionamiento explícito cuando se requiere identificar a un equipo terminal)		
RACH	Random Access Channel	Canal de acceso con contención en el enlace ascendente. Control de potencia en lazo abierto. Proporciona un campo de datos de usuario. Común para toda la celda.
FACH	Forward Access Channel	Únicamente existe en el enlace descendente. Puede utilizarse un control de potencia lento. Posibilidad de utilizar beam-forming.
BCH	Broadcast Channel	Canal punto-multipunto difundido en el enlace descendente. Su difusión es necesaria en toda el área de cobertura de la celda. Velocidad de transmisión fija.
SCH	Synchronization Channel	Sólo para TDD. Canal punto-multipunto difundido en el enlace descendente. Se utiliza para permitir que los móviles se sincronicen en frecuencia, tiempo de chip y slot.
PCH	Paging Channel.	Únicamente existe en el enlace descendente. Mecanismos de sleep mode. Se transmite en toda el área de cobertura de una celda.
Canales de transporte dedicados (direccionamiento implícito)		
DCH	Dedicated Channel.	Definido para ambos enlaces. Permite utilizar control de potencia rápido y cambiar el formato de transporte cada 10 ms.

Cada canal de transporte tiene asociado un formato de transporte (TFI, Transport Format Indicator) para especificar los parámetros de codificación, entrelazado, velocidad de transmisión y mapeo sobre los canales físicos. Los canales de transporte se mapean físicamente en los canales DPDCH, DRACH, Primary CCPCH y Secondary CCPCH, vistos en el Capítulo 3. La información a transmitir se entrega a los canales de transporte estructurada en los denominados bloques de transporte (TB, Transport Blocks). Cada instante de transmisión (10/20/40/80 ms) puede enviarse varios TBs. El tamaño de los bloques TB es, en general, diferente para los diferentes canales de transporte, e incluso puede variar dinámicamente para un determinado canal de transporte. Para servicios de datos se considera un tamaño siempre fijo, con un valor igual a 300 bits [WCDMA].

Por otro lado, para definir la interfaz entre la capa MAC y las capas superiores se utiliza el concepto de canal lógico. Un canal lógico identifica el tipo de información a transmitir. Los canales lógicos se mapean en los canales de transporte ofrecidos por la capa física. A partir de la lectura de las recomendaciones, parece que no exista una nomenclatura bien definida para poder distinguir los

canales lógicos de los canales de transporte. Incluso en algunos textos se menciona la definición de canales de transporte pero únicamente se plantea la asociación entre canales lógicos y canales físicos [WCDMA]. En cambio, en [UTRAN] se especifica el mapeo entre canales de transporte y canales físicos pero se utilizan las mismas siglas para referirse a los canales lógicos y a los canales de transporte, exceptuando el término DCH, utilizado únicamente para identificar los canales de transporte dedicados. En aras a acotar dicha dispersión, la nomenclatura que hemos utilizado en la presente descripción obedece a la presentada en [Rainbow99a] y en [Traynard99]. De esta forma, las siglas utilizadas para referirse a los canales lógicos se encuentran relacionadas en la Tabla 5-2. En la Figura 5-9 se ilustra la relación existente entre canales físicos, canales de transporte y canales lógicos. La especificación de los canales lógicos en UTRAN sigue básicamente la recomendación ITU-R M.1035.

Tabla 5-2. Canales lógicos definidos en UTRAN.

Canales comunes de control		
BCCH	Broadcast Control Channel	Utilizado para difundir información del sistema en cada celda.
PCCH	Paging Control Channel	Mapeado directamente en el PCH. Se utiliza para enviar información de control a un terminal cuando se desconoce su ubicación a nivel de celda.
CCCH	Common Control Channel	Utilizado para enviar información de control y mensajes cortos. En el enlace ascendente se mapea en el RACH y en el descendente en el FACH. En el modo TDD también se incluye el SCCH, mapeado directamente en el SCH, para transmitir el sincronismo de multitrama de la estructura TDMA.
Canales dedicados		
DCCH	Dedicated Control Channel.	Se utiliza para transmitir información de control entre red y terminal. Siempre es bidireccional y realiza las funciones de los canales Stand-Alone Dedicated Control Channel (SDCCH) y Associated Control Channel (ACCH) definidos en ITU-R M.1035. Puede mapearse en un DCH, FACH o RACH.
DTCH	Dedicated Traffic Channel.	Utilizado para transportar información de usuario. Puede ser tanto bidireccional como unidireccional. Puede mapearse en un DCH, FACH o RACH.

En la propuesta [WPCDMA] se consideran una serie de canales lógicos adicionales específicos para modos de transmisión por paquetes. Concretamente se definen: *Downlink Shared Packet Channel*

(DSPCH) para el enlace descendente, *Common Packet Channel* (CPCH) para el enlace ascendente y sus respectivos canales de control en el sentido inverso. Ambos canales en modo paquete están pensados para la transmisión de tráfico multimedia y servicios de mensajes. Las velocidades de transmisión especificadas van desde 8 kbits/s hasta 2 Mbits/s. El canal CPCH utiliza un mecanismo DSMA/CD para gestionar el acceso.

5.7.2.2. Estructura de protocolos

La interfaz radio está formada por tres capas: capa física (L1), capa de enlace de datos (L2) y capa de red (L3). En la Figura 5-9 se encuentran representadas las tres capas y las diferentes subcapas en que se dividen.

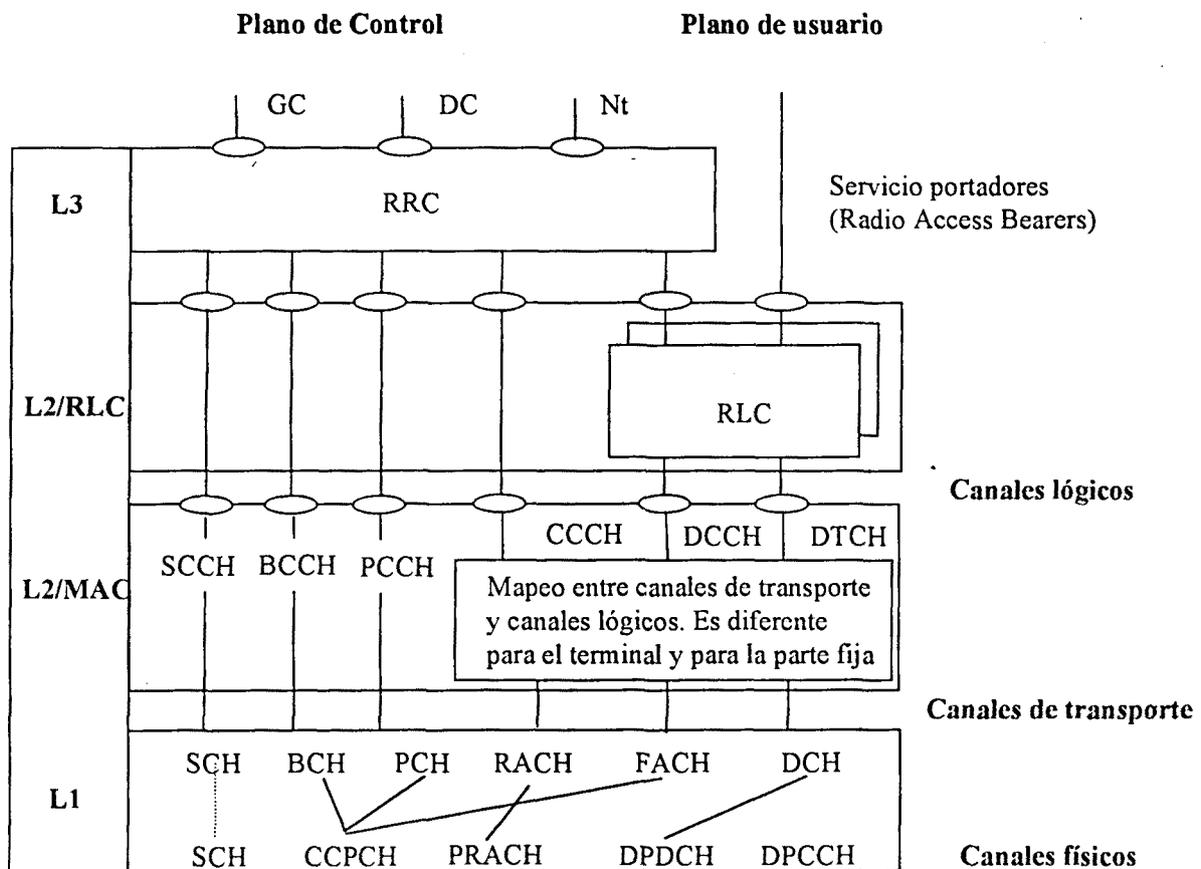


Figura 5-9. Arquitectura de protocolos en la interfaz radio

La capa L2 está compuesta por la capa MAC y la capa RLC. En la capa L3 se distingue entre el plano de control (C-plane) y el plano de usuario (U-plane). En el plano de control de la capa L3, únicamente la subcapa de gestión de recursos radio (RRC) se considera dentro del denominado *access stratum*, mientras que las subcapas de gestión de movilidad (MM) y Call Control (CC) se supone que pertenecen a la capa *non-access stratum*.

5.7.2.3. Puntos de terminación de los protocolos.

En función del tipo de canal de transporte existen diferentes opciones para situar los puntos de terminación de las diferentes capas definidas en la interfaz radio. Concretamente, para los canales de transporte DCH, FACH y RACH se consideran las siguientes propuestas:

- ✓ **Solución centralizada.** Los puntos de terminación de los canales de transporte se encuentran en el nodo RNC, tal como se esquematiza en la Figura 5-10. Mediante esta solución resulta posible la implementación de traspasos del tipo *soft* entre estaciones de base dependientes del mismo RNC. La extensión de la capa física implica la transmisión de los bloques de transporte TB entre el controlador RNC y las estaciones de base. Además, junto con los bloques TB, es necesaria la transmisión de información de calidad adicional para poder realizar una combinación por selección en el RNC, así como información de sincronismo, tal como se detalla en la descripción de la interfaz I_{ub} abordada en 5.7.4. La carga soportada en las interfaces I_{ub} aumentaría considerablemente respecto a la solución descentralizada detallada a continuación. En el capítulo 4 se exponen diferentes consideraciones derivadas de la adopción de esquemas de macrodiversidad en las redes de acceso radio.

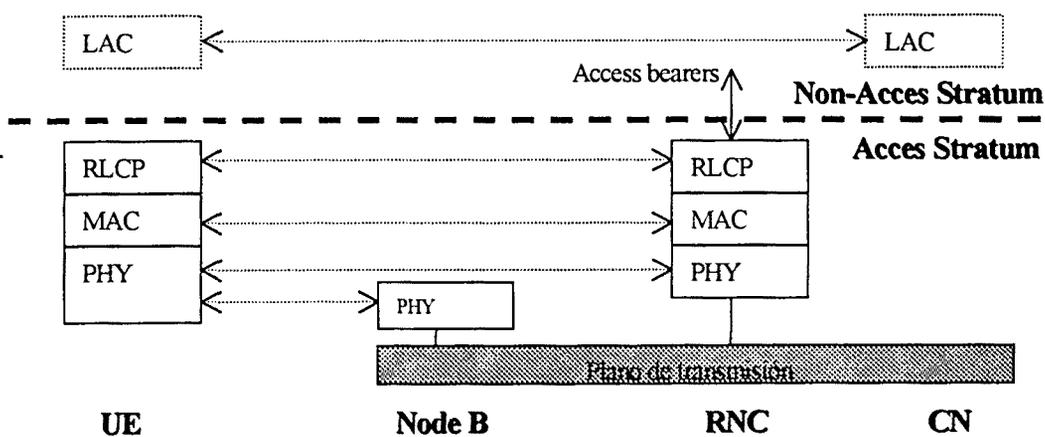


Figura 5-10. Estructura de protocolos con *soft handover* en el RNC.

- ✓ **Solución descentralizada.** Los puntos de terminación se ubican en los Nodos B tal como se muestra en la Figura 5-11. Esta opción resultaría menos compleja en cuanto al diseño de la interfaz entre nodos B y RNC a costa de no permitir macrodiversidad entre estaciones de base conectadas a diferentes nodos B. En cambio, el tiempo de respuesta de los mecanismos de acceso podría ser más rápido que en la solución centralizada.

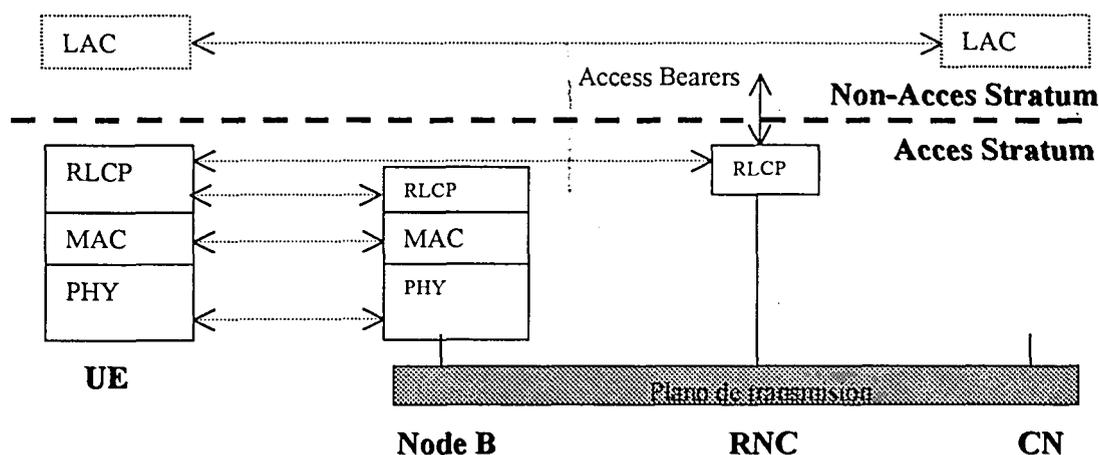


Figura 5-11. Estructura de protocolos con *hard handover* en el RNC

Para los canales de transporte BCH y PCH la solución más apropiada es la descentralizada por su existencia únicamente en el enlace descendente y por no requerir la utilización de macrodiversidad. No obstante, para los canales DCH, FACH y RACH podría pensarse en una estructura mixta que adecuara su funcionamiento a las características de los servicios soportados. De esta forma, servicios en tiempo real podrían beneficiarse de la utilización de macrodiversidad mientras que para servicios en modo paquete la solución descentralizada podría resultar más eficiente. Ambas alternativas serían aplicables a las dos tecnologías de capa física en consideración, siendo la primera opción preferible en W-CDMA y la segunda en TD-CDMA.

5.7.2.4. Servicios y funciones de la capas L1, MAC, RLC y RRC.

A continuación se detallan los servicios ofrecidos por las capas L1, MAC, RLC y RRC a sus respectivas capas superiores y las principales funcionales asociadas a cada una de ellas.

5.7.2.4.1 Capa física.

Los servicios ofrecidos por la capa física a la capa MAC se basan en la provisión de los anteriormente descritos canales de transporte. Entre las principales funcionalidades ubicadas en L1 se encuentran:

- codificación de canal,
- mecanismos para la ejecución de macrodiversidad y soft handover,
- multiplexación de canales de transporte en los canales físicos,
- modulación y procesado CDMA,

- sincronización de frecuencia y en tiempo,
- Procesado de radiofrecuencia.

5.7.2.4.2 Capa de control de acceso al medio (MAC)

La principal función de la capa MAC es el mapeo y multiplexación de los canales lógicos en los diferentes canales de transporte. Los servicios ofrecidos a las capas superiores son:

- Transferencia de MAC SDU (Service Data Unit) entre entidades remotas.
- Establecimiento y liberación de canales lógicos.
- Reasignación de recursos radio y parámetros MAC bajo petición de la capa RRC. En TDD, se contempla la posibilidad de gestionar la reasignación de forma autónoma en el MAC.
- Envío de medidas a la capa RRC.

Para ello, las siguientes funciones se implementan en el MAC:

- Multiplexación de tramas PDU en bloques de transporte y viceversa.
- Selección del formato de transporte dentro de un conjunto determinado para cada canal de transporte. De esta forma, podrían llevarse a cabo mecanismos de asignación dinámica de recursos en el mismo MAC
- Gestión de prioridades entre conexiones del mismo usuario en función de los atributos de los servicios portadores y del estado de las colas de transmisión.
- Identificación de un usuario en los canales comunes de transporte en caso necesario.
- Resolución de contención en el canal RACH.

5.7.2.4.3 Capa de enlace de datos radio (RLC)

La capa RLC puede proporcionar a las capas superiores un enlace de datos con confirmación o bien sin confirmación. En ambos casos se introducen bits de redundancia para la gestión del enlace. No obstante, existe la posibilidad de prescindir de los servicios de la capa RLC mediante el modo de operación denominado transparente. Entre las funcionalidades de la capa RLC se encuentran:

- Segmentación y reensamblaje de tramas L2 SDU en modo confirmado o sin confirmación.

- Transporte transparente de datos de L2 SDU.
- Mecanismos de retransmisión ARQ y mantenimiento del orden de la secuencia en modo confirmado.

5.7.2.4.4 Capa de control de recursos radio (RRC)

Los servicios proporcionados por la capa RRC a las capas superiores se agrupan en función de los siguientes aspectos:

- **Control General.** Provisión de un mecanismo de difusión de información a todas las terminales móviles situados en una determinada área geográfica.
- **Notificación.** Básicamente proporciona dos tipos de servicios: *paging* y notificación de información de forma *broadcast*. El servicio de paging permite enviar información a un terminal móvil en concreto que no se encuentre accesible mediante una conexión dedicada. La gestión de posibles retransmisiones corresponde a las capas superiores.
- **Control Dedicado.** Servicios para el establecimiento y liberación de conexiones y transferencia de mensajes a través de dichas conexiones. La transferencia de información debe contemplar aspectos como
 - ✓ Transmisión confirmada de mensajes
 - ✓ Mantenimiento de la secuencia de los mensajes.
 - ✓ Provisión de prioridades.

Para ello, entre las funciones básicas que deben incluir las entidades RRC se encuentran las siguientes:

- Establecimiento, reconfiguración y liberación de conexiones RRC entre UE y UTRAN.
- Establecimiento, reconfiguración y liberación de los servicios portadores del plano de usuario (*Radio Access Bearers*). En el momento del establecimiento, la capa RRC realiza funciones de control de admisión.
- Asignación y liberación de recursos radio a los servicios portadores de señalización y de información de los usuarios (*Signalling Radio Bearer* y *Radio Access Bearer*). Control de los parámetros QoS asignados a cada portador.

- Funciones de gestión de movilidad durante la existencia de una conexión RRC, incluyendo el traspaso, mecanismos de re-selección de celda y procedimientos de registro y actualización de celda.
- Gestión de recursos entre celdas. Esta función debe garantizar una optimización global de la capacidad de la red de acceso.
- Transferencia y control de medidas radio.
- Control de potencia (Outer loop power control)
- Radiodifusión de información de sistema.
- Paging/notificación iniciado en capas superiores o en la misma capa RRC.

5.7.3. Arquitectura de la interfaz I_u

La interfaz I_u enlaza la red de acceso UTRAN con la red troncal. La parte de señalización radio necesaria se denomina Radio Access Network Application Part (RANAP). RANAP permite la realización de los diferentes mecanismos y procedimientos definidos entre UTRAN y la red troncal. Concretamente, entre las funcionalidades asignadas al protocolo RANAP se encuentran [UTRAN]:

- Proporcionar acceso a los mecanismos de paging/notificación ofrecidos por UTRAN.
- Proporcionar puntos de acceso dedicados para cada terminal activo a fin de poder llevar a cabo procedimientos de señalización específicos, así como permitir el envío transparente de mensajes independientes de la red de acceso entre UE y CN.
- Establecimiento de los servicios portadores (Radio Access Bearers).

Una característica importante en el diseño de la interfaz I_u es la separación entre la capa de transporte y la capa específica radio. De esta forma, la definición de interfaz I_u puede desligarse de la tecnología de transporte entre los equipos RNC y los IGSN/MSC de la red troncal. En la Figura 5-12 se ilustra la separación entre ambas funcionalidades.

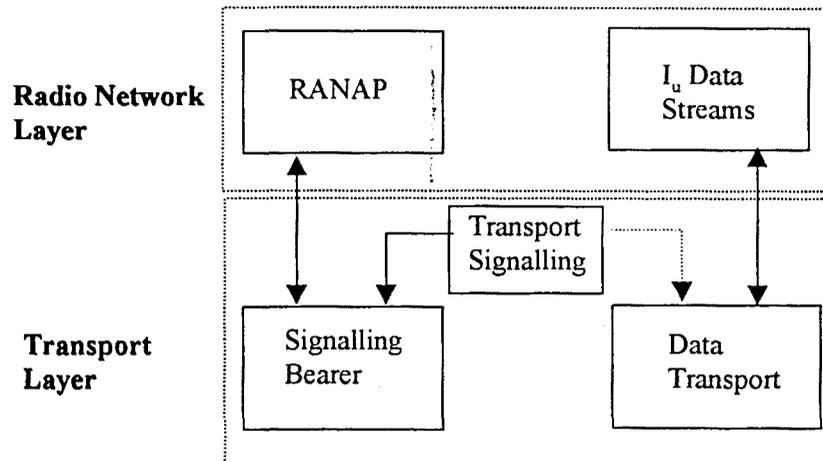


Figura 5-12. Separación de los protocolos radio y transporte en la interfaz I_u

5.7.4. Arquitectura de las interfaces I_{ur} y I_{ub} .

La interfaz I_{ub} se utiliza para la transferencia de la siguiente información:

- **Señalización radio.** El controlador RNC y los Nodos B dialogan sobre la gestión de los recursos radio. Un ejemplo consiste en la función de añadir/liberar recursos en una celda de un Nodo B para soportar un canal dedicado entre el terminal y su correspondiente controlador RNC.
- **Bloques de información radio.** La transmisión de los bloques de información radio debe ser ajena al mecanismo de transporte utilizado (enlaces preestablecidos, conexiones ATM, etc.).
- **Información de sincronismo y de calidad del enlace.** La información de sincronismo es importante en ambos enlaces, ascendente y descendente. Además, en el enlace ascendente, las tramas radio que llegan al combinador de macrodiversidad, deben contener información sobre su calidad para permitir su correcta combinación.

Los bloques de información radio y las estimaciones de calidad y sincronismo se multiplexan sobre el mismo mecanismo de transporte constituyendo lo que se denomina I_{ub} data stream. Entre el controlador RNC y un Nodo B pueden establecerse uno o más I_{ub} data streams, cada uno correspondiente a una o más celdas del Nodo B.

Análogamente a la estructura de la interfaz I_u , en la interfaz I_{ub} también se separa la capa dedicada al transporte y gestión del mismo (Transport Network Layer), de la capa utilizada para la gestión de recursos radio (Radio Network Layer), tal como se ilustra en la Figura 5-13. La interfaz entre controladores denominada I_{ur} tiene básicamente una estructura idéntica. Las únicas diferencias entre ambas interfaces son a nivel de funcionalidad en la gestión de los recursos radio.

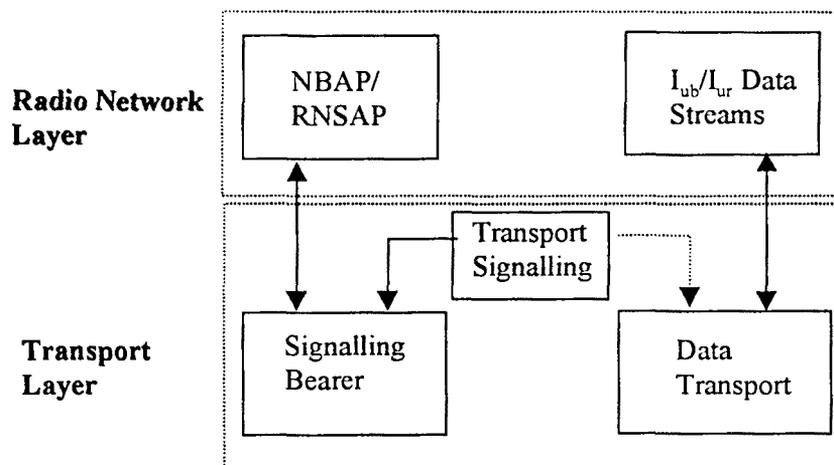


Figura 5-13. Estructura de las interfaces I_{ub} y I_{ur} .

El protocolo utilizado en el plano de control se denomina Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) en la interfaz I_{ur} [UTRAN] y Node B Application Part (NBAP) en la interfaz I_{ub} [ZZ.13].

5.7.5. Plano de transporte dentro de UTRAN

Tal como se refleja en la estructura de las interfaces comentadas anteriormente, uno de los requisitos observados en las recomendaciones es la independencia del plano de transporte de la gestión propia de recursos radio. De esta forma se pretende que posibles cambios en la capa de transporte tengan las menores repercusiones posibles en los protocolos de señalización radio.

ATM se apunta como la tecnología candidata a proporcionar los servicios de transporte en las interfaces internas I_u y I_{ur} . En la interfaz I_{ub} existe la alternativa de IP de cara a la integración con una posible red troncal basada en dicha tecnología.

Respecto a la implementación del servicio portador de los I_{ub}/I_{ur} .data streams, AAL2 [ITU-T I.362.2] se plantea como la única capa de adaptación necesaria. Dicha capa de adaptación se caracteriza por ofrecer la transmisión de paquetes cortos, de longitud variable y con tasas de transmisión reducidas. Además, la capa AAL2 permite la multiplexación de diferentes conexiones AAL2 sobre la misma conexión ATM. El formato de transmisión de los canales dedicados DCH sobre dicho servicio portador se denomina DCH Frame Protocol [S3.27]. El DCHFP se utiliza en los dos enlaces, ascendente y descendente, y tal como se ilustra en la Figura 5-14, permite extender el concepto de canal de transporte ofrecido por la capa física hasta nodos distantes.

La transferencia de información mediante el DCHFP se realiza en base a una resolución temporal de 10 ms. Además de los bloques de transporte (TB), el protocolo DCHFP incluye una serie de campos adicionales para transportar, entre otros, la siguiente información:

- Información de sincronismo a nivel de trama radio para posibilitar el uso de macrodiversidad.
- Indicación del formato de los bloques de transporte (TFI).
- Campo de control para ajustes del control de potencia externo en el enlace descendente o bien para ajustar el sincronismo en el enlace ascendente.

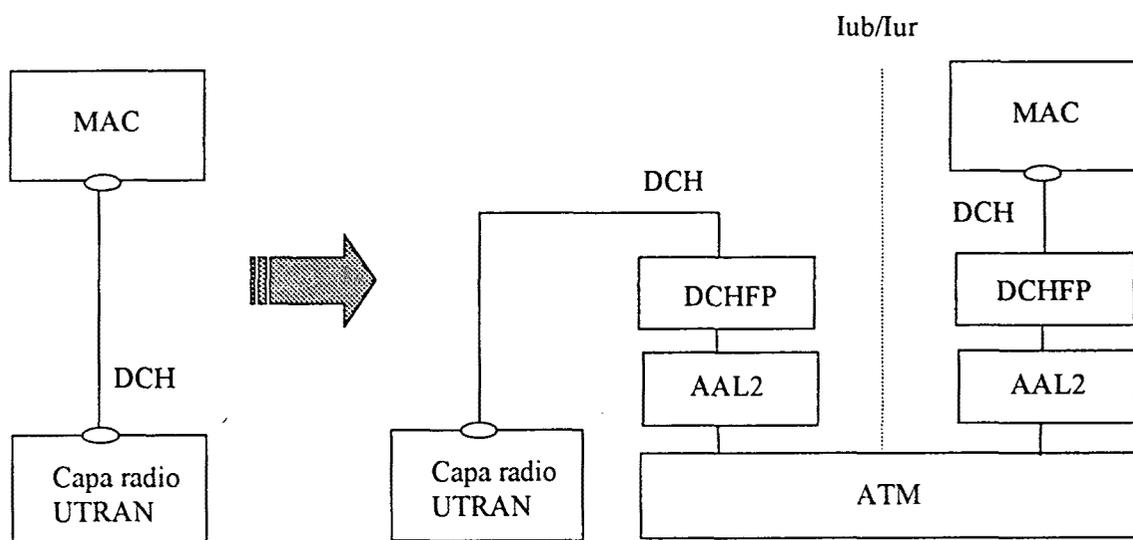


Figura 5-14. Extensión del punto de acceso al canal de transporte DCH ofrecido por la capa radio mediante el protocolo DCHFP sobre AAL2.

5.8. Arquitectura y mecanismos de transmisión en GPRS.

5.8.1. Descripción del modelo de referencia e interfaces del GPRS.

El sistema GPRS pretende proporcionar acceso en modo paquete no orientado a conexión aprovechando la infraestructura estaciones de base (BTS) y controladores (BSC) propios de GSM. La interfaz radio y el mecanismo de transmisión entre BTS y BSC será el utilizado actualmente para servicios de voz y datos en modo circuito. La gestión del acceso por paquetes se ubicará en unos nodos de red adicionales destinados a tal efecto denominados GSN (*GPRS Support Nodes*). La estructura lógica completa del sistema GPRS se encuentra representada en la Figura 5-15. Tal como se indica en GSM 03.60, dicha estructura lógica no presupone ninguna restricción en la distribución y ubicación física de las diferentes funciones.

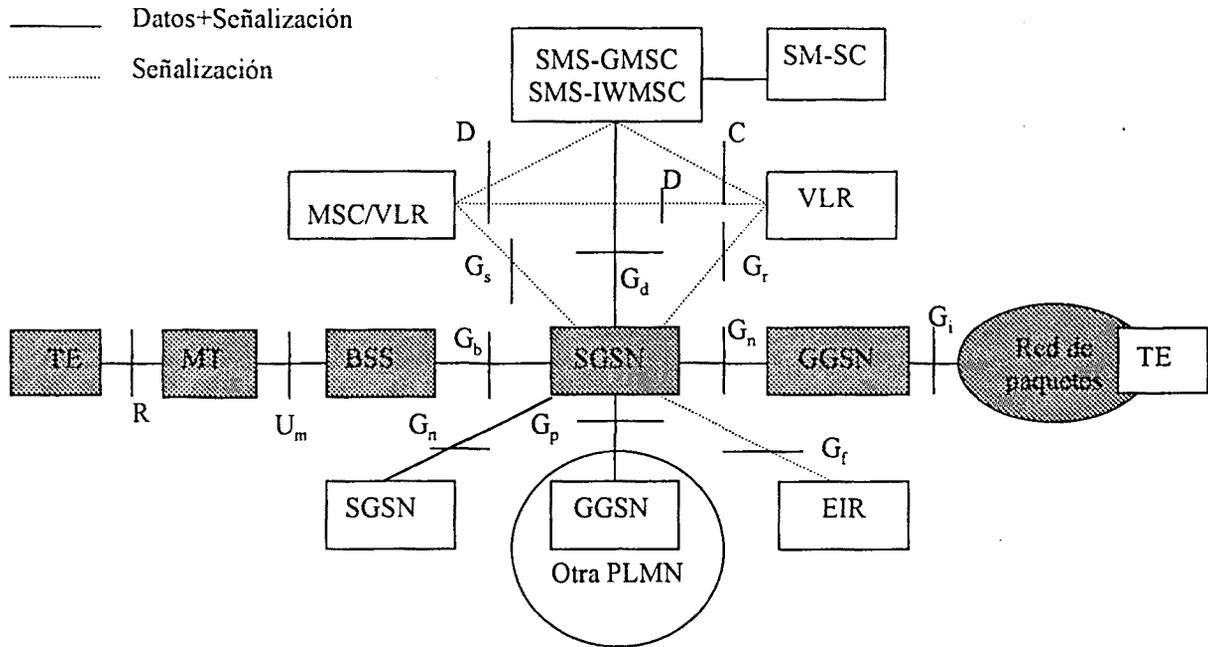


Figura 5-15. Arquitectura lógica del sistema GPRS.

El punto de acceso a las redes de datos externas se localiza en los nodos denominados *Gateway GSN*. En el nodo GGSN se manejan los contextos asociados a cada usuario móvil (PDP) que permiten gestionar la localización y el encaminamiento de la información dentro de la red de nodos GSN mediante mecanismos de encapsulado sobre IP. El nodo GGSN puede solicitar información de los diferentes usuarios al HLR.

Por otro lado, el nodo *Serving GSN* es el encargado de gestionar el contexto de movilidad de los terminales móviles dentro de la estructura celular de estaciones de base GSM. Para cada móvil GPRS activo en particular, existe un nodo SGSN con el que un terminal GPRS activo mantiene abierta una conexión LLC (*Logical Link Control*). Además, en el nodo SGSN se realizan funciones de seguridad y control de acceso.

Las funcionalidades asociadas a los nodos SGSN y GGSN podrían ubicarse en el mismo nodo físico en la línea del nodo *Integrated GSN* visto en la sección 5.4.

A continuación se describen las características más relevantes del plano de transmisión de GPRS, haciendo especial énfasis en la interfaz radio U_m y en la interfaz entre el nodo SGSN y los controladores BSC, G_b. Dichas interfaces se han utilizado como referencia en la implementación del modelo propuesto y estudiado en el capítulo 7.

5.8.2. Plano de transmisión y de señalización.

Las estructuras de capas, acorde a la especificación ISO/OSI, definidas en GPRS para el plano de transmisión y para el plano de señalización son prácticamente iguales en las interfaces U_m , G_b y G_n . En la Figura 5-16 se representan los protocolos correspondientes al plano de transmisión. Es importante observar que la independencia del segmento del plano de transmisión correspondiente a la parte de red (NSS), del segmento correspondiente al acceso radio, se consigue mediante la interfaz G_b .

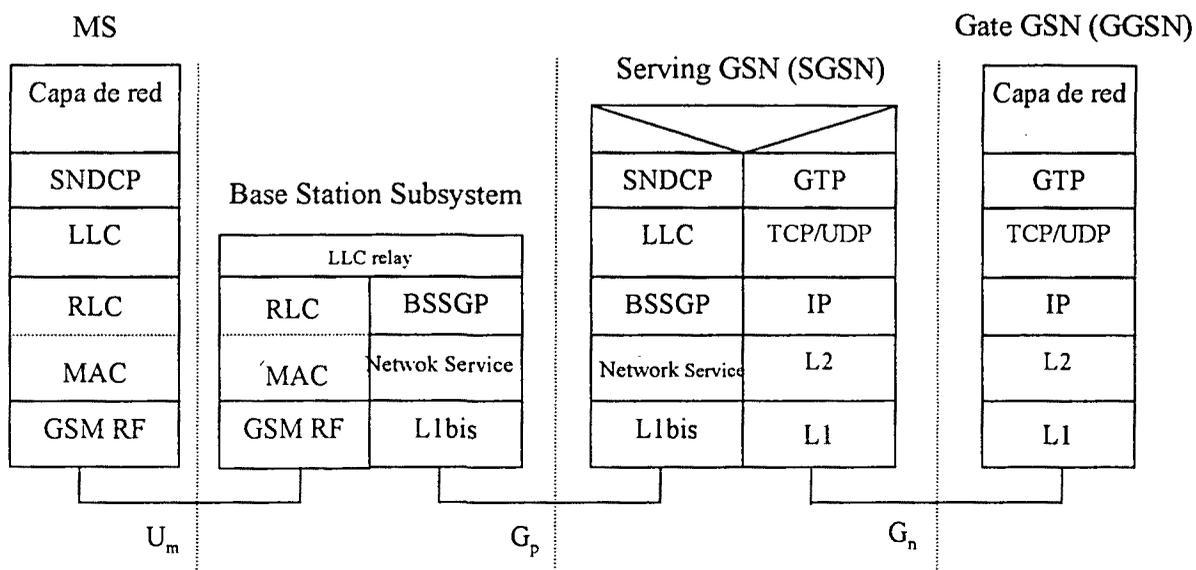


Figura 5-16. Plano de transmisión del sistema GPRS

Entre nodos GSN, la transferencia de información se realiza de forma encapsulada sobre una red IP mediante el protocolo GTP (GPRS Tunnel Protocol, GSM 09.60). La capa GTP puede proporcionar simultáneamente dos modos de operación: confirmado (sobre TCP/IP) y no confirmado (sobre UDP/IP). La utilización de uno u otro depende de las necesidades del protocolo de red soportado (IP, X.25, señalización). La capa de enlace L2 y la tecnología de transporte en la interfaz G_n no se encuentran predeterminadas en las recomendaciones, de forma que, su elección puede depender de la infraestructura de red disponible por el operador.

El protocolo SNDCP (*Subnetwork Dependent Convergence Protocol*, GSM 04.65) realiza la adaptación de los paquetes de red a los requisitos de servicio de la capa de enlace LLC (Logical Link Control, GSM 04.64). Sus funcionalidades se describen más detalladamente en la sección 5.8.3 dedicada a la interfaz radio.

La capa LLC proporciona un enlace de datos fiable entre el nodo SGSN y el terminal móvil. Un aspecto importante de la capa LLC es su independencia de las capas inherentes a la transmisión radio, en aras a minimizar cambios en el segmento de red en caso de requerirse modificaciones de la capa

radio. En el Anexo II del Capítulo 7 se proporciona una descripción más detallada de su implementación y funcionalidades.

Entre los nodos SGSN y los controladores de estación de base BSC, la transferencia de las tramas LLC y la señalización necesaria se realiza mediante el protocolo BSSGP (*Base Station System GPRS Protocol*, GSM 08.18). BSSGP actúa como interfaz entre las capas LLC y RLC/MAC. El mecanismo de transporte sobre el que reside BSSGP, denominado en la Figura 5-16 como *Network Service*, está basado en conexiones *Frame Relay* (GSM 08.16). La capa física L1bis entre BSS y SGSN puede obedecer a diferentes configuraciones y protocolos (GSM 08.14). En la sección 5.8.4 se describe más detalladamente la estructura y funcionalidades de la capa BSSGP.

Las funcionalidades específicas del acceso radio se encuentran en la capa RLC/MAC (*Radio Link Control/Medium Access Control*, GSM 04.60). La subcapa RLC proporciona un enlace radio fiable, mientras que la subcapa MAC gestiona los procedimientos de acceso a los recursos radio y el mapeo de las tramas LLC en los canales físicos GSM.

5.8.3. Arquitectura de la interfaz radio (U_m).

Para ofrecer servicio GPRS, una celda debe dedicar uno o más canales físicos GSM para cursar tráfico GPRS. Dichos canales físicos reciben el nombre de PDCH (*Packet Data Channel*) y se escogen de entre los recursos destinados a ofrecer canales dedicados de tráfico TCH (*Traffic Channel*). El número de canales PDCH utilizados se gestiona en función de un criterio de capacidad bajo demanda. Dicho criterio puede estar basado en mecanismos de supervisión de carga implementados en la capa MAC. También se plantea la posibilidad de dedicar los recursos no utilizados en el tráfico de circuitos para soportar tráfico GPRS, contemplándose la necesidad de liberar dichos canales en caso de que se requiera cursar tráfico más prioritario. Por ello, es importante que existan procedimientos que permitan la rápida liberación de un canal PDCH, haciendo que los usuarios de dicho canal puedan conmutar a otros recursos GPRS.

En caso de no realizarse conjuntamente la señalización común GPRS con el tráfico de circuitos mediante los canales CCCH (*Common Control Channels*), debe existir al menos un PDCH que contenga dicha información de control común. En este caso, los canales de control se denominan PCCCH (*Packet CCCH*) y el canal PDCH en que se encuentran mapeados se conoce como *master*, en contraposición a los restantes PDCHs que sólo llevan información dedicada que se clasifican como *slaves*. De esta forma, los procedimientos de acceso, asignación inicial de recursos y *paging* se realizan a través del PDCH *master*. Todos los canales PDCH siguen una estructura de multitrama consistente en 52 tramas TDMA, dividida en 12 bloques de 4 tramas consecutivas, denominados bloques RLC, y 4 tramas libres intercaladas utilizadas para la implementación del procedimiento de

actualización del *Time Advance*. A continuación se describen los canales lógicos mapeados en dicha estructura multitrama. El mapeo está basado en la compartición de los bloques RLC del mismo canal PDCH por diferentes canales lógicos.

5.8.3.1. Canales lógicos en GPRS

En la Tabla 5-3 se muestran los canales lógicos definidos en GSM 05.02. Los canales lógicos se clasifican en tres grupos: control común, difusión y canales dedicados.

Tabla 5-3. Canales lógicos definidos en GPRS.

Canales comunes de control (PCCCH)		
PRACH	Packet Random Access Channel	Utilizado en el enlace ascendente para iniciar cualquier transferencia y para responder a <i>pagings</i> .
PPCH	Packet Paging Channel	Se utiliza en el enlace descendente. Se estructura en grupos de <i>paging</i> para permitir la operación en modo DRX.
PNCH	Packet Notification Channel	Sirve para notificar a un grupo de móviles la transferencia de información en una conexión PTM-multicast
PAGCH	Packet Access Grant Channel	Utilizado en el enlace descendente para la asignación inicial de recursos a los terminales móviles.
Canales de broadcast (PBCCH)		
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel	Difunde información relevante de sistema en el enlace descendente.
Canales dedicados		
PDTCH	Packet Data Traffic Channel.	Utilizado para transportar información de usuario. Se asigna temporalmente a un usuario o a un grupo de ellos en el caso de conexiones PTM-M.
PACCH:	Packet Associated Control Channel.	Se utiliza para transmitir información de control entre red y terminal. Dicha información incluye confirmaciones y parámetros de control de potencia. También puede utilizarse para asignación de recursos, transferencia de medidas radio y funciones de <i>paging</i> . En caso de que el terminal disponga de varios PDTCH, únicamente existe un PACCH asociado a todos ellos.

El canal PBCCH se mapea en el primer bloque de la estructura de multitrama del PDCH que actúa como *master*. Los restantes bloques de dicho PDCH se utilizan para transportar los canales PPCH, PAGCH, PNCH, PDTCH y PACCH en el enlace descendente, en función de los parámetros de configuración difundidos en el PBCCH. En función de la carga soportada pueden habilitarse canales PCCCH adicionales en otros PDCHs.

En el enlace ascendente de los canales PDCH que contengan PCCCH, los diferentes bloques RLC pueden transportar información del PRACH, PDTCH y PACCH. Su distribución se señala mediante la difusión del campo USF (*Uplink State Flag*) en el enlace descendente.

5.8.3.2. Estructura de protocolos

La interfaz U_m está compuesta por una serie de capas lógicas, cada una con funcionalidades específicas. En la Figura 5-17 se muestran las diferentes capas involucradas. Dentro de la capa LLC se incluyen las funciones de puente (*LLC relay*) ubicadas en el BSS.

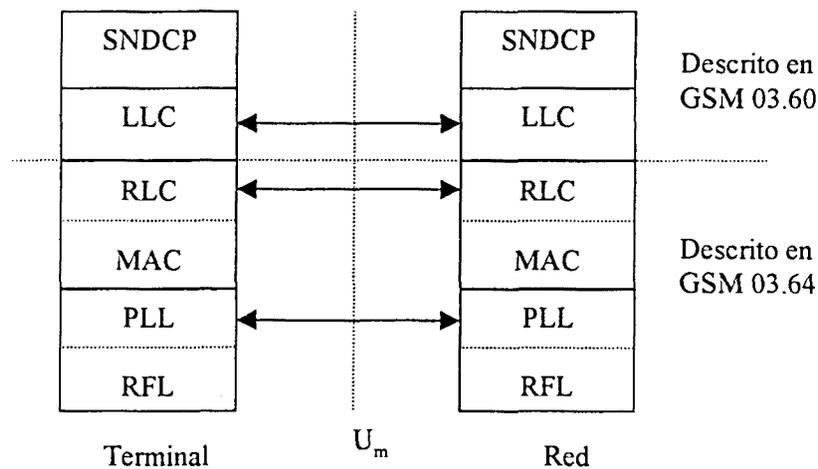


Figura 5-17. Modelo de referencia de la interfaz radio.

A continuación se describen las funcionalidades asociadas a cada una de ellas, a excepción de la capa LLC que se aborda en el capítulo 7.

5.8.3.3. Servicios y funciones de las capas física, RLC/MAC y SNDCP.

5.8.3.3.1 Capa física (PLL/RFL)

La capa física esta se divide en dos subcapas (serie GSM 05 de las recomendaciones):

- RFL (*Physical RF Layer*). Incluye las funcionalidades propias de la transmisión/recepción radio: frecuencias utilizadas, modulación, características y requisitos de los equipos, etc.

- PLL (*Physical Link Layer*). Proporciona a la capa RLC/MAC los servicios necesarios para la transferencia de información entre el terminal y la estación de base. Entre sus funcionalidades se encuentran la implementación de mecanismos de corrección de errores (FEC), entrelazado y detección de congestión en el enlace. La PLL ofrece además funciones de control como: procedimientos de sincronización, monitorización del enlace, selección y reelección de celda, control de potencia y procedimientos DRX.

5.8.3.3.2 Capa RLC/MAC.

El protocolo RLC/MAC propuesto en GPRS (GSM 04.60) está basado en un esquema ARQ selectivo y un esquema de acceso al medio basado en la reserva temporal de recursos en el enlace ascendente. Dicha reserva se realiza a través de un procedimiento de acceso aleatorio tipo ALOHA en el canal PRACH, utilizándose el canal PAGCH para notificar los recursos asignados. En el enlace descendente, la multiplexación se gestiona mediante un algoritmo de *scheduling*. La capa MAC puede gestionar simultáneamente varios canales PDCH y, en caso de soportarse el acceso *multislot*, a un terminal móvil se le pueden asignar recursos en diferentes PDCH simultáneamente.

La capa RLC puede ofrecer simultáneamente un modo de transmisión confirmado y un modo sin confirmación. En modo confirmado, la validación de los bloques RLC enviados se efectúa mediante la transmisión de paquetes de confirmación específicos en el canal PACCH correspondiente.

La asignación de recursos en los enlaces ascendente y descendente para un mismo terminal móvil es independiente y asimétrica. En un determinado tiempo de slot, un canal PDCH puede llevar información de usuarios diferentes en el enlace ascendente y descendente. En la Figura 5-18 se muestra de forma esquemática el flujo de transmisión/recepción que experimentan los paquetes de red (N-PDU) en la interfaz U_m . Dichos paquetes se segmentan en la capa SNDCP y se encapsulan en una o varias tramas LLC. El tamaño de las tramas LLC es variable con una longitud máxima de 1600 bytes menos el campo de cabecera del protocolo BSSGP en la interfaz G_b . Posteriormente, las tramas LLC se segmentan en bloques de datos RLC. Dichos bloques se numeran y constituyen la unidad mínima de información con que trabaja el procedimiento de retransmisión selectiva. La longitud del bloque RLC es variable en función del esquema de codificación adoptado en la capa física (CS-1, 2, 3 y 4). En cualquier caso, cada bloque RLC se transmite íntegramente en los bloques de 4 tramas consecutivas en que se estructuran los canales PDCH.

En el enlace descendente, la cabecera del protocolo MAC contiene el campo USF utilizado para multiplexar información de múltiples usuarios en un mismo PDCH. El campo USF es de 3 bits permitiendo discriminar entre 8 usuarios, siete en el caso del que existan canales PCCCH ya que USF=FREE se utiliza para señalar el PRACH. El valor indicado en un bloque RLC indica cual es el

usuario que puede transmitir en dicho PDCH en el bloque RLC inmediatamente posterior. Para poder distinguir la información asociada a los diferentes usuarios recibidos en una misma celda o grupo de celdas de un mismo controlador, cada usuario tiene asignado un identificador temporal (TFI) que se transmite en la cabecera de los bloques RLC. La longitud del TFI es de 7 bits y su asignación se realiza juntamente con la asignación de recursos en una celda. Su asignación es única entre transmisiones concurrentes e independiente entre los enlaces ascendente y descendente.

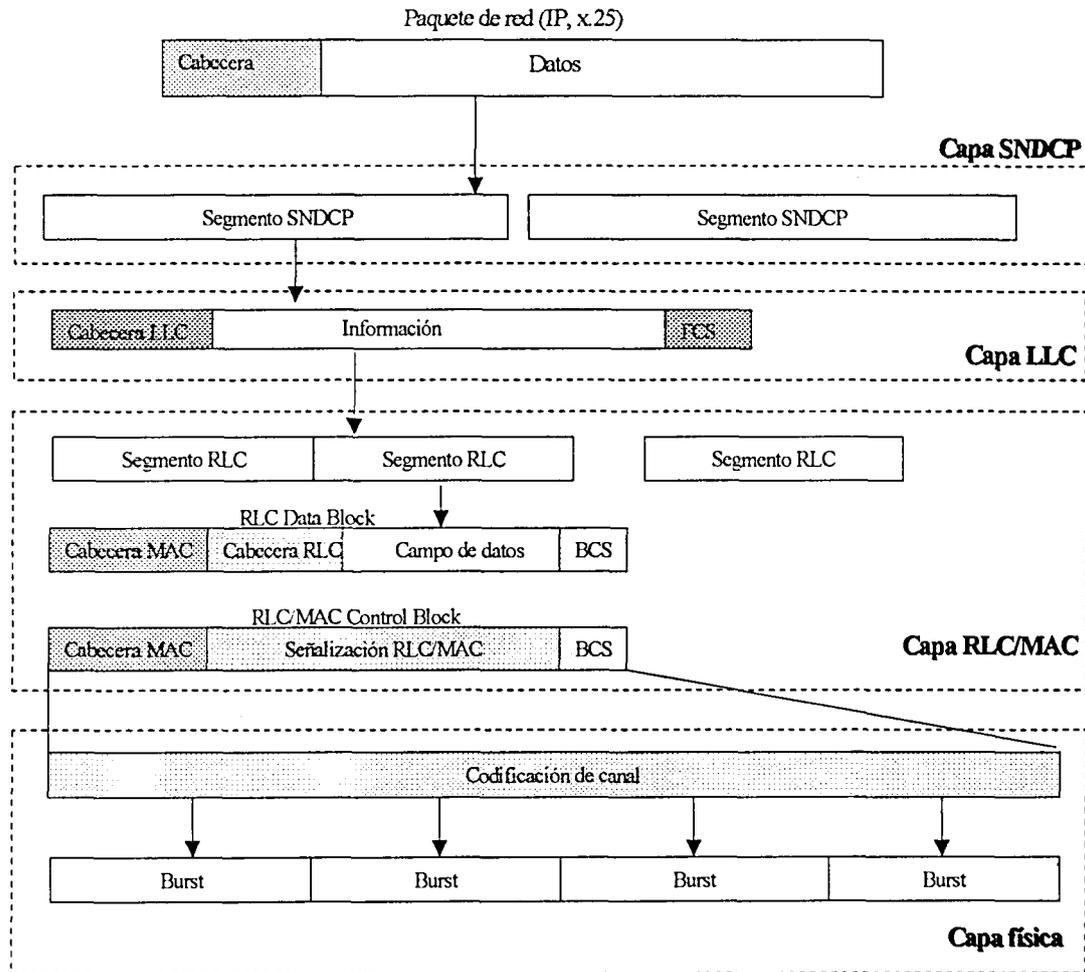


Figura 5-18. Flujo de transmisión y recepción en la interfaz U_m

A continuación se describe el modelo de operación seguido para proceder a la transferencia de la información en función del origen de la misma:

A. Transferencias originadas en el terminal.

La transferencia de paquetes en el enlace ascendente se inicia con el envío de una petición de acceso en el canal PRACH (RACH en caso de no existir). La ubicación del canal PRACH se conoce a partir de la observación del campo USF transmitido por la celda en el bloque RLC anterior. La red responde

a dicha petición a través del canal PAGCH (AGCH). En caso de no recibir respuesta de la petición de acceso, el terminal inicia un proceso de *backoff* para proceder a la retransmisión de dicha petición. Puede darse el caso de que la petición sea correctamente recibida pero que el sistema no disponga de recursos para realizar la asignación. Bajo dicha situación, se contempla la posibilidad de notificar al móvil que su petición ha sido recibida y que permanezca a la espera de recibir un mensaje de asignación sin iniciar el proceso de *backoff*.

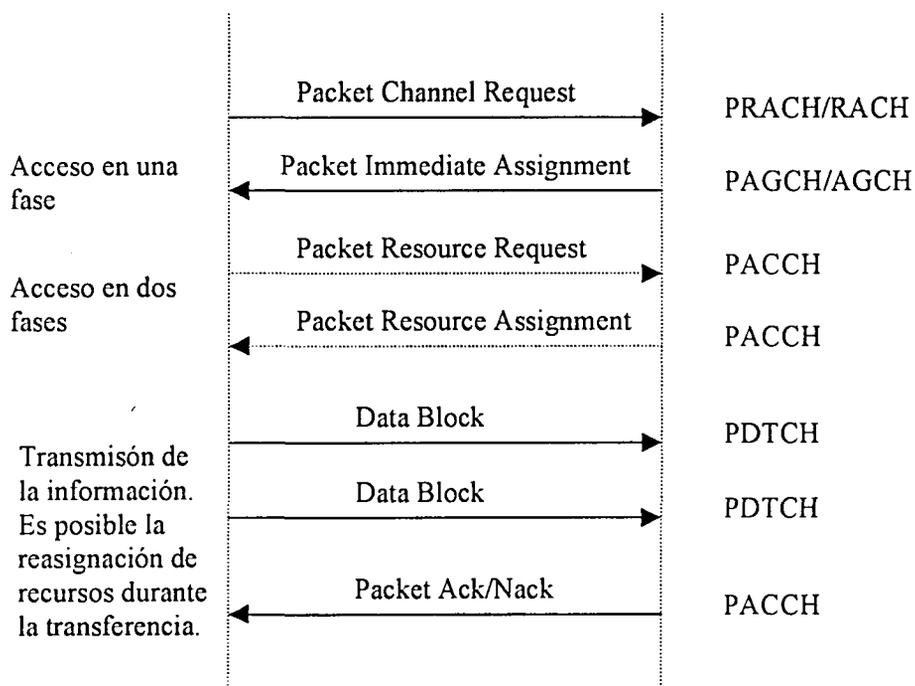


Figura 5-19. Mecanismo de transferencia originado en el terminal.

En la Figura 5-19 se ilustra el procedimiento completo. Las recomendaciones contemplan dos variantes para implementar el método de acceso en función de realizarse en una o dos fases o etapas.

En el acceso en una fase, la respuesta del canal PAGCH contiene la descripción de los recursos asignados en el enlace ascendente para la transmisión de bloques RLC. Dicha reserva se realiza en función del número de recursos solicitados en la petición de acceso (máximo de 8 bloques RLC).

En el acceso de dos fases, los recursos asignados inicialmente en respuesta a la petición de acceso, se utilizan para enviar un paquete específico de solicitud de recursos (**Packet Resource Request**) con una descripción más completa de los recursos demandados. Seguidamente, la red responde con un mensaje de asignación de recursos. La asignación de recursos contiene el identificador del canal o canales PDCH permitidos y el valor del campo USF a utilizar en cada uno de ellos. Además, se asigna un único TFI que va a utilizarse en la cabecera de todos los bloques RLC correspondientes a dicho flujo de información. En el acceso en una fase, existe la problemática adicional de resolver situaciones de contención. Para ello, los primeros bloques RLC transmitidos incluyen en su cabecera el identificador

TLLI. A ello, la red responde con un mensaje de confirmación que contiene dicho valor del TLLI, eliminando la posibilidad de que la información de un terminal móvil sea asociada incorrectamente a otro terminal. En el acceso de dos fases, la contención se resuelve en el intercambio de petición/asignación de recursos.

Durante la fase de transmisión, la red va enviando sucesivos paquetes de confirmación que permiten al terminal gestionar el mecanismo de retransmisión selectiva. Durante dicha fase puede procederse también a la re-negociación de los recursos asignados para tener en cuenta, por ejemplo, los recursos necesarios originados de la pérdida de bloques radio.

B. Transferencias originadas en la red.

La transferencia de información hacia el terminal móvil se inicia por parte de la red mediante el envío de un mensaje de *paging* en el canal PPCH. El terminal móvil responde a ello realizando una petición de acceso en el canal PRACH. Dicha petición de acceso contiene información que permiten averiguar en la red que se trata de una respuesta a un mensaje de *paging*. Seguidamente la red asigna recursos para permitir el envío de un mensaje más completo de respuesta a la petición de paging. Dicho mensaje contiene una trama LLC de control que hará cambiar el estado del móvil de *idle* a activo en el contexto de movilidad del nodo SGSN (véase sección) y por tanto, se dispondrá de información de localización a nivel de celda para poder empezar a enviar la información pertinente.

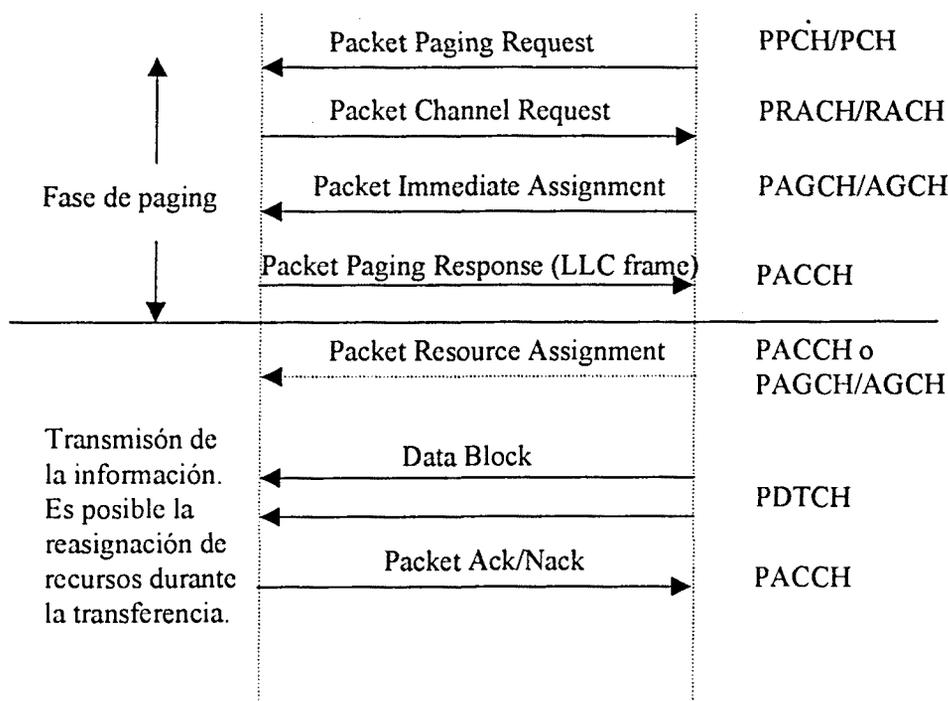


Figura 5-20. Mecanismo de transferencia originado en la red.

Posteriormente, la red envía un mensaje de asignación de recursos donde se notifica al móvil el TFI asociado y el/los PDCH por donde será enviada la información. Los correspondientes paquetes de confirmación en el enlace ascendente se envían mediante mecanismos de *polling*.

En caso de que el terminal se encontrara en estado activo cuando llega información al nodo SGSN con proveniente de la red externa, se evita la etapa de *paging* delimitada en la Figura 5-20 y se procede directamente al envío de una reserva de recursos en el canal PAGCH.

5.8.3.3.3 Protocolo SNDCP

La función principal de la capa SNDCP es realizar la adaptación de diferentes protocolos de red para poder ser transmitidos mediante los servicios ofrecidos por la capa LLC. De forma más detallada, entre las funcionalidades asignadas a la capa SNDCP se encuentran:

- Mapeo y multiplexado de paquetes de nivel de red en conexiones lógicas LLC.
- Buffering de los paquetes de red en caso de servicios confirmados.
- Entrega ordenada de paquetes para cada punto de acceso al servicio (NSAPI).
- Mecanismos de compresión/decompresión de la información de nivel de red. Se puede realizar de forma independiente para cada SAPI.
- Segmentación/ensamblaje de la información en función de la máxima longitud de trama soportada por los servicios ofrecidos en la capa de enlace LLC.
- Negociación de los parámetros de conexión entre entidades SNDCP remotas durante el establecimiento de una conexión.

En la Figura 5-21 se ilustra el mecanismo de multiplexado planteado en GPRS en función de los puntos de acceso a la capa de enlace (SAPI) y la discriminación entre paquetes de red a partir del identificador NSAPI, utilizado como punto de acceso a la capa SNDCP.

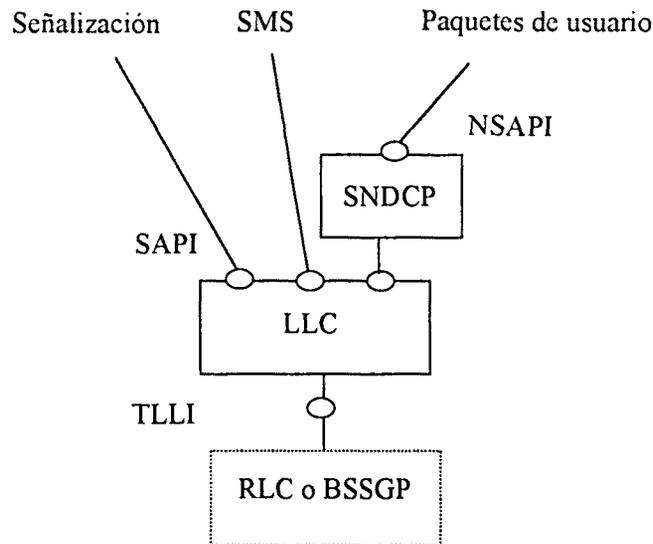


Figura 5-21. Multiplexación de protocolos de la capa de red.

El valor del NSAPI está contenido en los contextos de sesión de datos (PDP) e identifica un contexto asociado con una dirección de red determinada. Además, dicho identificador es parte del campo TID (*Tunnel Identifier*) utilizado para encapsular la información en la red GPRS.

5.8.4. Arquitectura de la interfaz G_b .

La interfaz G_b permite la compartición de los recursos existentes entre el BSS y el nodo SGSN. A diferencia de la interfaz A entre BSS y MSC para servicios de circuitos, la multiplexación de tráfico en la interfaz G_b se realiza en base a la actividad presentada por los diferentes usuarios soportados.

Tal como se ha visto en la sección 5.8.2, el protocolo encargado de gestionar dicha transferencia se denomina BSSGP. La principal función de BSSGP es proporcionar la información necesaria (aspectos radio, QoS, rutado) para efectuar la transferencia de la información entre BSS y SGSN. En el BSS, la capa BSSGP actúa como interfaz entre las tramas LLC y los bloques RLC de la capa RLC/MAC. En el nodo SGSN, funciona como una interfaz entre tramas LLC y una hipotética capa RLC/MAC extendida. Además, BSSGP permite la realización de funciones de gestión entre ambos nodos.

Las características principales del enlace proporcionado por el protocolo BSSGP son: enlace no orientado a conexión entre BSS y SGSN; transferencia de información sin conformación. control de flujo bidireccional y posibilidad de eliminar mensajes viejos (*flushing*) en la BSS cuando el terminal cambia de BSS. El control de flujo está basado en la implementación de colas para gestionar cuatro clases diferentes de QoS y una especial dedicada a los mensajes de señalización.

El protocolo BSSGP ofrece el mecanismo de *paging* al nodo SGSN. El direccionamiento utilizado está basado en tres campos: Identificador de celda (CI), Identificador temporal del móvil (TLLI) y perfil QoS.

5.9. Conclusiones

En este capítulo se ha planteado una visión de una posible arquitectura de red UMTS basada en tecnología IP. Los principales factores argumentados a favor de la adopción de dicha arquitectura giran en torno a los siguientes puntos:

- Evolución de los sistemas de segunda generación, especialmente GPRS.
- Hegemonía de la tecnología IP para la provisión de servicios datos y su progresiva adaptación a la incorporación de servicios en tiempo real.

Otro aspecto destacado en la arquitectura UMTS/IP, es la separación entre las funciones radio dependientes y radio independientes. Particularmente se ha analizado dicha separación en el sistema GPRS y en la definición de las funcionalidades asociadas a la red de acceso UTRAN. De esta forma, la gestión de la movilidad global, la gestión de acceso a los servicios y la definición de servicios de valor añadido, pasan a independizarse en gran medida de la red de acceso utilizada.

Finalmente se han abordado las principales características y funcionalidades de las arquitecturas UTRAN y GPRS, especialmente en lo referente al plano de transporte, a fin de elaborar el modelo propuesto y estudiado en el capítulo 7 para la evaluación del impacto de un mecanismo de traspaso.

CAPÍTULO 6

CAPÍTULO 6. GESTIÓN DE MOVILIDAD EN REDES DE PAQUETES

6.1. Introducción

La gestión de movilidad en las redes de telecomunicaciones proporciona fundamentalmente dos funciones: localización de un terminal para poder establecer una conexión hacia él, y mantenimiento de las conexiones existentes cuando los terminales móviles cambian su punto de acceso a la red. No obstante, a estas funciones básicas debemos añadirle los diferentes aspectos atribuidos a los futuros sistemas de tercera generación. El concepto de movilidad planteado en UMTS/IMT-2000 distingue entre movilidad personal y movilidad de terminal. Con ello se rompe la dependencia terminal-usuario permitiéndose que un usuario pueda registrarse en diferentes terminales para acceder a los servicios soportados por la red, de la misma forma que un mismo terminal pueda ser compartido por diferentes usuarios. Pero todavía más innovador resulta el planteamiento de ofrecer movilidad de servicios (*Virtual Home Environment*). Con ello se pretende que un usuario pueda disponer de sus servicios a través de redes de acceso diferentes de su *Home Network*¹, y haciendo uso de terminales con prestaciones dispares. Además, el usuario puede adaptar el acceso a los servicios a sus necesidades y gustos mediante la gestión de perfiles. Por tanto, la gestión de movilidad se erige como uno de los aspectos más críticos en el diseño de una red de servicios.

A ello, podemos añadir los condicionantes derivados de entorno de aplicación donde deben coexistir varias tecnologías para poder ofrecer un acceso global a los servicios. De esta forma nos encontramos ante estructuras jerárquicas (HCS) de picoceldas, microceldas, macroceldas y celdas de satélites, para poder cubrir los diferentes entornos de operación planteados.

Por tanto, una de las principales directrices en el desarrollo de mecanismos de gestión de movilidad, considerando los aspectos mencionados anteriormente, es la armonización y compatibilidad entre diferentes sistemas para poder ofrecer movilidad global a los usuarios. Las soluciones existentes actualmente dependen en gran medida del tipo de red considerado. De esta forma, nos encontramos

¹ Red de suscripción del usuario

mecanismos de gestión de movilidad diferentes para los sistemas celulares de telefonía, las redes de paquetes IP, las redes basadas en *wireless* ATM y las redes de satélites.

En este capítulo se abordan diferentes soluciones propuestas actualmente para ofrecer dicha movilidad global, así como aspectos de movilidad local en redes de paquetes dentro del contexto del sistema UMTS. Posteriormente se estudia más detalladamente la gestión de movilidad del sistema GPRS para, finalmente, apuntar algunas consideraciones sobre los esquemas de traspaso en redes de paquetes. De esta forma, junto con la descripción efectuada en el capítulo 5 de una posible arquitectura de red basada en paquetes, se pretende complementar el planteamiento del modelo analizado en el capítulo 7.

6.2. Gestión de movilidad en los sistemas de tercera generación.

6.2.1. Introducción

La hegemonía de la tecnología IP en el segmento de aplicaciones multimedia puede derivar en la adopción del protocolo *Mobile IP* [Perkins97] para la provisión de movilidad global dentro de una red troncal UMTS. *Mobile IP* permite al terminal móvil mantener su dirección IP con independencia del punto de acceso utilizado por el terminal móvil. De esta forma resulta viable el *roaming* con terminales multi-modo entre sistemas con diferentes tecnologías de acceso como GSM/GPRS, UTRAN, IS-95, *wireless* LAN, etc.

No obstante, *MobileIP* está pensado básicamente para condiciones de movilidad restringidas a la portabilidad de los equipos y presenta toda una serie de problemas cuando se plantea su utilización en entornos celulares. Por ello, junto con *MobileIP*, deben considerarse esquemas de gestión de movilidad adaptados a la red de acceso en cuestión. Normalmente la movilidad dentro de una determinada red de acceso se denomina movilidad local en contraposición al concepto de movilidad global. En la Figura 6-1 se han representado ambos ámbitos de movilidad en una arquitectura basada en nodos IGSN conectados a una red troncal IP.

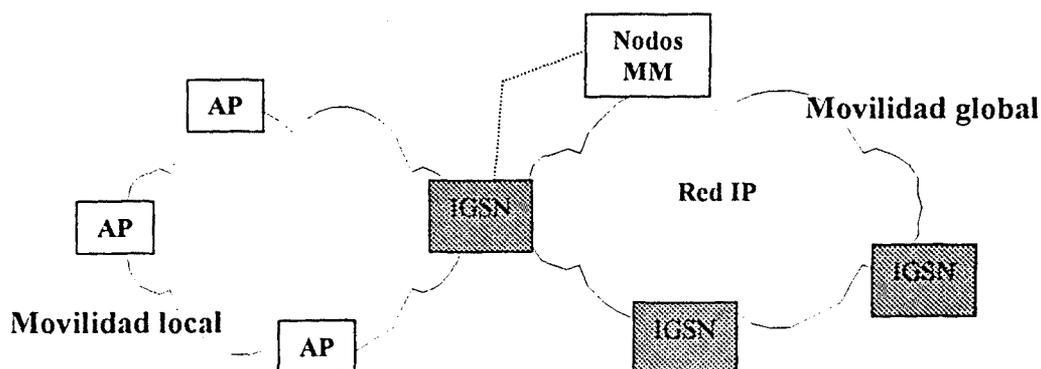


Figura 6-1. Ámbitos de la movilidad local y global en una red troncal IP con nodos de acceso IGSN.

Los nodos IGSN, tal como se ha descrito en el capítulo 5, pueden considerarse como los nodos encargados de proporcionar conectividad a diferentes redes de acceso representadas genéricamente mediante AP (*Access Point*) en la Figura 6-1. La notación AP, en vez de utilizar directamente UTRAN o BSS GPRS, responde a la intención de englobar bajo una perspectiva común diferentes configuraciones dentro de la arquitectura encargada de proporcionar movilidad local como podría ser, por ejemplo, la utilización de una LAN para conectar las diferentes estaciones de base.

Los nodos encargados de gestionar la movilidad global, nodos denominado MM (*Mobility Management*) en la Figura 6-1, deberían encontrarse accesibles a través de la red IP o bien mediante la existencia de redes de señalización adicionales del tipo SS7. En GSM/GPRS dicha función se centraliza en los nodos HLR mientras que en *Mobile IP* aparece el concepto de HA (*Home Agent*) como elemento que dispone de la información necesaria para permitir el establecimiento de una conexión hacia un determinado terminal móvil.

A continuación se detalla el mecanismo de movilidad global proporcionado por *Mobile IP* y se realizan algunas consideraciones sobre la ubicación de sus componentes en una red UMTS/IP, así como sobre sus posibles relaciones con los elementos propios de la red GSM. Posteriormente se aborda el tema de gestión de la movilidad local y se plantean algunas soluciones apuntadas en la literatura.

6.2.2. Movilidad global

6.2.2.1. *Mobile IP*

Mobile IP es una extensión de IP para permitir a los nodos móviles o portátiles continuar recibiendo datagramas independientemente de su punto de acceso a una red IP. *MobileIP* está pensado tanto para proporcionar movilidad dentro de una misma red como para permitir a los usuarios conectarse a redes diferentes, incluso con distintas tecnologías de acceso. La única condición es que los terminales móviles sean capaces de establecer un enlace de datos (*link-layer*) con el punto de acceso en cuestión. Un aspecto importante de *MobileIP* es que los terminales móviles pueden mantener una dirección IP perteneciente a un determinada subred, denominada *Home Network*, asignada de forma permanente o semi-permanente durante los sucesivos cambios en el punto de acceso. De esta forma, las conexiones realizadas en las capas de transporte no tienen porqué sufrir ninguna alteración debido al cambio de dirección IP.

Su funcionamiento radica básicamente en la asignación de una dirección IP adicional, denominada CoA (*Care-of-Address*), durante la permanencia del MN (*Mobile Node*) en una subred diferente de su *Home Network*. Esta dirección permitirá la localización temporal del móvil en cada subred visitada. Pero los nodos ajenos al MN que pueden iniciar una comunicación hacia dicho MN necesitan algún

mecanismo para conocer la dirección CoA en cada instante. Por ello es necesario la introducción de un componente denominado *Home Agent* que participará en el encaminamiento de la información hacia el MN. Por otra parte, la dirección CoA asignada de forma temporal al terminal debe tener consistencia con el prefijo de red visitado para que el mecanismo de encaminamiento IP funcione correctamente y además, la elección de la CoA debe tener en cuenta las restricciones impuestas por su posible uso en nodos fijos de la red visitada, así como su uso en otros terminales móviles conectados eventualmente. Por ello, para gestionar las direcciones CoA puede requerirse un nodo especial denominado FA (*Foreign Agent*). Finalmente, debe existir algún mecanismo para transmitir los paquetes destinados a la dirección *Home* de un MN mediante la utilización de una dirección CoA. Dicho mecanismo se conoce como encapsulado y resulta necesario entre el HA y el FA o bien entre el HA y el MN directamente. A continuación se describen más en detalle la funcionalidad de los elementos necesarios en *Mobile IP* y la filosofía de funcionamiento básica del protocolo.

6.2.2.1.1 Componentes necesarios en *Mobile IP*

Las entidades funcionales definidas en *Mobile IP* son las siguientes [Perkins97]:

- **MobileNode (MN).** Terminal que puede cambiar su punto de acceso entre redes o subredes IP. El cambio de punto de acceso puede llevarse a cabo manteniendo la dirección IP asignada de forma permanente al terminal.
- **Home Agent (HA).** Router o host conectado a la *Home Network* del MN en cuestión que contiene información de localización del terminal. De esta forma el HA puede ‘suplantar’ la presencia del MN en su *Home Network* (mediantes procedimientos *proxy ARP*, *gratuitous ARP*) y re-direccionar los paquetes IP destinados al MN hacia la ubicación determinada por la dirección CoA proporcionada por el MN.
- **Foreign Agent (FA).** Router o host en la red visitada (*visited Network*) que proporciona funciones de encaminamiento al MN. El FA puede participar en el procedimiento de registro de la dirección CoA del MN en su correspondiente HA. En caso de que la dirección CoA asignada al MN se haya realizado a través del FA, éste realiza las funciones de desencapsulado de la información destinada al MN proveniente de su HA.

En *Mobile IP* se distinguen dos tipos de direcciones IP:

- **Home Address.** Dirección IP asignada a un terminal móvil que sirve para identificarle de forma permanente. El formato de la dirección corresponde al dominio de la subred a la cual pertenece por defecto el terminal. La dirección *Home* permanece invariante a los posibles cambios del punto de acceso a la red. Únicamente tendría que ser modificada cuando son necesarios procedimientos

de índole diferente a la propia movilidad del usuario, como por ejemplo la necesidad de una reenumeración de la *Home Network*. La dirección *Home* sería la única que aparecería en los servidores de nombres (DNS, Domain Node Server) para ubicar al terminal.

- **Care-of Address.** Dirección IP asignada temporalmente a un terminal móvil para permitir su funcionamiento en una red visitada sin necesidad de alterar las tablas de encaminamiento. La obtención de una dirección CoA puede llevarse a cabo de dos formas:
 1. El FA proporciona una dirección CoA al terminal visitante. En este caso, la dirección IP asignada corresponde al FA y los paquetes IP destinados al MN serán previamente desencapsulados por el FA. El FA puede asignar la misma dirección CoA a varios terminales móviles ya que el destino correcto puede averiguarse mediante los campos de dirección referentes al nodo origen. De esta forma, puede resultar más eficiente el uso de direcciones IP que empieza a resultar limitado en la versión 4.
 2. A través de mecanismos de obtención de direcciones IP externos a *Mobile IP*. La dirección puede obtenerse de forma dinámica mediante el mecanismo DCHP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), IPCP (*PPP IP Control Protocol*) o incluso mediante configuración manual. La dirección así obtenida se conoce como *colocated CoA*. En esta situación, el MN recibe directamente los paquetes encapsulados destinados a él.

Finalmente, los mecanismos necesarios en *Mobile IP* para la gestión de las direcciones son básicamente tres:

- **Agent Discovery.** Los objetivos básicos de este mecanismo son dos:
 1. El MN conoce si se encuentra conectado en su *Home Network* o bien en una red visitada.
 2. El MN puede detectar que se ha producido un cambio de dominio.

Los nodos HA y FA deben notificar su presencia a los nodos conectados a la subred a la cual prestan servicio. Dicha notificación se realiza mediante la difusión de forma periódica de mensajes *broadcast* limitados a un único segmento de red denominados *Agent Advertisements*. El terminal móvil puede solicitar también el envío de *Agent Advertisements* por parte del FA o HA mediante la emisión de un mensaje denominado *Agent Solicitation*. En el caso de los FA, los mensajes contienen direcciones CoA que pueden ser utilizadas por los terminales, el formato del encapsulado utilizado y otros parámetros de control.

- **Registration.** Mediante este mecanismo el terminal móvil informa a su HA de la información relevante sobre su ubicación. Si la dirección CoA que quiere registrar el terminal pertenece al FA de la red visitada, el registro se efectúa a través del envío de un mensaje denominado *Registration Request* al FA. Éste procesa la información y reenvía la solicitud al HA. El procedimiento es confirmado por razones de seguridad y robustez de forma que el HA responde al FA y finalmente éste al MN. En caso de que el terminal utilice una *colocated* CoA el registro se efectúa directamente contra el HA. Si el terminal móvil volviera a entrar en su *Home Network*, se utiliza el mismo procedimiento para borrar la asociación (*binding*) existente en el HA. No obstante, durante el registro se especifica la validez temporal de la asociación entre direcciones de forma que el HA puede actualizar sus tablas sin depender del comportamiento de los terminales móviles (*soft state*). En el procedimiento de registro son muy importantes los mecanismos de autenticación utilizados para evitar la modificación de las tablas de localización del HA por parte de terceros.
- **Tunneling.** Mecanismo mediante el cual pueden enviarse los paquetes IP destinados a una dirección diferente de la dirección real de destino. Cuando el HA recibe paquetes destinados al MN, consulta su tabla de asociaciones y en caso de existir una dirección CoA construye un nuevo paquete IP con dirección de destino igual a la CoA y ubica el paquete original dentro del campo de información. Cuando el paquete llega al FA o directamente al MN en caso de utilizar una dirección *colocated* CoA el paquete original puede ser recuperado. En caso de tratarse del FA, el paquete se envía al nodo correspondiente mediante direccionamiento a nivel de la capa de enlace.

En la Figura 6-2 se muestra esquemáticamente el procedimiento de registro descrito y la trayectoria que siguen los paquetes en ambos sentidos entre un MN y un nodo de referencia denominado CN (*Correspondent Node*). Los paquetes enviados por el MN hacia el CN siguen el camino determinado por los algoritmos de encaminamiento habituales. La dirección origen de dichos paquetes contiene la dirección *Home* del MN. En el sentido contrario, el CN envía los paquetes que tienen como destino dicha dirección y por tanto, éstos son interceptados por el HA. Posteriormente el HA envía los paquetes IP recibidos al FA mediante el procedimiento de encapsulado con dirección destino la CoA utilizada y dirección origen la suya propia.

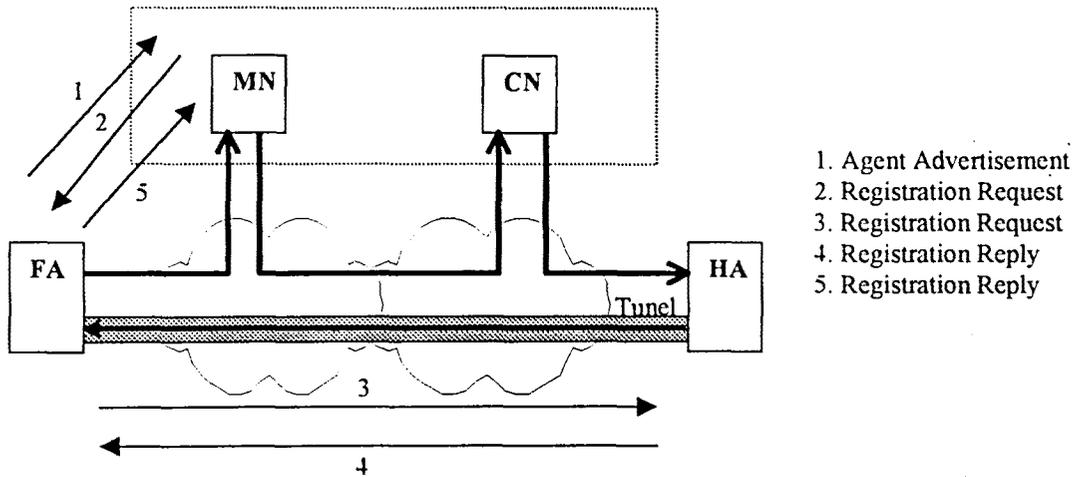


Figura 6-2. Representación del funcionamiento básico de *Mobile IP*.

6.2.2.1.2 Extensiones de *Mobile IP*

El encaminamiento de paquetes IP desde el CN hacia el MN puede resultar ineficiente desde el punto de vista de encaminamiento de la información porque los paquetes tienen que pasar forzosamente por el correspondiente HA. Una situación extrema sería la comunicación entre dos terminales móviles situados en la misma subred visitada donde los mensajes enviados viajarían hacia los respectivos HA. Existe toda una serie de mecanismos conocidos globalmente como *Route Optimization* dedicados a solucionar el problema del encaminamiento indirecto, conocido también como *triangle routing*, y a proporcionar mejoras en la transferencia de la información durante los cambios de punto de acceso.

Básicamente la solución al problema del encaminamiento indirecto consiste en el envío de la asociación CoA-Home Address conocida como *binding* a los nodos CN. De esta forma, si el nodo CN dispone de la dirección CoA en el momento de transmitir un paquete hacia el MN correspondiente, se utiliza en vez de la dirección Home para evitar pasar por el Home Agent. En caso de no disponer de ninguna asociación válida el paquete se envía con la dirección Home.

Otro aspecto abordado dentro de los procedimientos de *Route optimization* es el traspaso entre FA. Cuando el terminal móvil abandona la subred visitada, el FA correspondiente no recibe ninguna notificación a tal efecto. Simplemente después de expirar el contador asociado a la entrada del MN se elimina dicha información. Bajo estas circunstancias, los paquetes que todavía se encuentren circulando por la red con destino a la dirección CoA antigua van a ser descartados en el FA bien porque no exista ninguna entrada o, si todavía no se ha eliminado, porque el terminal móvil resulta inaccesible desde la antigua subred visitada. La solución adoptada para reducir la pérdida de paquetes en caso de traspasos consiste en notificar al antiguo FA la nueva dirección CoA. Dicha notificación la realiza el FA nuevo durante el transcurso del procedimiento de registro. De esta forma, el antiguo FA

puede reenviar los paquetes con destino al MN hacia su nueva dirección. Además, a partir de la recepción de dicha notificación el antiguo FA puede actuar o decidir la liberación de los recursos utilizados por el terminal móvil si fuera el caso.

6.2.2.1.3 IP versión 6

IPv6 es el futuro estándar desarrollado en IETF destinado a reemplazar IPv4, versión utilizada actualmente en Internet. Los principales argumentos esgrimidos para justificar la necesidad de la actualización de IPv4 son básicamente dos:

- Limitado número de direcciones IP (32 bits de direccionamiento).
- Dificultad de manejo de las tablas de encaminamiento conforme aumenta el número de subredes.

De esta forma el campo de direcciones de IPv6 es de 128 bits y se eliminan las clases A, B y C definidas en IPv4 para distinguir diferentes tipos de subredes mediante la adecuación a una máscara implícita en los bits iniciales de la dirección IP. La estrategia de encaminamiento adoptada se conoce como CIDR (*Classless Interdomain Routing*) y consiste básicamente en proporcionar la máscara de red (*netmask*) independientemente de la dirección IP. Esto permite acotar más eficientemente el dominio de una subred en función de los terminales que dispone a la vez que resulta posible la utilización en las tablas de encaminamiento de direcciones agregadas para identificar de forma única el próximo *router* común a las redes en cuestión. Otras mejoras aportadas por IPv6 son:

- Redefinición e incorporación de nuevos campos en las cabeceras IP de forma que los nodos intermedios pueden prescindir de algunos de ellos. De esta forma se consigue reducir el tiempo de procesado.
- Incorporación de procedimientos de autenticación y cifrado.
- Facilidad de reconfiguración de las direcciones IP por medio de protocolos como *Neighbour Discovery* y *Address Autoconfiguration*.
- Soporte de funciones para abordar la movilidad de los terminales.

Respecto al punto de introducir funciones para gestionar la movilidad, IPv6 ya adapta los mecanismos de movilidad definidos en *Mobile IP* para IPv4. De esta forma, los conceptos de *Home Network*, HA y CoA de *Mobile IP* son igualmente aplicables. No obstante, la diferencia fundamental estriba en la eliminación del FA. IPv6 requiere que el terminal móvil soporte *Address Autoconfiguration* y *Neighbour Discovery* (función similar a ARP en IPv4) mediante los cuales puede averiguar el prefijo

de red donde se encuentra conectado y construir u obtener una dirección IPv6 global válida. Por ello, las funciones ubicadas en el FA de *MobileIPv4* no son necesarias en IPv6.

Otra opción de conseguir una dirección CoA global consiste en la utilización de procedimientos DHCP. El protocolo DHCP responde a una estructura cliente/servidor y tiene como función básica en IPv4 la asignación de direcciones IP a los nodos que no disponen de ella de forma permanente. En IPv6 el terminal puede construirse una dirección IP global mediante los mecanismos descritos anteriormente. Sin embargo, DHCP puede todavía ser útil como medio de obtención de otros parámetros relevantes del entorno como el *router* por defecto, direcciones de DNS y direcciones de servidores de servicios. Además, otro procedimiento apuntado en [Perkins97] es la utilización de DHCP para proporcionar una dirección *Home Address* a los terminales móviles que no disponen de ella. De esta forma, la dirección asignada deberá pertenecer a un segmento de red o red virtual donde exista un nodo que pueda realizar las funciones de HA para el terminal solicitante.

Otro aspecto muy importante de la gestión de movilidad es el uso de asociaciones (*bindings*) en los nodos CN para optimizar el encaminamiento y eliminar el problema denominado *Triangle Routing*. La idea es similar a la expuesta bajo el concepto de *Route Optimization* para *MobileIP*. En caso de IPv6 dicha información puede incluirse en las nuevas opciones habilitadas en la cabecera de forma que no tiene que utilizarse un mensaje específico a tal efecto. Las funciones del HA son básicamente las mismas que en *MobileIP*: debe contener información actualizada sobre la dirección CoA utilizada por el terminal, debe direccionar los paquetes destinados a la *Home address* del MN a su dirección actual mediante encapsulado IPv6 sobre IPv6 y debe implementar procedimientos de Neighbour Discovery para informar de la accesibilidad del MN en su *Home Network*, de forma similar a los mecanismos proxy ARQ y gratuitous ARQ empleados en *MobileIP*.

Otra característica interesante de IPv6 es la posibilidad de enviar *bindings* a los *routers* situados entre el MN y el CN. De esta forma, cuando el MN cambia su punto de acceso y adquiere una nueva dirección CoA puede enviar un binding update al router utilizado en su anterior ubicación para que se comporte como si fuera un HA respecto a la anterior CoA. Ante la recepción de un paquete destinado al terminal móvil, el *router* encapsula el mensaje y lo envía hacia la nueva dirección CoA notificada en el *binding update*. Al mismo tiempo, el terminal móvil puede enviar *binding updates* a los nodos CN con los que mantiene una conexión. El procedimiento global se conoce como *smooth handoff*.

6.2.2.1.4 Limitaciones de *MobileIP*

Las principales limitaciones de *Mobile IP* para proporcionar una solución completa para la gestión de movilidad en los esquemas celulares son las siguientes:

- **Exceso de señalización.** En *MobileIP* no existe el concepto de área de localización o encaminamiento utilizado en los sistemas celulares. Por tanto, cada vez que se produce un cambio en el punto de acceso el terminal móvil debe actualizar su *Home Agent* con la nueva dirección CoA. Esta situación podría derivar en una carga considerable de la red debida únicamente a señalización correspondiente a la gestión de movilidad.
- **Tiempo de ejecución de un traspaso (*Handover Latency*).** En *Mobile IP* las asociaciones (*bindings*) en el HA y, en el caso de IPv6, en los nodos remotos, deben actualizarse cada vez que se produce un cambio de CoA. Esta situación podría considerarse como un procedimiento de traspaso *hard* con señalización *forward*. Si el retardo de ejecución de dicho procedimiento es elevado pueden producirse pérdidas de paquetes y considerables retardos en la transmisión de información de usuario.

Entre las soluciones estudiadas para reducir el exceso de señalización y el retardo del traspaso se encuentran la coordinación de *MobileIP* con mecanismos de gestión de movilidad local y también esquemas jerarquizados basados directamente en *Mobile IP*, así como el mecanismo de *smooth handoff* descrito en la anterior sección. En la sección 6.2.3 se describen algunos mecanismos propuestos a nivel de gestión de movilidad local para reducir la problemática ocasionada por el cambio de punto de acceso.

6.2.2.2. *Mobile IP* en UMTS/GPRS

En el capítulo 5 se describe una posible arquitectura basada en mecanismos de transmisión en modo paquete para el sistema UMTS. Básicamente el sistema está formado por redes de acceso capaces de proporcionar servicios equivalentes a una capa de enlace y una red troncal basada en tecnología IP donde residen las funciones de gestión de movilidad, gestión de las comunicaciones, oferta de contenidos, etc. La interconexión de las redes de acceso a la red troncal se llevaría a cabo mediante la existencia de unos nodos especializados denominados IGSN.

Una opción de las consideradas en 3GPP para gestionar la movilidad global en la red troncal de paquetes UMTS consiste en la implantación de un esquema similar a *Mobile IP*. A continuación se describe una posible solución para la integración de *Mobile IP* en el sistema GSM/GPRS que puede converger a la solución planteada como objetivo. Posteriormente se aportan algunas consideraciones sobre la ubicación de los componentes necesarios en *Mobile IP* dentro de la arquitectura propuesta.

6.2.2.2.1 Integración gradual de *Mobile IP* en UMTS

En [Rainbow99a] se plantean tres fases sucesivas para conseguir una posible implantación de *Mobile IP* como mecanismo de gestión de movilidad en una red troncal UMTS basada en IP.

1. *Mobile IP* como servicio ofertado.

En GPRS se contempla la posibilidad de asignar de forma dinámica una dirección de red IP cuando se establece un contexto de datos (*Dynamic Address*). El dominio de red al que pertenece dicha dirección puede solicitarse mediante el parámetro APN (*Access Point Name*) especificado durante la subscripción al servicio GPRS. Una posible solución para incorporar *MobileIP* sería disponer en el nodo GGSN seleccionado de las funcionalidades características del FA. Para evitar incompatibilidades con móviles que no soporten *MobileIP* la elección del nodo GGSN podría hacerse en función de un identificador APN determinado. El mecanismo de establecimiento del contexto IP probablemente debería modificarse para indicar al móvil la asignación de una dirección CoA, así como incluir en el contexto de sesión de datos abierto en el nodo GGSN con funcionalidad de FA la dirección *Home* del terminal móvil. Se supone que la dirección CoA se mantiene invariable durante todo el tiempo de activación del contexto de datos.

2. Escenario intermedio con *MobileIP*

En esta fase se asume la integración en un único nodo denominado IGSN de las funcionalidades del GGSN y SGSN. Esta configuración favorecería la utilización de los protocolos *Mobile IP* para realizar cambios de GSN ya que posiblemente los operadores tenderían a reducir el encaminamiento basado en el encapsulado específico de GPRS. Sin embargo, las interfaces G_n y G_p deberían mantenerse para asegurar la compatibilidad con los terminales de segunda generación así como el acceso a través de nodos GSN que todavía no soporten *Mobile IP*. Un aspecto importante apuntado es la posibilidad de realización de un traspaso entre FA cuando la sesión de datos se encuentre inactiva (estado PDP inactivo). Para ello tienen que incorporarse mecanismos que permitan informar al terminal móvil del cambio de subred IP, y por tanto de dirección CoA.

3. *Mobile IP* como mecanismo de gestión de movilidad global en la red troncal UMTS.

Finalmente el escenario previsto en este caso correspondería a la realización de todos los trasposos entre nodos IGSN mediante mecanismos *Mobile IP*, incluyendo trasposos manteniendo una sesión o varias sesiones activas. No obstante, se plantea la posibilidad de mantener las interfaces G_p y G_n por motivos de compatibilidad.

6.2.2.2.2 Ubicación de los componentes de *Mobile IP*.

La ubicación de los nodos HA, FA y DCHP en un sistema UMTS/IP para la gestión de movilidad basada en *MobileIP* depende de la terminación de la capa IP en la arquitectura adoptada y de las posibles dependencias de los elementos y entidades heredadas de GSM para dicha gestión de movilidad.

Ubicación del *Home Agent*

Un aspecto importante a tener en cuenta para ubicar el HA es la coordinación necesaria que debe existir con los nodos HLR/VLR encargados también de gestionar la movilidad de los terminales. Realmente, existe un importante solapamiento en la funcionalidad básica del HA y los elementos HLR/VLR en cuanto a que ambas entidades requieren el conocimiento actualizado del punto de acceso de un terminal móvil. Sin embargo, tal como actualmente se perfilan ambos nodos, no es posible su fusión en un único elemento, básicamente porque el concepto HLR/VLR responde a un sistema cliente/servidor independiente del plano de transmisión de la información de usuario, mientras que el HA participa directamente en la transferencia y encaminamiento de los paquetes.

En [Rainbow99a] se apuntan dos soluciones extremas para la introducción del HA en UMTS:

- Mantener la funcionalidad del HA independiente. Esta solución deriva en una gestión paralela de la movilidad por parte de los nodos HLR/VLR y por parte del HA. Por tanto, su mayor inconveniente radica en la duplicación de la señalización necesaria, además de posibles problemas surgidos de la interacción entre la información contenida en ambos sistemas.
- Reducir las funciones del HA básicamente al encaminamiento y transferencia de la información. La información de movilidad se gestionaría y guardaría por completo en el HLR/VLR y el HA debería hacer uso de ella para el encaminamiento de los paquetes. En este caso, el mayor inconveniente podría ser el excesivo número de accesos al HLR/VLR por parte de los nodos HA.

Una solución intermedia podría ser el mantenimiento de una base de datos local de forma temporal en el HA para reducir el número de interrogaciones al HLR/VLR. De cualquier forma, vemos que puede resultar conveniente disponer de un interfaz entre el HA y el HLR para evitar el duplicado de los mecanismos de movilidad, pero no está tan claro el grado de interoperabilidad que debe existir entre ambos.

Si la capa IP termina en los nodos IGSN, el HA podría ubicarse directamente en éstos o estar situado incluso en cualquier nodo accesible a través de la troncal IP. De hecho su funcionalidad podría estar distribuida en diferentes nodos según, por ejemplo, una división en el campo de direcciones IP asignadas por un operador. Un inconveniente de terminar la capa IP en los nodos IGSN es que todo el tráfico generado en el área de servicio correspondiente a un determinado IGSN debe procesarse en dicho nodo, aunque parte del tráfico sea interno. Extendiendo IP hasta los controladores, el tráfico interno a un RNC no tendría porqué alcanzar el nodo IGSN. Sin embargo, si dos terminales conectados al mismo RNC utilizan *Mobile IPv4*, los paquetes emitidos se transferirán hacia los respectivos HA que estarían ubicados en el IGSN o en la misma red troncal, de forma que el tráfico volvería a procesarse inevitablemente en el IGSN. En caso de descender el HA hasta el router del

RNC podría solucionarse parcialmente el problema: sólo el tráfico de terminales móviles registrados en el HA del RNC en cuestión no tendría que procesarse en el IGSN. Si los HAs de ambos terminales son diferentes, pero se encuentran en sendos RNCs dentro de la red IP que comunica IGSN y RNCs, la necesidad de transferir el tráfico hasta el router del IGSN dependería del esquema de encaminamiento adoptado en dicha red. Además, cuando un terminal accediera a través de una red diferente a la suya, los paquetes destinados a él deberían descender en su *Home Network* hasta el RNC correspondiente donde se encontrara emplazado su HA, a no ser que en dicha situación, se proporcionara la funcionalidad de HA eventualmente en el IGSN.

Independientemente de la ubicación del HA, si se utilizan mecanismos de optimización de encaminamiento o IPv6, el procesado de tráfico en el nodo IGSN puede descender considerablemente en caso de terminar la capa IP en el RNC. Además, la posible utilización de esquemas jerárquicos en la gestión de movilidad local entre IGSN y RNCs o esquemas del tipo *Cellular IP* (véase sección 6.2.3.2) para reducir el número de actualizaciones necesarias del HA, hacen completamente viable la ubicación del HA a nivel de IGSN.

Ubicación del *Foreign Agent*

El FA puede proporcionar la dirección CoA y desencapsular los paquetes destinados a los terminales móviles registrados en él. Si la capa IP termina en el IGSN, la ubicación preferible del FA sería el mismo IGSN ya que necesariamente el FA debe estar inmerso en el segmento de red gestionado por el operador. La posterior entrega de los paquetes IP a los terminales destino dependería de los mecanismos de transferencia habilitados en los enlaces IGSN-RNC. En caso de utilizarse IP hasta el nodo RNC, el encaminamiento debería hacerse en función de la dirección *Home* de los usuarios. Una posible solución para este último caso podría ser *Cellular IP*.

Otra alternativa posible en caso de que IP llegue hasta el RNC, podría ser la ubicación del FA en el mismo RNC. De esta forma el encaminamiento desde el IGSN hasta el RNC se realizaría en función de las direcciones CoA asignadas en cada FA. El principal inconveniente radica en el incremento de actualizaciones necesarias del HA debido al aumento de trasposos entre FA. Una posible solución podría ser la utilización de un esquema jerárquico de dos niveles con un FA principal en el nodo IGSN y un FA en cada nodo RNC. De esta forma el FA del IGSN podría actuar como HA de los diferentes FA-RNC y el HA del terminal móvil únicamente dispondría de la dirección del FA-IGSN. En la sección 6.2.3 sobre movilidad local se describe más detalladamente dicha solución.

La utilización de direcciones *Colocated CoA* en IPv4 o el uso de IPv6 evitaría el uso de FA. Por otro lado, dicha situación repercutiría en una menor eficiencia en la transmisión radio de los paquetes IP debido a la presencia del encapsulado y a posibles problemas de gestión de direcciones en IPv4. No obstante, la gestión de direcciones podría mejorarse mediante la utilización del mecanismo DHCP.

Ubicación del DHCP.

En cuanto al protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), en caso de llegar IP hasta el nodo IGSN, debería ubicarse en un nodo de la red troncal, siendo el propio IGSN y el HLR candidatos a ello. Este nodo sería el encargado de proporcionar las direcciones propias (*Home address*) de los nuevos usuarios del sistema y de las direcciones CoA necesarias en los sucesivos accesos. De la misma forma, la limitación principal es la centralización de dicha solución. No obstante, podrían distribuirse nodos DHCP encargadas de la gestión de particiones en el espacio total de direcciones asignadas a un único DHCP. En caso de extender IP hasta el nodo RNC, la funcionalidad de asignación de direcciones propias podría mantenerse centralizada pero la asignación exclusiva de CoA podría distribuirse a nivel de RNCs.

6.2.3. Movilidad local.

Tal como hemos apuntado en la sección 6.2.1, entendemos por movilidad local la transferencia y encaminamiento de la información desde el nodo IGSN hasta los puntos de acceso que proporcionan servicios de capa enlace hacia/desde los terminales móviles. A continuación se detallan diferentes configuraciones en función de la tecnología adoptada para conectar los puntos de acceso y el nodo IGSN. En todas las configuraciones vamos a suponer el FA ubicado en el IGSN, si no se explicita lo contrario.

6.2.3.1. Red de área local para interconectar los puntos de acceso.

Los puntos de acceso se comportarían como *bridges* desde el punto de vista de la red local. Los paquetes IP se encaminarían hacia el punto de acceso donde estuviera conectado el terminal móvil mediante direccionamiento a nivel de MAC. Una solución en esta línea está más ligada a esquemas basados en *wireless LAN* donde algunos productos ofrecen soluciones propietarias que difícilmente resultan compatibles entre ellas. Existe un protocolo denominado IAPP (*Inter-Access Point Protocol*) que intenta resolver dicho problema de incompatibilidad. La idea básica es que los puntos de acceso notifiquen su presencia para que puedan aprender la estructura de red. IAPP también soporta facilidades de traspaso de tipo forward entre puntos de acceso. En [Ensuque99] se apunta que dicho tipo de mecanismos funcionan bien con *Mobile IP* por que no requieren ninguna interacción y su ámbito de operación es totalmente complementario.

6.2.3.2. Red IP entre IGSN-RNC.

En este punto se considera que el mecanismo de transporte utilizado entre el nodo IGSN y los puntos de acceso, en este caso controladores RNC con funciones de encaminamiento, está basado en una red IP.

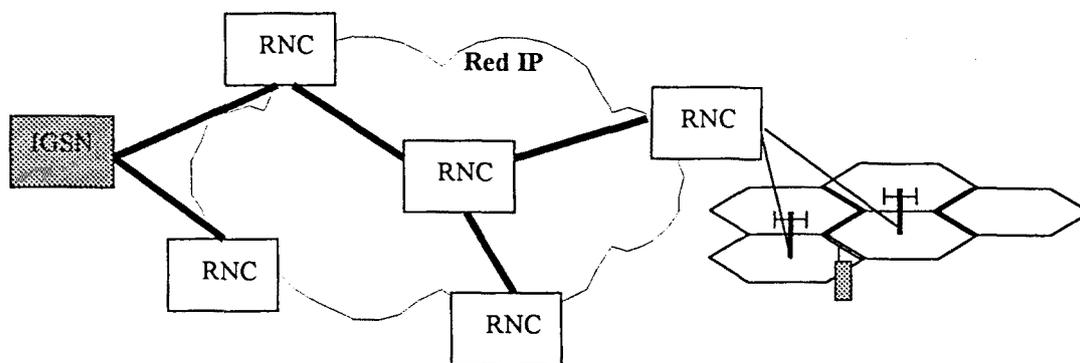


Figura 6-3. Red IP para interconectar IGSN y RNCs

En caso de que la red estuviera constituida por un solo segmento, en [Cáceres96] se plantea un mecanismo de traspaso basado en la utilización del protocolo ARP. En dicha propuesta, los puntos de acceso actúan como un *ARP proxy* para los terminales móviles accesibles en su zona de cobertura. De esta forma, cuando el terminal decide acceder a través de una nueva estación de base, notifica su intención a la estación de base candidata y ésta le confirma su petición aceptándolo o bien rechazándolo. En caso positivo, la nueva estación de base procede a notificar a la antigua estación de base el cambio efectuado por el terminal para, seguidamente, enviar un mensaje de forma broadcast para que los *routers* y nodos interesados actualicen sus tablas ARP con la nueva dirección del punto de acceso.

Según [Cáceres96], el mecanismo de *handover* ARP puede realizar traspasos de forma satisfactoria en tiempos del orden de 10 ms, con una tasa de pérdida de paquetes muy reducida. No obstante, tal como hemos mencionado anteriormente, su aplicación está limitada a un único segmento de red, debido a que los mensajes del protocolo ARP solo se difunden en un segmento.

Soluciones más generales que no dependen de la estructura de red IP utilizada son los siguientes:

Cellular IP. Este protocolo se plantea como una solución específica para abordar la movilidad local [Valko98]. La arquitectura planteada en *Cellular IP* consiste en una serie de nodos IP con funcionalidades de encaminamiento específicas y un nodo principal denominado *Cellular IP Gateway*. Tomando como referencia la arquitectura ilustrada en la Figura 6-3, los RNC constituirían los nodos de la red *Cellular IP* y las funciones de *Gateway* residirían en el IGSN. El encaminamiento en la red *Cellular IP* se realiza de forma diferente para los sentidos ascendente y descendente. Los paquetes enviados por los terminales móviles, accesibles en uno de los nodos, son encaminamientos hacia el *Gateway* independientemente de su dirección de destino. En dicho proceso, los nodos intermedios actualizan unas tablas de encaminamiento (*Routing Caches*) formadas por entradas del tipo: {dirección IP del terminal móvil, interfaz de llegada, tiempo de expiración}. De esta forma, en el sentido

descendente, los paquetes IP dirigidos a los terminales móviles pueden ser encaminados hacia las interfaces IP que figuran en las tablas de encaminamiento de cada nodo, recorriendo justamente el camino inverso del enlace ascendente. El tiempo de expiración indica el tiempo que la entrada correspondiente tendrá validez en caso de que no se reciba ningún paquete en el enlace ascendente. Con ello se pretende añadir cierta flexibilidad a la gestión de actualización de las tablas, evitando situaciones inconsistentes. No obstante, en aras a realizar un seguimiento del terminal cuando éste se encuentre en activo en el sistema pero sin ninguna conexión en curso (estado denominado *idle*), se especifica un procedimiento denominado *Paging Update* para mantener actualizadas unas tablas de encaminamiento adicionales (*Paging Caches*) con tiempos de expiración mucho más elevados.

Multicast IP. Una dirección *multicast* permite el envío de un paquete a diferentes terminales que, previa configuración o registro, sean miembros de lo que se denomina un grupo multicast. Dichos terminales pueden estar ubicados en redes diferentes. La ventaja principal respecto a direcciones *unicast* es que, en caso de aplicaciones donde la misma información deba enviarse a varios terminales, únicamente es necesario enviar un paquete y serán los enencaminadores los encargados de construir el árbol de distribución a los terminales implicados. En caso contrario, el paquete inicial debería mandarse repetidamente para cada uno de los miembros del grupo. La solución apuntada en [Seshan96] consiste en asignar direcciones CoA del tipo *multicast* a los terminales móviles. De esta forma, varias estaciones de base pueden entrar o abandonar el grupo multicast asignado a un terminal. Todas las estaciones de base pertenecientes al grupo multicast reciben la información destinada al terminal en cuestión pero únicamente una envía la información a la interfaz radio. La principal ventaja de este mecanismo es la rapidez en que puede ejecutarse un traspaso, suponiendo que la actualización del grupo multicast se lleva a cabo correctamente. Su limitación más evidente consiste en el incremento de tráfico en la red IGSN-RNC.

También existe la posibilidad de implementar la movilidad local con *Mobile IP*. Para resolver los problemas de retardo y exceso de señalización planteados en caso de adoptarse una solución global y única basada en *Mobile IP*, se puede plantear una estructura jerarquizada con diferentes niveles de funcionamiento para *Mobile IP*. En la Figura 6-4 se muestra una posible configuración aplicada al segmento entre IGSN y RNCs.

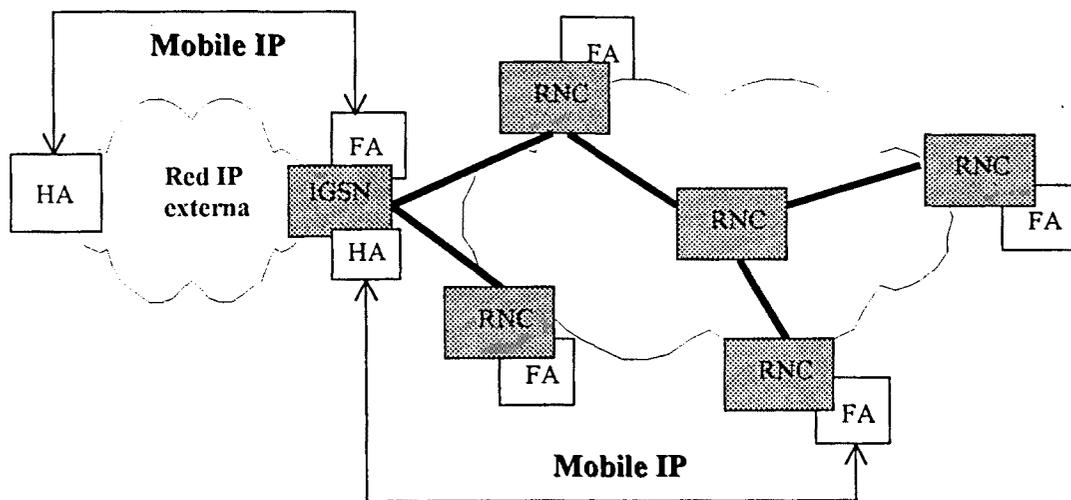


Figura 6-4. Movilidad global y local con estructura jerarquizada basada en *Mobile IP*.

El HA del terminal móvil únicamente contendría una dirección perteneciente al FA ubicado en el nodo IGSN. De esta forma, los cambios entre RNCs resultarían transparentes al HA y a todos los nodos residentes en la red externa. En cambio, internamente, el terminal se registraría en los FA situados en los RNC y la dirección CoA de éstos sería la que aparecería en las tablas del HA ubicado en el RNC.

En [Castell99] se presenta una solución jerarquizada basada en IPv6. En dicha propuesta se define el concepto de *Mobility Network* (MN), consistente en una subred virtual de terminales o segmentos de red desde el punto de vista de terminales externos. De esta forma, únicamente resulta necesario proporcionar una dirección CoA 'virtual' al HA para identificar un punto de acceso cualquiera perteneciente a una determinada MN. Dentro de dicha MN cada terminal dispone de una dirección CoA 'física' adicional para poder establecer conexiones con los nodos de dicha MN de forma más eficiente. En cada MN existe uno o varios nodos denominados *Mobility Agents* (MA) encargados de realizar la traducción de direcciones entre la CoS 'virtual' y la CoS 'física'.

6.2.3.3. Mecanismos de nivel de enlace.

La gestión de movilidad local mediante mecanismos de nivel de enlace está basada en el mantenimiento de una sesión de enlace de datos que permita abordar el cambio de celda de forma transparente a la capa de red. Los sistemas GPRS y CDPD utilizan este tipo de mecanismos para el cambio de celdas controladas por el nodo de red donde termina la capa de enlace: SGSN en GPRS y MDIS (*Mobile Data Intermediate System*) en CDPD. En [Ayanoglu95] se describe un protocolo de enlace asimétrico a fin de minimizar la capacidad de procesamiento requerida en el terminal móvil.

En la sección 6.3 se describe detalladamente la gestión de movilidad en GPRS.

6.3. Gestión de movilidad en GPRS

6.3.1. Introducción

En el sistema GPRS la gestión de movilidad y el encaminamiento de los paquetes se basan en la creación y actualización de estructuras de datos denominadas contextos en el terminal móvil y en los nodos SGSN y GGSN. Concretamente se definen dos tipos de contextos: MM (*Mobility Management*) y PDP (*Packet Data Protocol*). En el terminal móvil y en el nodo SGSN se encuentran ambos, mientras que en el GGSN únicamente son necesarios los contextos PDP. Básicamente la información del contexto MM contiene la identidad del móvil, el estado del móvil (IDLE, STANDBY, READY), información del área de encaminamiento (concepto análogo a las áreas de localización GSM), la celda actual de acceso para móviles en estado READY y punteros a diferentes contextos PDP activados para dicho móvil. Cada contexto PDP contiene el tipo de red de datos (X.25, IP), la dirección asociada al móvil dentro de la red de datos y el perfil de QoS acordado. Además, en los nodos SGSN y GGSN se incluye la información de encaminamiento interna necesaria para transmitir los paquetes de datos encapsulados entre los nodos GSN. La gestión de la información contenida en los contextos se consigue mediante la implementación de las funciones de registro y actualización de la localización a nivel de celda o bien de área de encaminamiento. En los siguientes apartados se explica más detalladamente la funcionalidad de los contextos PDP y MM, los procedimientos definidos en GPRS para su actualización y la gestión de direcciones en GPRS para finalmente abordar la problemática de los traspasos entre celdas.

6.3.2. Contexto para la gestión de la movilidad de un terminal.

6.3.2.1. Estados funcionales

En GPRS el comportamiento de un usuario se caracteriza mediante la definición de tres estados: IDLE, STANDBY y READY. El modelo de tres estados se adapta mejor al comportamiento de servicios orientados a la transmisión por paquetes que el modelo de dos estados, IDLE y ACTIVE, característico de la conmutación de circuitos. Cada estado identifica un grupo de funciones disponibles así como la información necesaria asociada al usuario en dicho estado.

Estado IDLE.

Un móvil en estado IDLE no se encuentra accesible desde GPRS. No existe ningún contexto activado en los nodos SGSN que contenga información referente a dicho usuario. Por tanto, no se realiza ninguna de las funciones de gestión de la localización. No obstante, el usuario puede recibir mensajes del tipo punto-multipunto (PTM). Los procedimientos de selección o re-selección de celda se llevan a

cabo en este estado para determinar la celda candidata en vista a un posterior acceso al servicio de paquetes o de conmutación de circuitos.

Estado STANDBY

El móvil y el SGSN disponen de contextos con información referente al usuario del servicio GPRS. En este estado, el usuario puede recibir transmisiones PTM, además de mensajes de *paging* para transmisiones punto a punto (PTP) o servicios sobre la red de circuitos (CS, Circuit Switched). Sin embargo, para transmitir o recibir mensajes PTP o bien transmitir PTM es necesario conmutar al estado READY. Los mecanismos de selección de celda se llevan a cabo igualmente pero ahora el móvil en estado STANDBY el terminal tiene que realizar actualizaciones del área de encaminamiento (RA). De esta forma, el contexto del nodo SGSN contiene en todo momento el identificador correspondiente al área de localización donde se encuentra el terminal. Previamente a la transmisión/recepción PTP o PTM-G el móvil debe activar los contextos PDP en los nodos GGSN. Dicha activación puede realizarse estando el móvil en STANDBY.

Estado READY

En estado READY el móvil puede transmitir y recibir mensajes PTP y PTM. A diferencia del estado STANDBY, el nodo SGSN conoce la celda actual donde se encuentra el móvil gracias a la realización de procedimientos de actualización de celda. La elección de la celda queda supeditada a la ejecución de los mecanismos de selección o re-selección de celda que excepcionalmente pueden ser forzados desde la red en estado READY. La activación de contextos PDP puede llevarse a cabo también en este estado. El móvil puede permanecer en estado READY sin necesidad de estar transmitiendo/recibiendo ningún mensaje. Un contador controla la transición a estado STANDBY después de un tiempo de inactividad.

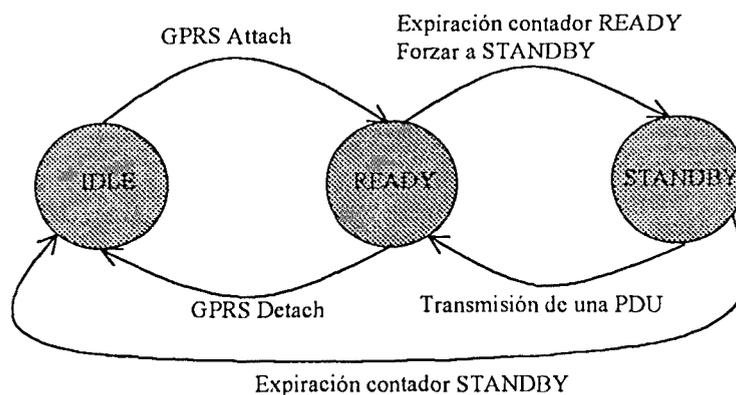


Figura 6-5 . Estados para la gestión del contexto de movilidad

En la Figura 6-5 se representan los tres estados y las posibles transiciones entre ellos. El procedimiento para pasar de IDLE a READY se denomina *GPRS Attach Procedure* y puede llevarse a cabo juntamente con el mecanismo de *IMSI Attach* utilizado para servicios CS. El mecanismo opuesto se conoce como *GPRS Detach Procedure*. Una vez en estado READY se conmuta a STANDBY de forma forzada o bien después de la detección de cierto periodo sin producirse ninguna transmisión/recepción de tramas de enlace (LLC PDU). El paso de STANDBY a READY se produce de dos formas diferentes según se trate del contexto residente en el terminal o bien del que se gestiona en el nodo SGSN: el terminal pasa a READY cuando se empieza la transmisión de una LLC PDU; el contexto del nodo SGSN se actualiza a READY cuando se recibe correctamente una LLC PDU del móvil. Así pues, los estados READY y STANDBY se van alternando durante todo el tiempo en que el móvil permanece enganchado al servicio GPRS.

Existe un modelo simplificado consistente en dos estados IDLE/READY para soportar accesos anónimos al servicio. Mediante el acceso anónimo el usuario puede transmitir información sin identificación alguna por parte del sistema. La transición entre ambos estados viene condicionada por los procedimientos de activación de contextos PDP en los nodos GGSN.

6.3.2.2. Información almacenada en los contextos MM

El contexto de gestión de movilidad se encuentra distribuido entre el terminal móvil y el SGSN. Básicamente la finalidad de la información contenida es proporcionar los parámetros de accesibilidad del móvil desde la red. En la Tabla 6-1 se recogen los principales campos ubicados en el contexto MM que intervienen de alguna forma en los mecanismos de transferencia según el nodo en cuestión. Aparte, el contexto MM contiene otros parámetros para autenticación y cifrado, identificación de las capacidades del equipo terminal (Classmark) e identificadores varios (IMEI, MSISDN).

Tabla 6-1. Principales campos del contexto MM

Campo	Descripción	Ubicación
IMSI	Identificador universal del usuario	SGSN
MM State	IDLE, STANDBY o READY	Ambos
P-TMSI	Identificador temporal asignado por el SGSN al MS válido en un área de encaminamiento. A partir de extrae el TLLI.	Ambos
Routing Area	Identificador del área de encaminamiento	Ambos

Cell Identity	Identificador de la celda por la que se encuentra accesible el terminal.	Ambos
New SGSN Address	Dirección IP del nuevo SGSN en caso de producirse una actualización del área de encaminamiento entre SGSN	SGSN
VLR Number	Dirección del VLR que gestiona el mismo MS para servicios CS	SGSN
MNRG	Indica si la detección de actividad en el móvil debe notificarse al HLR	SGSN
NGAF	Indica si la detección de actividad en el móvil debe notificarse al VLR/MSC. Se activa a petición del MSC/VLR y se desactiva después de alertar al MSC/VLR previa detección de actividad.	SGSN
PPF	Indica si pueden iniciarse mecanismos de paging hacia el MS. Su activación está controlada por un contador.	SGSN

6.3.3. Contexto para la gestión de sesiones de datos *PDP (Packet Data Protocol)*

6.3.3.1. Estados funcionales

Para proceder a la transmisión de paquetes es necesario activar un contexto PDP. Cada contexto PDP contiene información de una de las varias direcciones PDP que puede tener asignado un usuario mediante subscripción. El contexto puede encontrarse únicamente en dos estados: activo e inactivo. En estado inactivo, el contexto no contiene información de encaminamiento y por tanto no es posible la realización de ninguna transferencia. En estado activo, la información de encaminamiento se actualiza en función de los procedimientos de gestión de movilidad para permitir la transferencia de información. Únicamente se puede pasar a dicho estado si el correspondiente estado de gestión de movilidad asociado al terminal es STANDBY o READY. Existe información del contexto PDP en el terminal móvil, SGSN y GGSN. En la Figura 6-6 se muestra el modelo de estados y los procedimientos que permiten la transición entre ellos: *Activate/Deactivate PDP Context* o bien cuando se produce un cambio a modo IDLE en el contexto de gestión de movilidad.

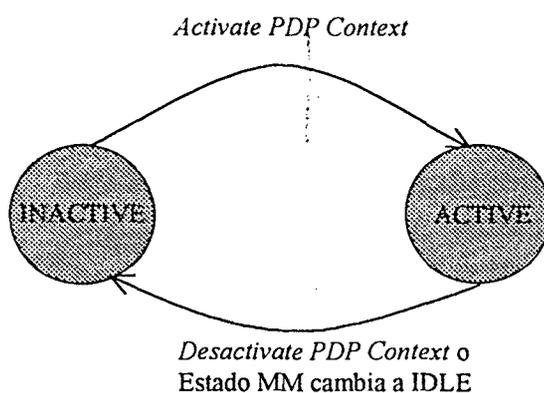


Figura 6-6. Diagrama funcional de un contexto PDP

6.3.3.2. Información almacenada en los contextos PDP

Los contextos PDP se encuentran ubicados simultáneamente en el MS, SGSN y GGSN. Contienen la dirección utilizada por el móvil para acceder a la red de paquetes externa y todos los parámetros asociados que hacen posible el encaminamiento de la información. En los contextos PDP se recogen también los requisitos de QoS soportados en dicha conexión. La Tabla 6-2 lista los principales campos del contexto PDP.

Tabla 6-2. Principales campos del contexto PDP

Campo	Descripción	Ubicación
PDP Type	Tipo de red externa (IP, X.25)	Todos
PDP Address	Dirección (IP, X.121)	Todos
PDP State	ACTIVO, INACTIVO	Todos
NSAPI	SAP utilizado en la capa de enlace LLC	Todos
Dynamic Address	Indica si se permite la asignación de direcciones de forma dinámica	MS/GGSN
APN	Identificador del tipo DNS que permite seleccionar el GGSN a la vez que sirve en el mismo GGSN de identificador de la red de paquetes externa	SGSN/GGSN

GGSN Address	Dirección IP del nodo GGSN	SGSN
SGSN Address	Dirección IP del nodo SGSN	GGSN
VPLMN Address Allowed	Indica si se puede acceder a la red externa a través de un nodo GGSN de una red GPRS visitada.	SGSN
QoS	Parámetros de calidad suscritos, solicitados y concedidos.	Todos
Radio Priority Level	Prioridad en los mecanismos RLC/MAC	SGSN/MS
SND	Control de secuencia para tramas enviadas vía GTP entre nodos en caso de requerirse mantenimiento del orden de entrega	GGSN/SGSN
SNU	Control de secuencia para tramas recibidas vía GTP entre nodos en caso de requerirse mantenimiento del orden de entrega	GGSN y SGSN
Reordering Required	Indica si es necesario el orden de entrega	GGSN/SGSN
MNRG	Indica si la detección de actividad en el móvil debe notificarse al HLR	GGSN

6.3.4. Operación conjunta de los contextos MM y PDP

Una vez analizados los contextos MM y PDP, en esta sección se describe el funcionamiento conjunto de ambos para gestionar la movilidad en el sistema GPRS. Cuando un usuario se suscribe al servicio GPRS, en el HLR se almacena información correspondiente a los diferentes perfiles de datos contratados. Concretamente, para cada perfil de datos tenemos:

- tipo de red (IP, X.25),
- dirección de red asignada,
- perfil de QoS,
- APN (Véase Tabla 6-2)
- *VPLMN Address Allowed* (Véase Tabla 6-2)

En caso de no asignarse una dirección de red permanente, ésta puede asignarse de forma dinámica durante la creación del contexto PDP en el nodo GGSN, ya sea perteneciente a la red propia o bien en una red visitada.

Cuando un terminal registrado quiere acceder al servicio GPRS, mediante el mecanismo de GPRS *Attach* se establece un contexto MM en el nodo SGSN. Posteriormente, el terminal procede a la activación del contexto de datos en el nodo GGSN pertinente. La elección de dicho nodo depende de los parámetros de suscripción vistos anteriormente y, en caso de no existir ninguna restricción, su elección se realiza por defecto en el nodo SGSN que contiene el contexto MM. Una vez establecido el contexto PDP en los nodos GGSN y SGSN, el terminal puede iniciar su acceso a la red de datos. En la Figura 6-7 se representa de forma esquemática la configuración global de contextos y los identificadores que permiten en cada tramo discriminar la información de diferentes usuarios.

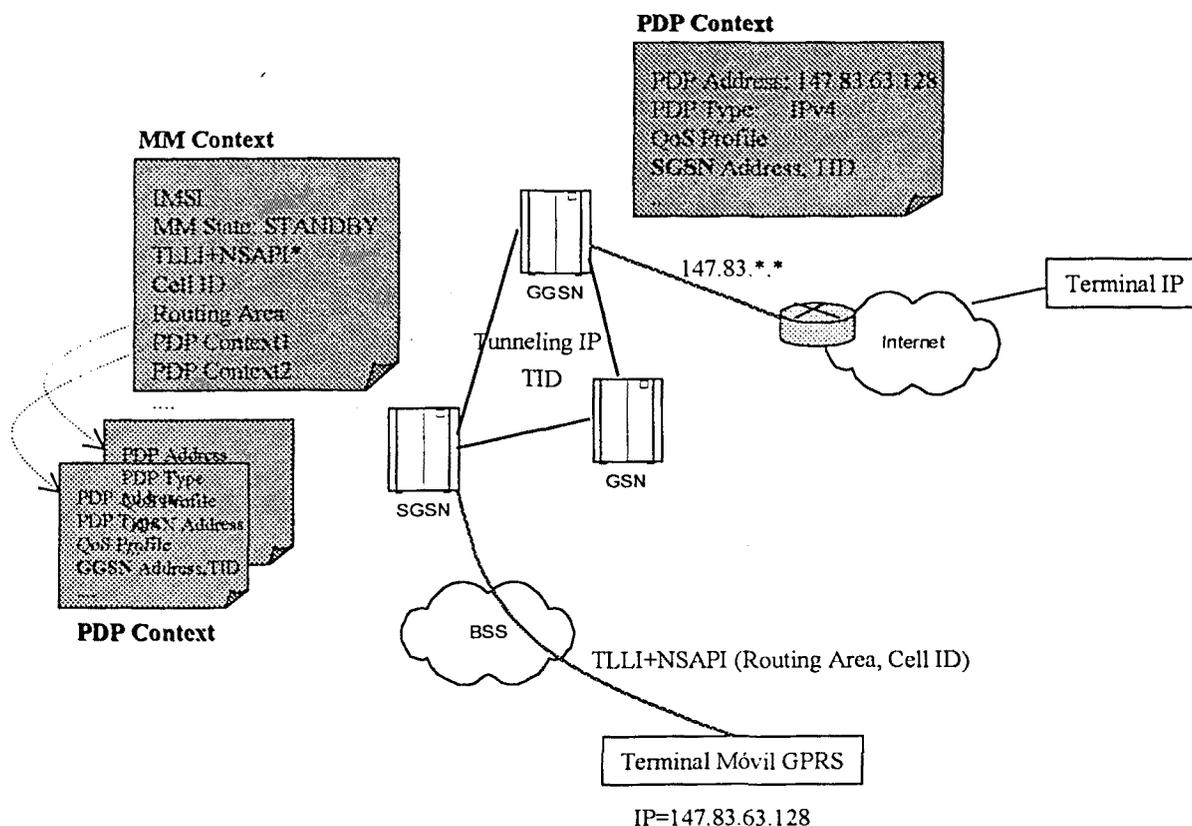


Figura 6-7. Contextos MM y PDP utilizados en la gestión de movilidad en GPRS.

Tal como se desprende de la Figura 6-7, en el segmento radio (BSS) los terminales tienen asignado un identificador a nivel de capa de enlace denominado TLLI (Temporary Logical Link Identity). Adicionalmente existe otro identificador denominado NSAPI (Network Service Access Point Identifier) utilizado para discriminar entre los diferentes contextos de datos (PDP) que puede tener activos de forma simultánea un terminal móvil. La combinación TLLI+NSAPI es única dentro de un

área de encaminamiento (RA). En el segmento de red, el encaminamiento se realiza en base a un identificador de encapsulado denominado TID (Tunmer Identifier).

El punto de acceso a la red de datos se mantiene durante toda la conexión. En cambio, pueden efectuarse trasposos entre los SGSN. Los procedimientos asociados al cambio de celda se detallan en la sección 6.3.6.2.

6.3.5. Procedimientos para la gestión de contextos PDP

6.3.5.1. Activación/Desactivación

La activación de un contexto PDP se inicia normalmente en el terminal móvil después de haber efectuado con éxito el procedimiento de registro. La posibilidad de iniciar la activación desde el GGSN también se contempla pero únicamente es aplicable a usuarios que dispongan de una suscripción con una dirección de IP asignada de forma permanente. Básicamente, el procedimiento de activación conlleva la elección del nodo GGSN que va a utilizarse como salida a la red de datos y la negociación de los parámetros QoS que puede proporcionar el sistema en ese instante, ambos aspectos siempre en función de los parámetros suscritos. Es posible la activación simultánea de varios contextos, de forma que, el usuario puede utilizar direcciones de red distintas y tener asociadas a cada una de ellas condiciones de QoS diferentes.

La desactivación de los contextos también se realiza mediante señalización a tal efecto, pero se contempla la posibilidad de eliminarlos automáticamente en el caso de detectarse que el terminal ha pasado ha estado IDLE sin ejecutar el procedimiento de desactivación.

6.3.5.2. Modificación

El nodo SGSN puede iniciar la modificación de los parámetros negociados durante el establecimiento del contexto PDP. Concretamente los parámetros que pueden variarse son el valor de QoS negociado y el valor de prioridad radio. El SGSN informa de los cambios al nodo GGSN y al terminal mediante el envío de mensajes de señalización específicos, aunque también se contempla la posibilidad, en el caso del terminal, de incluir dicha información en otros mensajes de señalización que se estén cursando.

6.3.6. Procedimientos para la gestión de movilidad

6.3.6.1. Procedimientos de registro (GPRS *Attach/Detach*)

El procedimiento de *Attach* es necesario para activar los contextos de movilidad que van a permitir la operación del usuario en GPRS. Se inicia en el terminal móvil mediante el envío de un mensaje *Attach*

Request al nodo SGSN del cual depende la celda seleccionada para el acceso. El mensaje contiene un identificador del usuario, ya sea directamente el IMSI o bien el identificador temporal GPRS (P-TMSI) que tenía el móvil durante su anterior activación, aparte de información relevante del terminal móvil (*Classmark*, parámetros DRX, etc.). Tras la recepción del mensaje en el SGSN se puede iniciar toda una serie de procedimientos hacia el antiguo SGSN, el HLR, y el MSC/VLR en función de si:

- El nodo SGSN es diferente del previo donde se realizó el GPRS *detach*
- Se debe realizar de forma simultánea un IMSI *Attach* (*Combined GPRS/IMSI Attach*) o bien el usuario ya se encuentra registrado para servicios CS en un determinado MSC/HLR.

Finalmente el resultado es que el nodo SGSN dispone de un contexto MM activo para el usuario en cuestión, con todos los datos necesarios para poder iniciar la activación de un contexto PDP en el nodo GGSN, y el HLR contiene la dirección actualizada del nodo SGSN. El terminal móvil recibe la confirmación del registro y el nuevo identificador temporal P-TMSI si procede.

El terminal móvil, para poder realizar el primer acceso al SGSN, utiliza un identificador TLLI aleatorio u obtenido a partir del anterior P-TMSI para identificarse durante el acceso RLC/MAC. Tras la asignación de un identificador P-TMSI válido, se deduce el nuevo TLLI y se realiza la correspondiente asignación en los procesos LLME del terminal móvil y del SGSN.

El mecanismo de GPRS *Detach* se utiliza para finalizar explícitamente el acceso del usuario a los servicios GPRS. Al igual que el GPRS *Attach* puede combinarse con el procedimiento de IMSI *Detach* hacia el MSC/VLR si procede. El mecanismo puede ser iniciado por el móvil o por la red, siendo en este último caso el SGSN o bien el HLR los posibles ordenantes. Tras su ejecución, los contextos PDP y MM pasan a estado inactivo en el SGSN y se puede proceder a su eliminación definitiva después de un cierto periodo.

Existe otra forma de abandonar el servicio GPRS y es la que en las recomendaciones se califica como implícita. Si estando en STANDBY expira el contador asociado o bien se produce una desconexión del enlace lógico por errores radio irrecuperables, los contextos asociados pasan a estado IDLE directamente. Posteriormente el nodo SGSN desactivaría los contextos PDP y, en caso de eliminarlos, enviaría una notificación al HLR (conocido como la función *Purge*).

6.3.6.2. Procedimientos de Gestión de la Localización

La gestión de la localización en GPRS se estructura en una serie de mecanismos que permiten seleccionar la celda y la red de acceso adecuadas así como disponer en el contexto del nodo SGSN del

identificador del área de encaminamiento (RA) donde se encuentra el móvil e incluso del identificador de la celda seleccionada si el estado del contexto de movilidad es READY.

El terminal móvil dispone de la información necesaria, suministrada por la red, para decidir qué tipo de procedimiento debe iniciar después de entrar en una nueva celda. Si la celda pertenece a la misma área de encaminamiento actual se llevará a cabo una actualización de celda únicamente en caso de encontrarse en estado READY el contexto MM. Si la celda pertenece a una nueva área de encaminamiento, independientemente del estado del contexto MM, se iniciará una actualización del área de encaminamiento. Dicha actualización del área de encaminamiento puede compaginarse con una actualización de área de localización para móviles registrados en el servicio GSM.

6.3.6.2.1 Actualización de celda.

El mecanismo de actualización de celda consiste únicamente en el envío de una trama LLC hacia el nodo SGSN. La trama LLC puede ser simplemente una trama de supervisión (RR por ejemplo) si no se dispone de información para transmitir en ese instante. La recepción de la trama por la nueva celda hace que el proceso BSSGP actualice su tabla de encaminamiento con la dirección de dicha celda para las tramas con el identificador TLLI recibido. La trama LLC se entrega al SGSN junto con el identificador de celda pertinente y se actualiza el campo a tal efecto en el contexto MM de forma que posteriores envíos hacia el móvil serán ya re-dirigidos hacia la nueva celda.

6.3.6.2.2 Actualización del área de encaminamiento.

Cuando la nueva celda seleccionada por el terminal pertenece a un área de encaminamiento diferente se inicia una actualización del área de encaminamiento. El procedimiento también puede iniciarse de forma periódica dentro de la misma área de encaminamiento para evitar situaciones inconsistentes en los contextos de movilidad. En caso de no recibirse periódicamente actualizaciones del área de encaminamiento se puede forzar la desactivación del *flag* PPF en el nodo SGSN interrumpiéndose la transmisión de mensajes hacia el terminal móvil.

El procedimiento siempre es iniciado por el móvil y su señalización básica es la representada en la Figura 6-8. El terminal móvil envía el mensaje ROUTING_AREA_UPDATE_REQUEST con el identificador P-TMSI y el área de localización antiguos. Previamente a la recepción de la confirmación o rechazo de su solicitud, se pueden llevar a cabo procedimientos de autenticación, cifrado y petición de identidades. En caso satisfactorio, el terminal recibe el mensaje ROUTING_AREA_UPDATE_ACCEPT. Si dicho mensaje contiene la asignación de un nuevo identificador temporal P-TMSI o el elemento de información denominado LLC V(R) List con

información de la tramas correctamente recibidas hasta ese instante en los procesos LLE del nodo SGSN, el terminal debe completar el procedimiento mediante el envío de un mensaje ROUTING_AREA_UPDATE_ACCEPT. Dicho mensaje puede también contener el estado de las variables de estado V(R) de los procesos existentes en el terminal móvil.

En cambio, los procedimientos invocados en la red como consecuencia de la recepción de una petición de actualización de encaminamiento dependen de si la nueva área de encaminamiento está controlado desde un nodo SGSN diferente. Desde este punto de vista se distingue entre actualización de encaminamiento dentro del mismo SGSN (*intra* SGSN) y entre diferentes SGSN (*inter* SGSN). A continuación se detallan ambos mecanismos.

Áreas de encaminamiento controladas por el mismo SGSN

Prácticamente no se requiere señalización desde el SGSN hacia la red salvo en el caso de que sea necesaria el acceso al HLR para obtener información del usuario (seguridad, suscripción) o bien se requiera paralelamente una actualización de la localización. En caso de que el mensaje de aceptación de la actualización de encaminamiento contenga la asignación de un nuevo identificador el móvil confirma la nueva identidad.

Es importante remarcar que el estado de las entidades LLC en el nodo SGSN puede mantenerse inalterado y continuar su ejecución normal tras la finalización de la actualización de encaminamiento.

Áreas de encaminamiento controladas por diferentes SGSN

En este caso los procesos de señalización llevados a cabo en la red son más complejos ya que debería poder garantizarse la máxima transparencia al encaminamiento y transferencia de los paquetes de información del usuario. En la Figura 6-8 se encuentran detallados los mecanismos imprescindibles en caso de que no se requiera una actualización de la localización de forma coordinada. El nuevo nodo SGSN recibe la petición de actualización y a partir del identificador de la antigua RA debe deducir la identidad del antiguo nodo SGSN donde residen los contextos MM y PDP asociados al móvil solicitante.

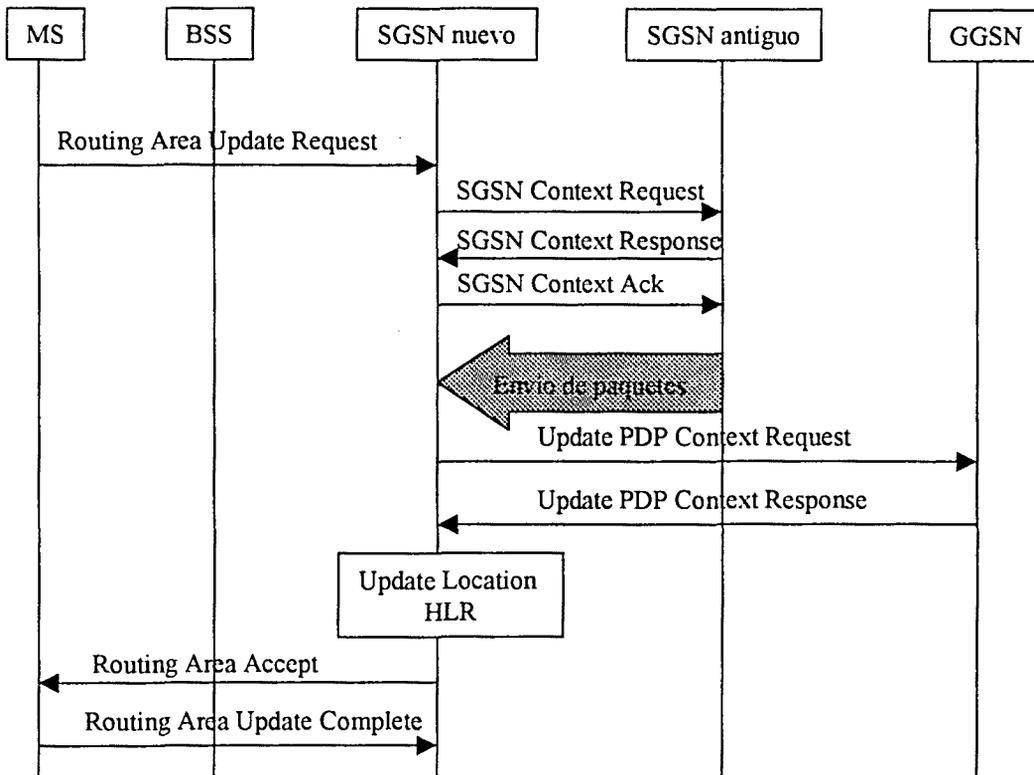


Figura 6-8. Señalización básica en una actualización de área de encaminamiento entre SGSN

Una vez recibida la petición en el nodo SGSN se procede a solicitar los contextos de movilidad y sesiones residentes en el antiguo SGSN. Para ello se envía un mensaje *SGSN Context Request* a través del interfaz G_n , donde se hace referencia al terminal móvil por su TLLI y RAI antiguos. En caso satisfactorio, el SGSN antiguo responde con un *SGSN Context Response* con la información necesaria para establecer los contextos en el nuevo nodo e información para proceder con los mecanismos de seguridad. Un elemento opcional que puede contener dicha respuesta consiste en el valor de las variables de estado V(R) de las diferentes conexiones LLC establecidas a través del antiguo nodo SGSN (Véase Anexo II del Capítulo 7 para una descripción más detallada de las variables de estado utilizadas en la capa LLC). Tras el establecimiento de los contextos en el nuevo SGSN, si existe algún contexto PDP activado, se envía al nodo antiguo una confirmación (*SGSN Context Ack*) que inicia el envío de posibles tramas N-PDU guardadas en el SGSN que no han sido enviadas o en todo caso pendientes de confirmación. Además, en caso de existir algún contexto activo en el nodo SGSN antiguo, tras el envío del mensaje *SGSN Context Response*, se guarda la dirección del nuevo SGSN y durante un periodo controlado por el contador T3-TUNNEL se reenvían todas las N-PDUS destinadas al terminal móvil hacia su nuevo nodo SGSN. Tanto el envío de tramas guardadas como nuevas no se lleva a cabo hasta la recepción de la confirmación de la activación del contexto en el nuevo SGSN.

Una vez actualizados los contextos en el nuevo SGSN, el siguiente paso es proceder a la actualización de los contextos PDP en el nodo GGSN. El mecanismo consiste básicamente en el intercambio de la

petición *Update PDP Context Request* y su consiguiente confirmación o rechazo. Seguidamente, se notifica al HLR del cambio de SGSN y éste, en caso de no existir restricciones de acceso por el nuevo SGSN, le envía los datos de suscripción del usuario en cuestión. Desde el HLR se procede también a la cancelación del registro MM residente en el antiguo SGSN.

Finalmente, el SGSN contesta a la petición inicial del móvil con un *Routing Area Update Accept* donde le pasa su nuevo identificador temporal P-TMSI y, si procede, el elemento de información con el valor de V(R) de las antiguas conexiones LLC. El terminal confirma la recepción de la respuesta enviando un *Routing Area Update Complete* donde también incluiría los valores V(R) correspondientes a las entidades LLE del móvil.

6.4. Consideraciones sobre el control del traspaso en redes de paquetes.

El procedimiento de actualización de celda definido en GPRS puede considerarse como un mecanismo de traspaso *forward*, decidido en el terminal móvil y asistido por la red. En los algoritmos de decisión se incluyen parámetros de control difundidos por el sistema. Dichos parámetros condicionan la decisión al estado del sistema e influyen en la elección de la nueva celda destino. Existe también la posibilidad de que el cambio de celda esté controlado completamente por la red, de forma que, en dicha situación, el móvil transfiere las medidas realizadas a la red periódicamente o bajo petición. Volviendo al primer caso, en GPRS no existe ninguna señalización durante la realización del traspaso que permita realizar una reserva de recursos en la celda destino o bien realizar alguna distinción en el MAC de la celda destino entre una petición de acceso corriente y una proveniente de un traspaso. Tampoco existe señalización específica que permita realizar un control de admisión en la nueva celda, sino que la priorización o penalización de la elección de éstas se hace en base a los parámetros de configuración difundidos en los canales de control.

Por tanto, en la definición y diseño de los procedimientos de traspaso en las futuras redes de paquetes, puede ser interesante la consideración de aspectos tales como:

- Disponer de señalización específica para llevar a cabo una reserva de recursos en el nuevo punto de acceso. Dicha señalización podría resultar conveniente realizarla a través de la estación de base antigua (*backward handover*) en caso de no disponer de información del estado de carga de las diferentes estaciones del sistema.
- Posibilitar que el nuevo RLC/MAC diera prioridad al acceso permitiéndole por ejemplo una velocidad de transmisión más elevada durante un cierto intervalo de tiempo para compensar posibles pérdidas ocasionadas durante el traspaso.

Ambos aspectos están relacionados con el objetivo más general de intentar garantizar un nivel de QoS predeterminado durante y posteriormente a la ejecución de un traspaso.

Finalmente, tal como veremos en el análisis presentado en el siguiente capítulo, el mecanismo de traspaso podría habilitarse para garantizar la transferencia de los contextos (variables de estado, colas de transmisión y recepción) asociados a las diferentes entidades (RLC/MAC, LLC), a fin de minimizar la sobrecarga derivada de la gestión de retransmisiones.

6.5. Conclusiones

En el presente capítulo se han estudiado algunas de las propuestas de gestión de movilidad global y movilidad local que se están estudiando como candidatas para el acceso por paquetes en los sistemas de tercera generación.

Para conseguir movilidad global en un entorno caracterizado principalmente por la multi-operatividad de sistemas, *Mobile IP* y IPv6 están concentrando la atención. En el presente capítulo se han discutido sus elementos y funcionalidades básicas, así como su integración dentro del concepto de UMTS. Básicamente podemos destacar que, aunque la adopción inicial de *Mobile IP* gire más entorno al concepto de servicio ofrecido, como por ejemplo en una primera evolución de GPRS, el objetivo final radica en gestionar completamente la movilidad global con *Mobile IP*, solución apuntada en la arquitectura de red basada en paquetes propuesta en CdmaOne/Cdma2000 [Chang99].

Respecto a la movilidad local, hemos analizado diferentes propuestas en función de la tecnología de transporte utilizada entre los nodos IGSN y los controladores de la red de acceso RNCs. Entre ellas podemos destacar *Cellular IP*, *Multicast IP* y *Mobile IP* jerarquizado, en caso de utilizarse una red IP en el segmento RNC-IGSN, y mecanismos de gestión de un enlace de datos, solución adoptada en GPRS.

La gestión de movilidad en GPRS ha sido otro de los puntos abordados ya que, tal como se apuntó en el capítulo 5, GPRS va a tener un papel muy importante en la migración hacia la arquitectura de las futuras redes de acceso en modo paquete y por tanto, en los procedimientos de movilidad adoptados.

Finalmente, se han expuesto algunas consideraciones respecto al enfoque del mecanismo de traspaso en redes de paquetes. En GPRS, el traspaso considerado es propiamente un mecanismo de actualización de celdas. Por ello, puede resultar conveniente añadir señalización adicional para gestionar aspectos de QoS (Gestión de recursos, control de admisión, prioridades), así como optimizar la transferencia de información entre las entidades funcionales (LLC, RLC/MAC) involucradas en un traspaso, tal como se verá en el Capítulo 7.

CAPÍTULO 7

CAPÍTULO 7. ESQUEMA PROPUESTO PARA EL ESTUDIO DEL TRASPASO EN REDES DE PAQUETES

7.1. Introducción

En el capítulo 5 hemos analizado una posible arquitectura de red para soportar la transmisión de paquetes en UMTS. Entre los aspectos más relevantes apuntados destaca la utilización de una red troncal IP para conseguir la interconexión de diferentes sistemas de acceso bajo un contexto de movilidad global común. En el caso de los sistemas celulares, el segmento radio de GPRS (GPRS BSS) y la futura red de acceso UTRAN, se conectarían a la red troncal IP a través de unos nodos específicos denominados IGSN, cuya funcionalidad básica sería similar a la operación conjunta de los nodos SGSN y GGSN en GPRS, pero incorporando características avanzadas. La gestión de movilidad global y local de la arquitectura planteada se ha abordado en el capítulo 6. Concretamente se ha apuntado el protocolo Mobile IP como candidato a proporcionar movilidad global, mientras que la gestión de la movilidad local depende de la configuración adoptada en el segmento RNC-IGSN en el caso de acceso UTRAN. No obstante, se han analizado diferentes propuestas basadas en IP (Cellular IP, Multicast IP, ...) y se ha considerado la solución adoptada en GPRS consistente en el establecimiento de un enlace de datos entre el terminal y el nodo SGSN.

Tomando como marco de referencia los aspectos de arquitectura y gestión de movilidad abordados en los capítulos 5 y 6, en el presente capítulo se expone un estudio sobre las prestaciones de un mecanismo de traspaso en función de las entidades funcionales del plano de transporte involucradas. Para ello, partiendo del plano de transporte de una posible arquitectura de un sistema basado en transmisión de paquetes, se propone un modelo de estudio basado en el análisis de las implicaciones derivadas del cambio o actualización de alguna de las entidades de dicho plano de transporte como consecuencia de la ejecución de un traspaso. Bajo dicha perspectiva, el traspaso se clasifica en función de las entidades funcionales que deben ser modificadas o actualizadas.

El objetivo del capítulo se centra básicamente en proporcionar una comparación cualitativa entre los diferentes tipos de traspaso planteados, así como intentar identificar algunos aspectos que puedan resultar críticos en el diseño de los procedimientos de traspaso en redes de paquetes.

7.2. Arquitectura de referencia.

La arquitectura tomada como referencia en el presente estudio se encuentra representada en la Figura 7-1. La conexión a la red troncal basada en tecnología IP se realiza mediante el nodo *Integrated GSN*,

descrito en la sección 5.5. Las redes de acceso radio, UTRAN y/o GPRS BSS, se conectan directamente a los nodos IGSN. Se supone que las entidades encargadas de la gestión de movilidad en la parte fija se encuentran ubicadas en el nodo IGSN, de forma que, la señalización asociada resulta transparente a la red de acceso. Dicha suposición se corresponde con la solución adoptada en GPRS, donde la gestión de los contextos de movilidad se ubica en los nodos SGSN, así como con el concepto de red de acceso expuesto en [UTRAN] y comentado en la sección 5.3.

Respecto al plano de transporte, en el caso de acceso GPRS, la capa IP terminaría en el nodo IGSN. De esta forma, la transferencia entre terminal móvil y IGSN se realizaría mediante el establecimiento de un enlace de datos entre ambos. En el caso de una red de acceso UTRAN vamos a contemplar dos de las cuatro posibilidades descritas en la sección 5.6: la capa IP termina en el nodo IGSN o bien, la capa IP se extiende hasta los controladores RNC que disponen de funciones de encaminamiento IP adicionales. En el primer caso, la transferencia entre IGSN y terminal móvil se realizaría, análogamente a GPRS, mediante un enlace de datos entre ambos. En el segundo caso, el enlace de datos se establecería entre el RNC y el terminal móvil. Por tanto, en cualquiera de los tres casos, vamos a considerar la existencia de un enlace de datos entre el nodo donde termina IP y el terminal móvil.

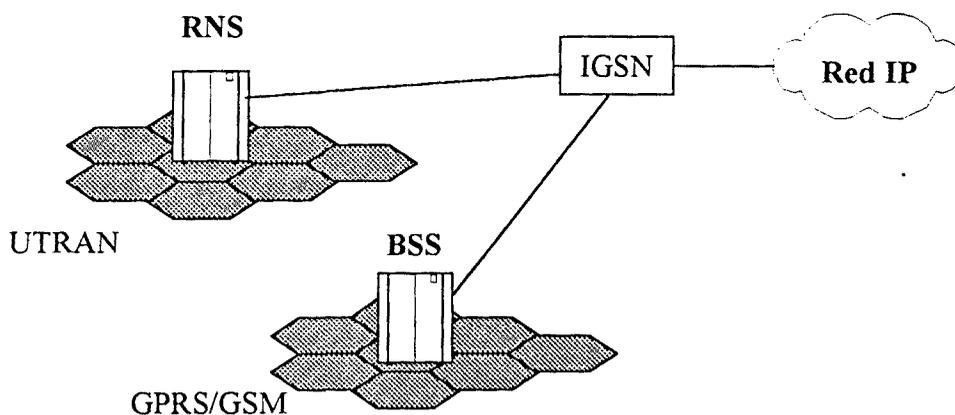


Figura 7-1. Posible arquitectura de la red de paquetes para UMTS/IP.

Bajo dichas premisas podemos identificar varios escenarios de traspaso. Si la capa IP termina en el nodo IGSN:

- Traspaso entre celdas que pertenecen a diferentes nodos IGSN mediante mecanismos *Mobile IP*.
- Traspaso entre celdas pertenecientes a distintos nodos IGSN con mecanismos GPRS. A fin de prolongar la compatibilidad con equipos de segunda generación, en caso de conservarse las

interfaces G_n entre nodos IGSN, podría recurrirse al procedimiento de cambio de área de encaminamiento inter-SGSN para efectuar el traspaso.

- Traspaso entre celdas de un mismo IGSN. Considerando la existencia del enlace de datos entre IGSN y el terminal, los trasposos entre celdas del mismo IGSN deberían gestionarse mediante mecanismos asociados al mantenimiento, o bien reestablecimiento, del enlace de datos.

En caso de extender la capa IP hasta los nodos RNC en UTRAN:

- Traspaso entre celdas de diferentes nodos IGSN con *Mobile IP*, igual que en el caso anterior.
- Traspaso dentro de un mismo IGSN dependiente de la configuración adoptada para la transferencia de información en las interfaces IGSN-RNC. Tal como hemos visto en el apartado 6.2.3, existen varias propuestas para gestionar la movilidad local entre dichos nodos, a destacar: *Mobile IP* jerárquico, *Cellular IP* y *Multicast IP*.
- El traspaso entre celdas dentro de un mismo RNC, considerando la existencia del enlace de datos entre RNC y terminal móvil, se basaría en mecanismos de gestión de dicho enlace.

Además de la gestión del traspaso a nivel de IP y a nivel de enlace de datos, es importante tener en cuenta la influencia de las capas RLC/MAC específicas del acceso radio. Vamos a considerar que un proceso RLC/MAC no está ligado únicamente a la gestión de una celda, tal como ocurre en GPRS, sino que puede controlar varias celdas simultáneamente, tal como ocurriría en una red UTRAN con terminación de la capa física en el RNC.

7.3. Modelado del plano de transporte.

A partir de la arquitectura de referencia presentada en la sección anterior, y centrándonos únicamente en el plano de transporte de los servicios de paquetes, hemos planteado el modelo objeto de análisis a partir de la caracterización de tres mecanismos o funciones básicas que van a coexistir necesariamente:

- Encaminamiento y transferencia de paquetes IP, funciones agrupadas en un módulo que denominaremos genéricamente módulo IP.
- Funciones de nivel de enlace, dentro del módulo denominado LLC (Logical Link Control).
- Transmisión y gestión del acceso a través de la interfaz radio, funciones modeladas dentro del módulo RLC/MAC.

Es importante remarcar que con el concepto de *módulo* se quiere identificar un grupo de funciones relacionadas que no tienen porqué realizarse o coincidir en la misma entidad o corresponder a un único protocolo. En los tres módulos se procesa la información de usuario y se mantiene un *contexto* con los datos y parámetros relevantes en cada nivel. De esta forma, el término *contexto* se utiliza en este capítulo para referirse a toda la información necesaria para el funcionamiento de un módulo (RLC/MAC, LLC, IP) en un determinado nodo, así como los posibles datos de usuario guardados en colas para su posterior procesamiento o entrega a los módulos adyacentes. En la Figura 7-2 se representan los módulos identificados y las posibles interfaces entre ellos.

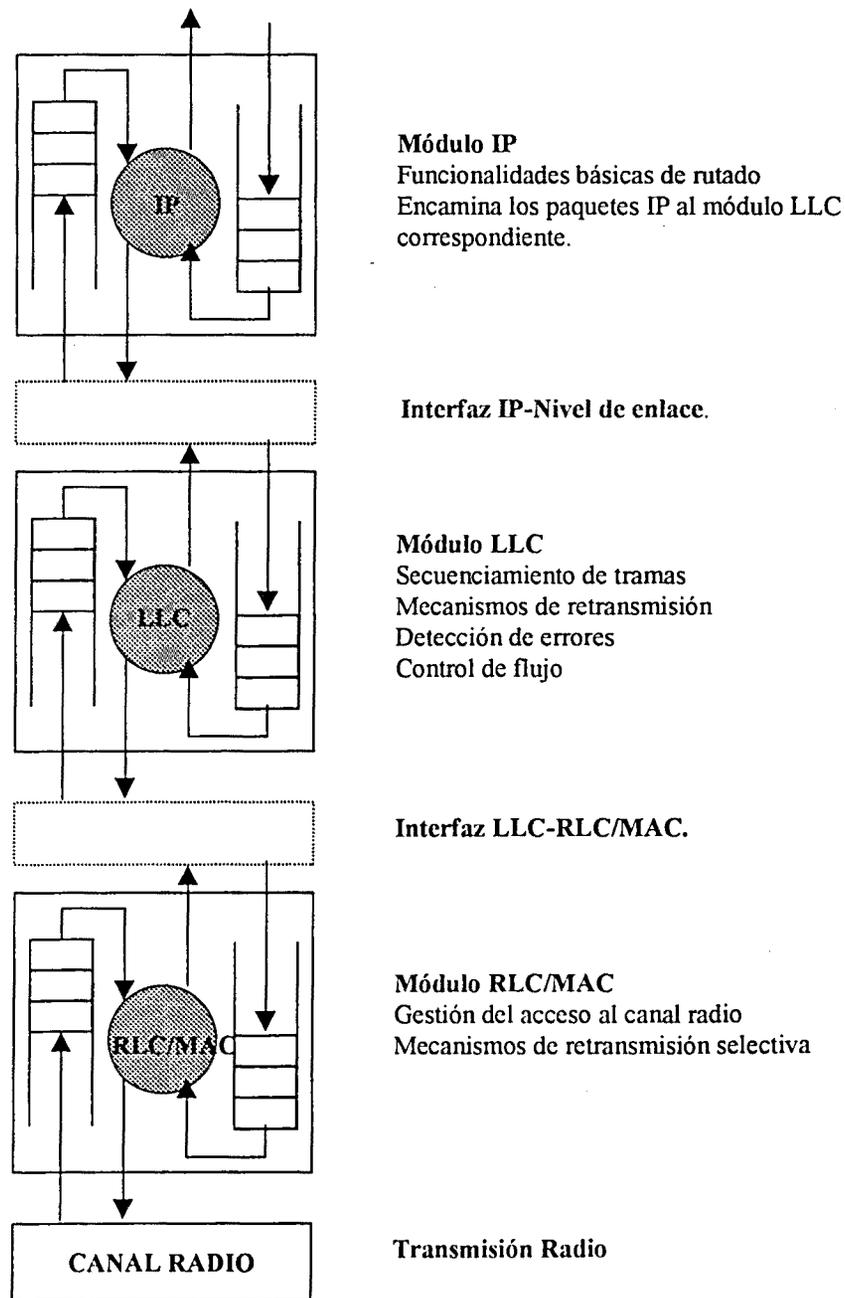


Figura 7-2. Módulos básicos considerados para el estudio del mecanismo de traspaso.

Los diferentes módulos se encontrarían distribuidos entre los nodos IGSN, RNC y Nodo-B en el caso de UTRAN y entre IGSN y BSS en el caso de GPRS. Independientemente de su ubicación, podemos plantear una arquitectura de referencia basada en la interconexión de dichos módulos. En la Figura 7-3 se representan las diferentes configuraciones de los módulos IP, LLC y RLC/MAC en una posible arquitectura celular basada en transmisión por paquetes.

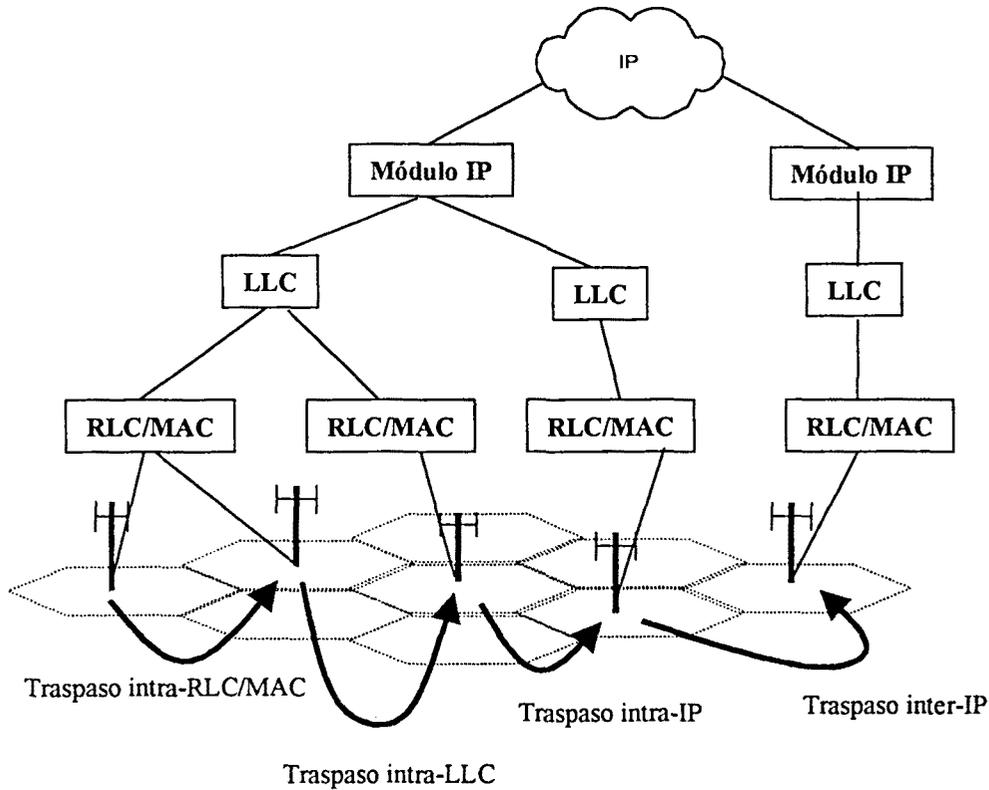


Figura 7-3. Clasificación de los traspasos en función de los módulos IP, LLC y RLC/MAC involucrados.

Así mismo, en la Figura 7-3 se ilustran diferentes situaciones de traspaso en función de los módulos involucrados. De esta forma, podemos distinguir entre:

- **Traspaso intra-RLC/MAC.** Traspasos entre celdas controladas por el mismo RLC/MAC. Su estudio se aborda en la sección 7.6.
- **Traspaso intra-LLC.** Traspaso entre celdas con diferentes procesos RLC/MAC para la gestión del acceso pero sin necesidad de reestablecer el enlace de datos. Su estudio se proporciona en la sección 7.7.

- **Traspaso intra-IP.** Traspasos donde resulta necesario el reestablecimiento de un nuevo enlace de datos, manteniendo el punto de entrada a la red IP. El análisis de este tipo de traspasos se plantea en la sección 7.8.
- **Traspaso inter-IP.** Traspaso entre celdas de forma que se requiere un cambio de entrada en la red troncal IP y por tanto, el establecimiento de un nuevo enlace de datos en la nueva red de acceso. Su estudio se plantea de forma conjunta con el traspaso *intra-IP* en la sección 7.8.

En la siguiente sección se describen más detalladamente las funciones asociadas a cada módulo dentro del modelo contemplado, así como algunas consideraciones referentes a las interfaces entre ellos.

7.4. Descripción de los módulos identificados en el modelo.

El modelo utilizado en nuestro análisis se ha desarrollado en la plataforma de simulación OPNET Modeler/Radio. OPNET es una herramienta de diseño y planificación de redes de comunicación que dispone de librerías específicas para la implementación de modelos basados en los protocolos TCP/IP, ATM y X.25, entre otros.

El modelo implementado consiste en dos estaciones de base de referencia, BS_1 y BS_2 , y un terminal móvil desplazándose a lo largo de la trayectoria que une el centro de ambas estaciones. La arquitectura de red que conecta las estaciones de base puede variar según los diferentes escenarios de traspaso caracterizados en la Figura 7-3. El terminal móvil implementa los protocolos IP, LLC y RLC/MAC. Durante el transcurso de la simulación existe una transferencia de información entre el terminal móvil y un nodo fijo ubicado en la red troncal.

A continuación se describen los diferentes módulos implementados y las respectivas interfaces entre ellos, así como los parámetros modelados de la capa física y el entorno de propagación. También se especifica el concepto de *contexto* para los módulos IP, LLC y RLC/MAC presentado en la sección anterior.

7.4.1. Entorno de propagación y movilidad.

En la Figura 7-4 se representa el escenario de referencia formado por las dos estaciones de base centrales. A efectos de cálculo de la interferencia en el enlace descendente, se han considerado las celdas situadas en la primera corona de cada una de las estaciones de referencia, formando una estructura celular de ocho estaciones de base adicionales.

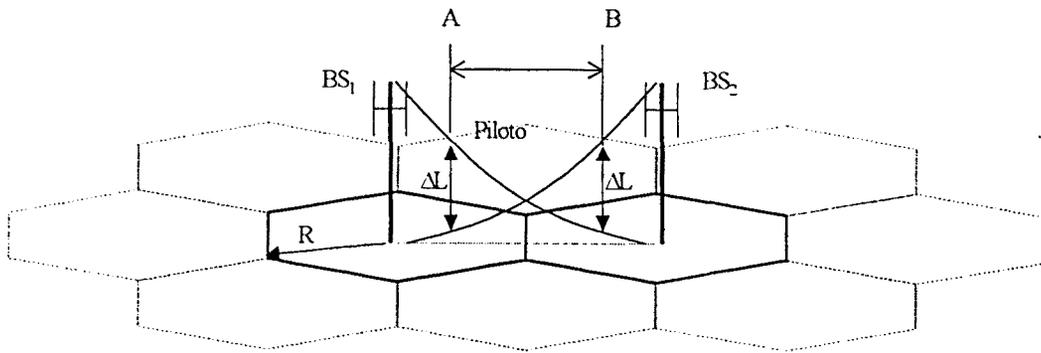


Figura 7-4. Ilustración del escenario de referencia considerado en el análisis

La trayectoria seguida por el móvil consiste en un desplazamiento de manera repetida a lo largo de la línea recta entre los puntos A y B identificados en la Figura 7-4. Los puntos A y B se han calculado en función de las pérdidas de propagación, de forma que la diferencia entre los pilotos de ambas celdas de referencia en dichos puntos es igual a un determinado margen de potencia ΔL . En las simulaciones se ha considerado $\Delta L=40$ dB.

El modelo de propagación utilizado es el propuesto en [UMTS30.03] para la caracterización del escenario de test denominado *Vehicular Test Environment*, también referenciado como escenario macrocelular. Dicho escenario es uno de los especificados para la evaluación de las propuestas de implementación del acceso radio en los sistemas de tercera generación. El escenario se caracteriza por el uso de celdas con áreas de cobertura grandes y potencias de transmisión elevadas. La teselación consiste en celdas hexagonales con radios R de 2 km y estaciones de base trisectoriales separadas una distancia de 6 km. El modelo para el cálculo de pérdidas de propagación especificado es el siguiente:

$$L = 40(1 - 4 \cdot 10^{-3} \Delta h_b) \log_{10}(r) - 18 \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \log_{10}(f) + 80 \text{ dB} \quad (7-1)$$

donde r es la distancia entre móvil y base en Km, f es la frecuencia de trabajo en MHz y Δh_b es la altura de las antenas de las estaciones de base respecto a la altura media de los edificios. En caso de considerar $\Delta h_b=15$ m y la frecuencia de trabajo a 2Ghz, podemos calcular L mediante la expresión

$$L = 128.1 + 37.6 \log_{10}(r) \text{ dB} \quad (7-2)$$

La caracterización de los desvanecimientos lentos se realiza mediante una estadística normal con una desviación $\sigma=10$ dB. La correlación espacial se obtiene a partir de la expresión [Gudmun91]:

$$R(\Delta r) = \sigma^2 \cdot e^{-\frac{\Delta r}{D_o} \ln 2} \quad (7-3)$$

siendo la distancia de correlación propuesta para el entorno macrocelular de $D_c=20m$. Los desvanecimientos entre estaciones de base se han considerado igualmente correlados con un factor $\rho=0.5$. La velocidad del terminal móvil se ha tomado igual a 120 km/h [UMTS30.03].

7.4.2. Capa física

Los parámetros utilizados en el modelado de la capa física corresponden a la propuesta europea Wideband CDMA para operación con duplexado en frecuencia (FDD). Tal como se ha visto en el capítulo 3, la velocidad de las portadoras es de 4096 kchips/s con factores de ensanchamiento variable desde SF=4 hasta SF=256. La transmisión en tiempo se estructura en tramas de 10 ms, intervalo mínimo donde el modo de transmisión (codificación, entrelazado, ganancia de procesado, ...) se mantiene invariable.

A efectos de la simulación de la capa física se han utilizado los resultados de las simulaciones de nivel de enlace para servicios UDD expuestas en [WCDMA]. El control de potencia se ha supuesto ideal en ambos enlaces con limitaciones en la potencia máxima transmitida de 24 dBm en el enlace ascendente y 30 dBm en el descendente [WCDMA].

Caracterización del enlace ascendente

La potencia transmitida P_T por el terminal se calcula según la expresión

$$P_T = \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{req} \frac{I + \eta}{G_p} \cdot L(r) \quad (7-4)$$

donde I representa el nivel de interferencia en una estación de base, G_p la ganancia de procesado y η la potencia de ruido térmico. El control de potencia se ha supuesto ideal. El valor de interferencia I se ha calculado en función del margen de fading γ (véase sección 4.9), de forma que, en caso de no considerar desvanecimientos lentos, para un móvil situado en el límite de la zona de cobertura transmitiendo con máxima potencia, se cumple que la relación E_b/N_o experimentada es superior a la relación $(E_b/N_o)_{req}$ requerida en γ dB. Por tanto, I se obtiene a partir de la ecuación

$$\gamma = \frac{G_p P_T^{max}}{L(R) \cdot (I + \eta)} - \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{req} \quad (7-5)$$

La relación E_b/N_o requerida se ha calculado según el procedimiento descrito en la sección 4.8.2. Tomando como referencia un servicio portador de 240 kbits/s se obtiene que el valor que maximiza la capacidad del sistema es aproximadamente igual a 2.1 dB. La potencia máxima de transmisión se ha

limitado a 24 dBm, la potencia de ruido es de -102 dBm y el radio de la celda $R=2\text{Km}$. Además, se ha considerado un margen dinámico de potencia de 80 dB [WCDMA].

Caracterización del enlace descendente.

En el enlace descendente, a diferencia del enlace ascendente, el nivel de interferencia depende de la ubicación del terminal. Suponiendo de nuevo la utilización de un control de potencia ideal, el cálculo de la potencia asignada a un terminal también puede obtenerse a partir de la expresión (7-4), donde ahora el nivel de interferencia se calcula mediante

$$I = (1 - \delta) \frac{P_{Total}^j}{L_j(r_j)} + \sum_{i \neq j} \frac{P_{Total}^i}{L_i(r_i)} \quad (7-6)$$

P_{Total} representa la potencia total transmitida por una estación de base, incluyendo la potencia del canal piloto considerada de 37 dBm [WCDMA], el subíndice j identifica la estación de base activa y el parámetro δ modela el grado de ortogonalidad entre secuencias.

Análogamente a la caracterización del enlace ascendente, hemos utilizado la expresión (7-5) para obtener la interferencia total, y por tanto el valor de la potencia de transmisión de las estaciones de base, en función de un determinado margen de *fading*. Concretamente, los valores empleados han sido: una relación E_b/N_0 requerida de 3.8 dB, obtenida mediante el mismo procedimiento utilizado en el enlace ascendente, ocho estaciones de base interferentes, siendo la estación de base activa una de las dos de referencia y un margen dinámico igual a 20 dB en el control de potencia [WCDMA].

A continuación se muestran algunas figuras ilustrativas del comportamiento del sistema modelado. En la Figura 7-5 se puede observar la evolución de la potencia recibida en el canal piloto de ambas estaciones de base. En la misma figura se representa el promediado temporal realizado sobre dichos canales piloto en aras a obtener las variables de decisión que van a ser utilizadas en el algoritmos de traspaso.

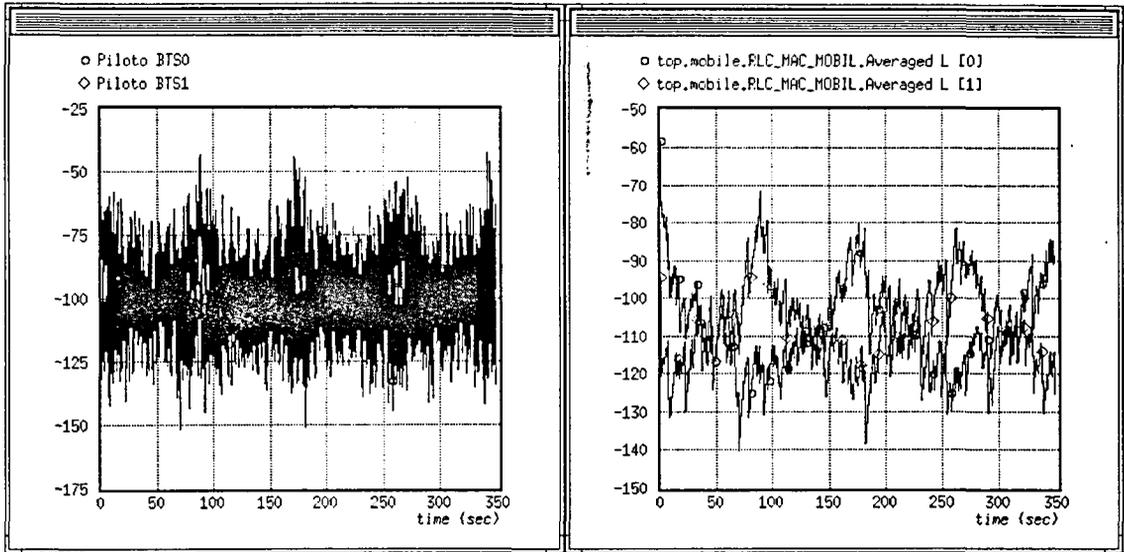


Figura 7-5. Potencia recibida desde las estaciones BS0 y BS1. a) Valor instantáneo; b) Valor promediado (500ms).

En la Figura 7-6 se representa el valor de la potencia transmitida por el terminal y la potencia asignada por la estación de base activa. Podemos observar la gran diferencia existente en el margen de variación de ambos. Las simulaciones corresponden a un margen de *fading* de 1 dB para ambos enlaces.

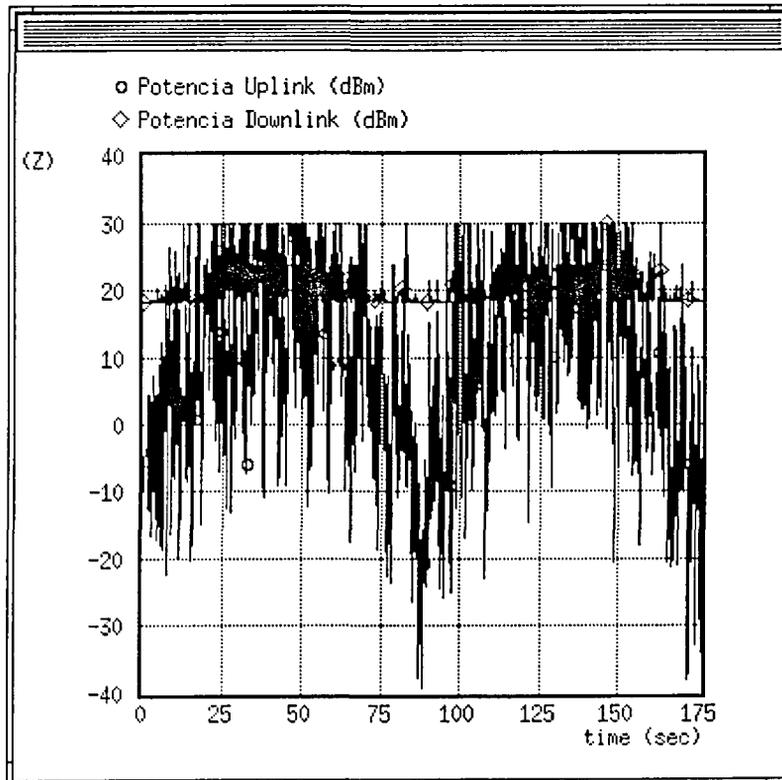


Figura 7-6. Evolución de la potencia transmitida en ambos enlaces.

En la Figura 7-7 se puede observar el comportamiento de la relación E_b/N_0 conseguida y el comportamiento de un mecanismo de supervisión del enlace RLC.

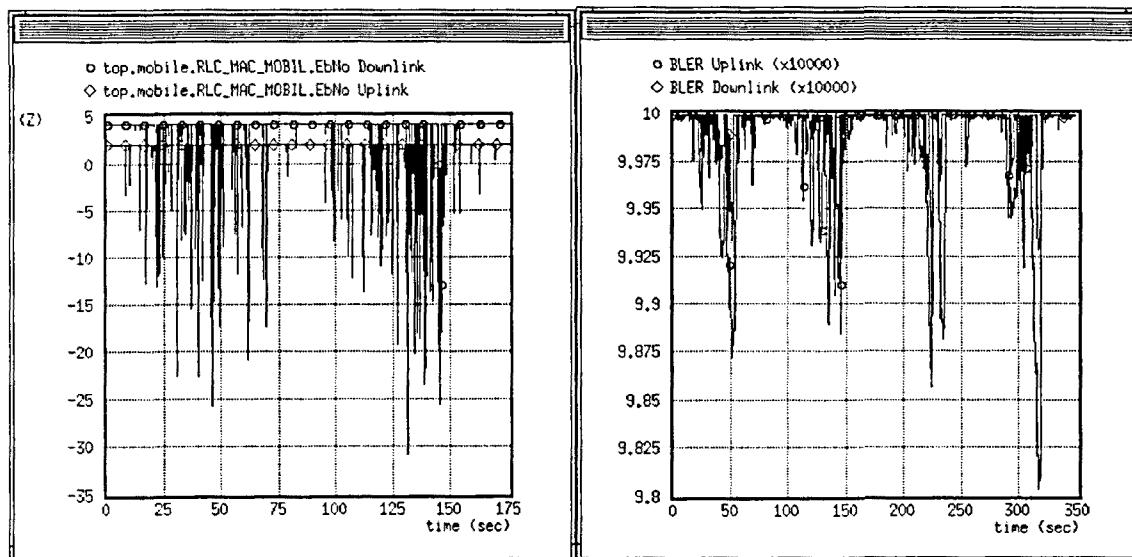


Figura 7-7. Evolución de la relación E_b/N_0 experimentada en ambos enlaces y del mecanismo de supervisión del enlace RLC/MAC.

El elevado número de situaciones en que la recepción se realiza con condiciones de calidad inferiores a la relación E_b/N_0 requerida, es debido al reducido margen de *fading*. El mecanismo de supervisión del enlace está basado en el procedimiento utilizado en GSM para monitorizar el estado de los canales de señalización. Dicho procedimiento consiste en incrementar en una unidad o decrementar en cuatro unidades un contador en caso de recepción correcta o incorrecta de un bloque radio, respectivamente. En la realización presentada en la Figura 7-7 el valor del contador se encuentra previamente inicializado a un valor hipotético de 10000 y podemos observar como, en los puntos de la trayectoria donde teóricamente se realiza el traspaso, su valor empieza a decrementarse poniendo de manifiesto la recepción de bloques RLC incorrectos. El contador se reinicializa después de procederse al cambio de estación de base.

7.4.3. Módulo RLC/MAC

Las funciones ubicadas en las entidades RLC y MAC se han modelado conjuntamente dentro del módulo RLC/MAC, de forma similar al enfoque utilizado en GPRS y detallado en la sección 5.8.

La operación del módulo RLC/MAC se basa en la transmisión de bloques RLC. Un número entero de ellos se entrega a la capa física cada tiempo de trama, en función del servicio portador utilizado. A diferencia de GPRS, el tamaño de los bloques RLC es constante e independiente del modo de transmisión, tal como se apunta en la propuesta WCDMA para servicios basados en transmisión por

paquetes. Concretamente se propone un tamaño alrededor de 300 bits útiles, además de una cabecera de 20 bits correspondiente a los campos de gestión del protocolo RLC/MAC. En la Tabla 7-1 se detallan los servicios portadores considerados en función del número de bloques RLC transmitidos en una trama. Se proporciona también el valor de la ganancia de procesamiento G_p utilizada en la expresión (7-4). Es importante observar que el valor de la ganancia incluye, además del efecto del ensanchamiento espectral, la codificación de canal utilizada.

Tabla 7-1. Velocidad efectiva y ganancia de procesamiento del servicio portador en función del número de bloques RLC transmitidos por trama.

Bloques RLC por trama (10ms)	Servicio portador	Ganancia de procesamiento (spreading+codificación)
1	30 kbits/s	21.3 dB
2	60 kbits/s	18.3 dB
4	120 kbits/s	15.3 dB
8	240 kbits/s	12.3 dB
16	480 kbits/s	9.3 dB

Las tramas entregadas al módulo RLC/MAC por el módulo LLC son segmentadas en bloques de 300 bits para su posterior transmisión en bloques RLC. El módulo RLC/MAC opera siempre en modo de transmisión confirmado, por lo que se ha implementado un mecanismo de retransmisión selectiva. De esta forma, las tramas LLC son entregadas siempre al módulo remoto correspondiente después de un determinado retardo de transmisión debido a:

- El retardo de acceso o de asignación de canal en caso de no existir previamente una canalización RLC/MAC establecida. El concepto de canalización es análogo al TBF (*Temporary Block Flow*) utilizado en GPRS (Véase sección 5.8).
- La recepción incorrecta de bloques RLC que conlleva la generación de retransmisiones mediante un esquema ARQ Selectivo.

El retardo de acceso en el enlace ascendente se calcula en función de una probabilidad p_A evaluada cada trama de 10 ms. El valor de p_A es diferente en caso de que exista o no una canalización activa en el enlace descendente. El motivo radica en que el terminal podría aprovechar el canal de retorno sin contención para solicitar el establecimiento de la conexión en el enlace ascendente. De forma similar, el tiempo de asignación de una canalización en el enlace descendente se calcula en función de una probabilidad p_D que modela el posible retardo producido en el canal de *paging*. También se realiza la distinción entre disponer o no de una canalización en el enlace opuesto para fijar el valor de p_D , ya que

en caso negativo el terminal podría implementar mecanismos de recepción discontinua con el consiguiente aumento en el retardo de asignación.

En la configuración utilizada para el análisis de traspasos *intra*-RLC/MAC (véase Figura 7-3), un único módulo RLC/MAC gestiona conjuntamente el acceso a través de las dos estaciones de base de referencia. En las restantes configuraciones, cada estación de base tiene un módulo RLC/MAC asociado.

Finalmente, cabe resaltar que el concepto de contexto RLC/MAC presentado en el análisis de resultados, se refiere a las colas de transmisión y recepción de bloques RLC y al conjunto de variables de estado utilizadas para la gestión del mecanismo de retransmisión.

7.4.4. Interfaz módulo LLC-RLC/MAC.

La función básica de esta interfaz es la transmisión de tramas LLC dentro de la red de acceso hacia/desde las entidades RLC/MAC ubicadas en los controladores de estaciones de base. En el sistema GPRS el protocolo especificado a tal efecto es el BSSGP. Su función principal es el encaminamiento de tramas entre el controlador y el nodo SGSN, teniendo en cuenta aspectos de calidad de servicio. El modo de transmisión utilizado dentro del protocolo BSSGP es sin confirmación, de forma que un modelo simplificado del funcionamiento de esta capa consiste únicamente en añadir un retardo de transmisión a las tramas LLC. En la Figura 7-8 se representa de forma simplificada los elementos pertenecientes a la interfaz LLC-RLC/MAC para GPRS. De las primitivas ilustradas a modo de ejemplo, podemos observar cómo la capa BSSGP reproduce básicamente las peticiones/indicaciones en el extremo distante. Así, una petición de transmisión de una trama LLC (BSSGP-UNITDATA.Req) conlleva la ejecución de una petición en el RLC/MAC correspondiente (RLC/MAC-DATA.Req o RLC/MAC-UNITDATA.Req, en caso de requerirse, respectivamente, transmisión confirmada o no en la capa RLC).

Otra posibilidad a contemplar en la implementación de la interfaz LLC-RLC/MAC consiste en la ubicación de ambas entidades en el mismo nodo de red. Dicha situación podría considerarse en el caso de extender la capa IP hasta el controlador RNC, donde también se encontraría, en caso de soportar macrodiversidad, la entidad RLC/MAC. De esta forma, las limitaciones en las prestaciones del algoritmo de traspaso derivadas del funcionamiento de la interfaz LLC-RLC/MAC podrían considerarse irrelevantes.

En cualquier caso, en aras a simplificar la realización del modelo, hemos supuesto que la interfaz LLC-RLC/MAC no introduce ninguna restricción en el plano de transporte.

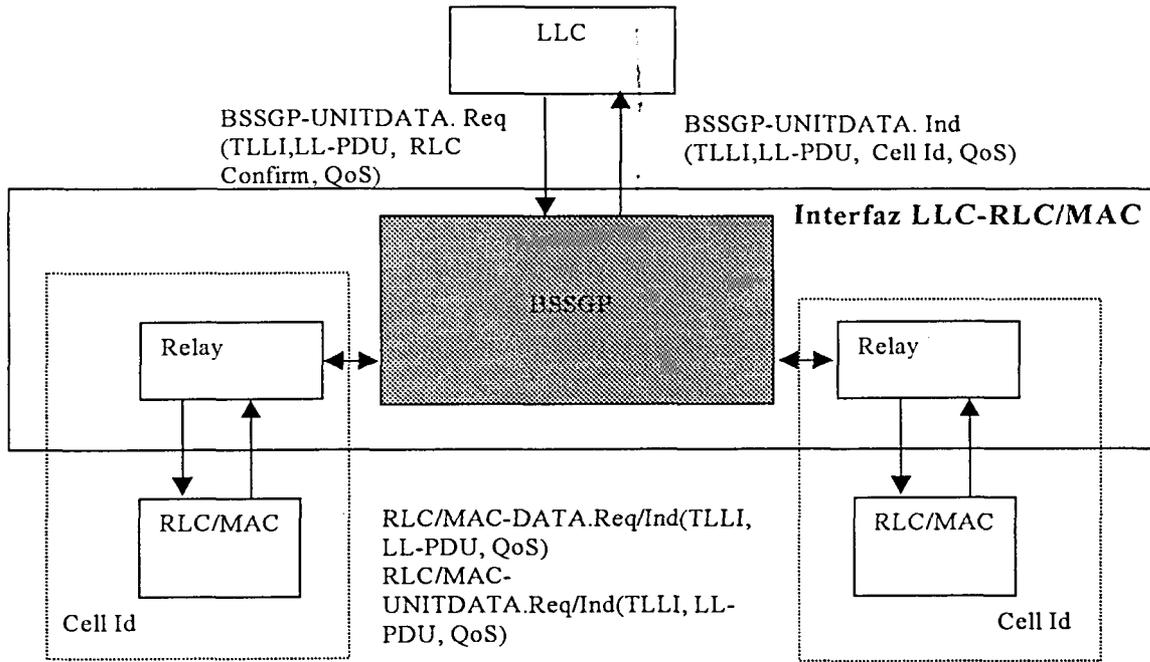


Figura 7-8. Descripción básica de la interfaz LLC-RLC/MAC.

7.4.5. Módulo LLC

La capa LLC (*Logical Link Control*) proporciona un enlace lógico fiable entre el terminal móvil y el nodo IGSN/RNC. Su implementación debe ser independiente de las capas radio subyacentes para permitir que el protocolo LLC pueda operar con múltiples interfaces radio. Además, LLC debe proporcionar la suficiente flexibilidad para adaptar su modo de operación a las prestaciones de las capas radio, a fin de conseguir un rendimiento óptimo. El modelo analizado corresponde a la capa de enlace definida en la recomendación GSM 04.64 para GPRS [GSM04.64]. En el Anexo I se describen más detalladamente sus funciones, modos de operación, estructura y tipos de trama, y la gestión de las retransmisiones.

Los aspectos más relevantes del protocolo LLC frente al protocolo LAPBm, utilizado en la interfaz U_m para los canales de señalización en modo circuito, es la incorporación de mecanismos de retransmisión selectiva (tramas ACK y SACK) y la existencia de un bit (A bit) para la petición explícita a la entidad remota del envío de una trama con información de supervisión. En el modelo implementado, se ha realizado la transmisión de datos siempre mediante el modo de operación ABM (Asynchronous Balanced Mode). Dicho modo proporciona mecanismos de retransmisión selectiva para el tráfico de datos, a la vez que permite el envío de información de señalización mediante tramas no confirmadas. El envío de tramas y la gestión de las retransmisiones incluidas en el modelo se encuentran detalladas en el Anexo I.

Los parámetros utilizados en la implementación de la capa LLC se encuentran detallados en la siguiente tabla.

Tabla 7-2. Parámetros de diseño de la capa LLC.

K	Tamaño de la ventana de transmisión. En la normativa de GPRS, K puede ser 16, 8, 4 y 2.
T200	Contador utilizado para iniciar la retransmisión de una trama en caso de que pasen más de T200 segundos desde su primer envío sin haber recibido confirmación alguna. El parámetro T200 puede variar entre 5 y 40s.
N200	Número máximo de retransmisiones de una misma trama permitido. Se ha fijado un valor igual a 3.
N201	Longitud máxima del campo de datos de la trama LLC. Hemos considerado un valor de 1520 bytes. El tamaño mínimo de las tramas LLC es de 140 bytes.

Tal como veremos en los resultados obtenidos, la transferencia del contexto LLC durante el mecanismo de traspaso condiciona enormemente sus prestaciones. En el caso del módulo LLC, los parámetros que constituyen dicho contexto son los siguientes:

- Variables de estado V(R), V(A) y V(S). Su descripción se proporciona en el Anexo I.
- Tramas en el buffer de transmisión pendientes de confirmación.
- Tramas en el buffer de recepción recibidas fuera de orden, por lo que todavía no han sido entregadas a la capa superior.

A modo de ejemplo, en la Figura 7-9 se observa el funcionamiento del módulo LLC frente a un cambio de celda para traspasos *intra*-LLC con pérdida de contexto RLC/MAC. Tal como se describirá en la sección 7.7, el traspaso origina una pérdida de tramas LLC que conlleva la generación de retransmisiones en la capa de enlace.

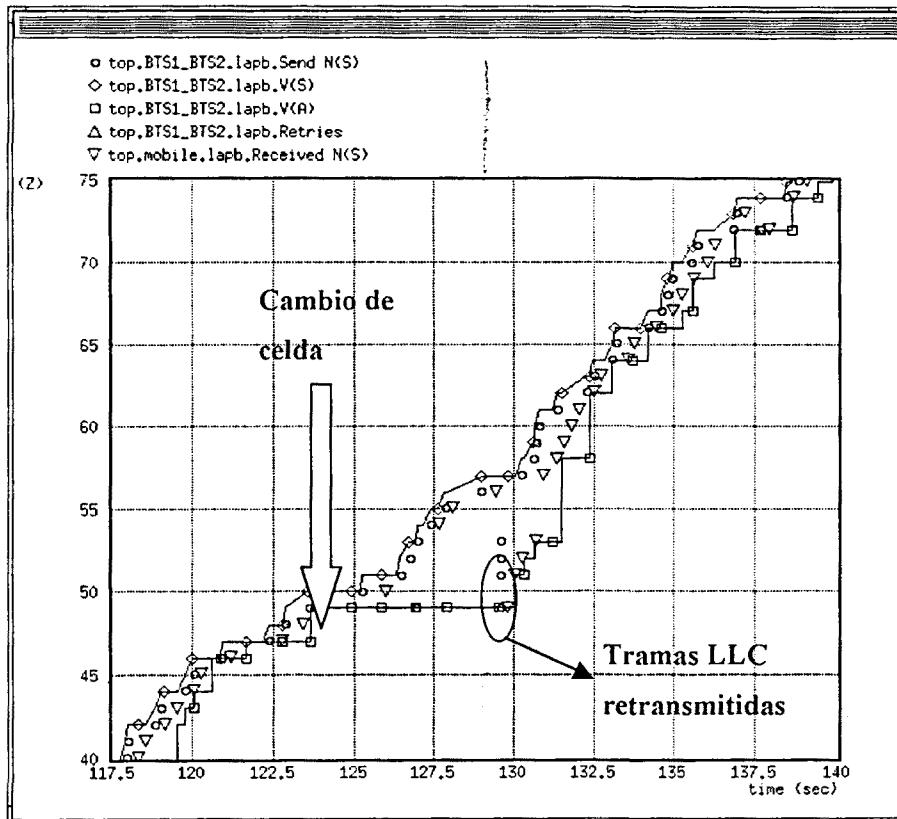


Figura 7-9. Ejemplo del funcionamiento del módulo LLC frente a un traspaso con pérdida de contexto RLC/MAC.

7.4.6. Interfaz módulo IP-LLC.

En GPRS, como se ha detallado en la sección 5.8.2, la transferencia de información entre el proceso IP ubicado en el nodo GGSN y la entidad LLC ubicada en el SGSN se lleva a cabo mediante la utilización de mecanismos de encapsulado (GTP) y mecanismos de adaptación del paquete de red a los requisitos de la capa de enlace (SNDCP). En caso de integrar en un único nodo el par SGSN y GGSN, el mecanismo de encapsulado no sería necesario. En cuanto a las funciones de la capa de adaptación SNDCP, a efectos de su repercusión en las prestaciones del traspaso, podemos incluirlas dentro del módulo LLC ya que ambos procesos permanecerán en el mismo nodo de red. De esta forma, el módulo LLC del modelo considerado recibe directamente paquetes IP y entrega a la entidad inferior tramas LLC después de haber realizado el procesado conjunto LLC y SNDCP.

Por esta razón, hemos supuesto que la transferencia de paquetes de red entre los módulos IP y LLC ubicados en el mismo nodo de red, no influye directamente en las prestaciones del mecanismo de traspaso.

7.4.7. Módulo IP

Prácticamente se comporta como un enrutador donde las interfaces de salida se corresponden a los módulos LLC existentes. Así pues, los paquetes provenientes de la red fija son encaminados, en función de la dirección IP destino, a los módulos LLC correspondientes. El direccionamiento se realiza mediante una tabla que relaciona la dirección IP con un identificador de módulo LLC. Cada terminal accesible desde un módulo IP tiene una dirección IP y un módulo LLC habilitado para proporcionar un enlace de datos.

El contexto asociado al nodo IP consiste en la tabla de direcciones y una cola de paquetes IP común a todos los usuarios. La gestión de la tabla de direcciones es ajena al funcionamiento del módulo IP. Su actualización y mantenimiento se realiza mediante señalización asociada a la gestión de movilidad.

En la Figura 7-10 se ilustra el comportamiento del retardo experimentado por los paquetes IP durante la trayectoria simulada.

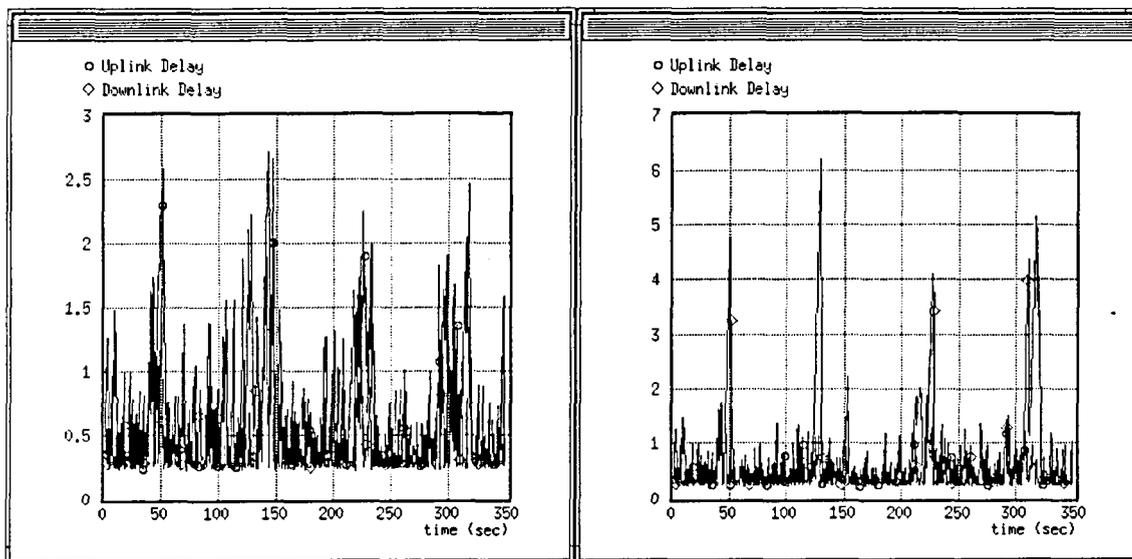


Figura 7-10. Retardo experimentado por los paquetes IP durante el recorrido: a) Traspaso *intra*-RLC/MAC; b) Traspaso *intra*-LLC.

Los picos de retardo corresponden a ubicaciones del móvil en el límite de la zona de cobertura. La razón estriba en la utilización de un margen de *fading* muy reducido (1dB) para ambos enlaces de forma que, debido a los desvanecimientos lentos, aumenta el número de situaciones en las que el control de potencia no puede asegurar la relación E_b/N_0 requerida en el enlace radio. Es importante observar también la diferencia en la magnitud de los picos de retardo en función del tipo de traspaso efectuado.

7.5. Descripción del mecanismo de traspaso considerado.

El procedimiento de traspaso implementado es una simplificación del mecanismo de re-selección de celda utilizado en GPRS [GSM05.08]. La decisión de realizar un cambio de celda se toma en el terminal móvil en función de la potencia recibida en los pilotos de las celdas vecinas. En nuestro caso, la decisión no tiene en cuenta el valor absoluto de la potencia recibida en la estación de base activa (denominado criterio C1 en GPRS), sino que se basa estrictamente en valores relativos (denominado criterio C32 en GPRS). La variable de decisión correspondiente a la celda actual es directamente el valor de la atenuación experimentada, calculada a partir del valor de potencia promediado de la señal piloto y la correspondiente información sobre la potencia transmitida disponible en el canal de control. En el caso de las estaciones vecinas, la variable de decisión se calcula añadiendo un margen de histéresis (HHOM) al valor de la atenuación correspondiente. Adicionalmente, se modela la penalización aplicada en GPRS para evitar la selección repetida de una celda en caso de no haber transcurrido un tiempo superior a un cierto intervalo temporal. El parámetro utilizado a tal efecto en el modelo implementado se denomina TIMER.

La ejecución del traspaso se lleva a cabo mediante la liberación y el establecimiento en la nueva celda de una canalización RLC/MAC por parte del móvil. Una vez se disponen de recursos asignados en la nueva celda, el terminal transmite una trama LLC, ya sea de información o de supervisión, análogamente al mecanismo de actualización de celda detallado para GPRS en la sección 4.3.6.2. No se ha tenido en cuenta la señalización adicional necesaria para la gestión del contexto de movilidad. En cada una de las configuraciones analizadas a continuación se proporcionan las diferentes consideraciones respecto a la gestión de dicha señalización.

7.6. Traspaso *intra*-RLC/MAC

7.6.1. Planteamiento

El traspaso entre celdas gestionadas por el mismo proceso RLC/MAC podría darse en arquitecturas donde exista un nodo que tenga control completo, a efectos de gestión del acceso, sobre varios puntos de acceso que compartan los mismos recursos radio. Una arquitectura equivalente podríamos identificarla dentro de UTRAN para el modo FDD. En dicha propuesta, los procesos RLC/MAC operan en el nodo RNC para posibilitar la implementación de mecanismos de macrodiversidad entre celdas pertenecientes a diferentes RNC. Otro posible escenario sería el resultante de ubicar parte de la funcionalidad RLC/MAC en los nodos B, imposibilitando por tanto la aplicación de macrodiversidad entre Nodos B para los servicios portadores de paquetes gestionados por dicho RLC/MAC, de forma que cabría también la posibilidad de gestionar las diferentes celdas o sectores pertenecientes al mismo Nodo B con un único proceso RLC/MAC centralizado.

Bajo esta perspectiva, el algoritmo de traspaso entre puntos de acceso controlados por un RLC/MAC común se encontraría dentro de la propia gestión de acceso al medio. La información destinada al móvil se conduciría por la estación o estaciones de base más adecuadas y la información transmitida por el terminal móvil podría demodularse a la vez en varios puntos de acceso. El planteamiento de una gestión centralizada del MAC no presupone la utilización de mecanismos de acceso controlados absolutamente por la red de acceso, sino que parte del control puede estar distribuido en los terminales móviles consiguiéndose la coordinación necesaria para lograr un acceso eficiente mediante la difusión de parámetros relevantes de control (ocupación de códigos, nivel de interferencia,...). Es decir, protocolos distribuidos del tipo DSMA/CD e ISMA podrían ser adaptados para soportar un acceso multicelda en entornos CDMA. No obstante, la red debería contar con la información necesaria para seleccionar las estaciones de base óptimas para transmitir/recibir los paquetes de información de un terminal móvil en concreto.

La realización del traspaso tendría la misma incidencia en el terminal móvil que la propia gestión del acceso, en cuanto a que no sería necesaria señalización adicional para establecer el acceso a través de la nueva estación de base. Las repercusiones del traspaso entre celdas con el mismo RLC/MAC en las conexiones en curso podrían tenerse en cuenta durante el establecimiento o renegociación de los parámetros QoS. De esta forma, la aceptación de una nueva conexión se haría en función del estado actual del tráfico soportado en todas las estaciones de base involucradas, aparte de la propia gestión del control de admisión que podría tener en cuenta información de tráfico en nodos vecinos e incluso estimaciones de movilidad entre celdas.

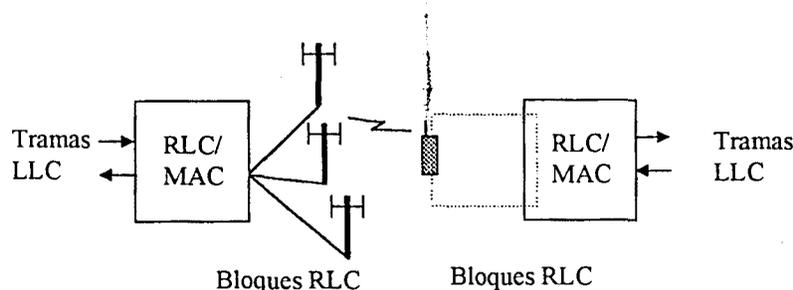


Figura 7-11. Ilustración de la realización de traspasos *intra*-RLC/MAC.

Tal como se ha descrito anteriormente, los servicios portadores de paquetes se basan en la segmentación de la información en bloques RLC que constituyen la mínima unidad de información entregada a la capa física de la interfaz radio. El formato de la transmisión de los bloques RLC (codificación, ganancia de procesado, entrelazado,...) depende finalmente del modo de transporte seleccionado para esa conexión y puede ser modificado trama a trama.

La decisión de cambiar el punto de acceso podría ser adoptada por la red o bien desde el terminal móvil. En caso de centralizarse el proceso en la red, el móvil debería transmitir periódicamente o bajo demanda medidas de las diferentes estaciones de base candidatas a un posible traspaso. Si la decisión se toma en el móvil, el sistema debe proporcionar al móvil la información necesaria para que el instante de ejecución y la elección de la celda candidata resulte eficiente.

Independientemente del procedimiento adoptado para gestionar el acceso a través de las diferentes estaciones de base, es importante remarcar que el contexto asociado a una conexión activa en el proceso RLC/MAC se puede mantener durante la ejecución del traspaso. De esta forma, aunque se produjera una pérdida temporal de varios bloques RLC, los mecanismos de retransmisión del módulo RLC se encargarían de su recuperación.

El efecto 'ping-pong' considerado como una de las limitaciones de los mecanismos de hard handover no tendría especial relevancia en el entorno descrito ya que no representaría ningún aumento de señalización en el establecimiento/liberación de enlaces entre puntos de acceso.

7.6.2. Resultados

A fin de caracterizar las prestaciones del servicio ofrecido por la capa RLC/MAC frente a traspasos entre estaciones de base bajo su control, hemos estudiado la repercusión de los parámetros de gestión del traspaso en el retardo, potencia y tasa de tráfico perdido en los enlaces ascendente y descendente. El control de potencia existente en ambos enlaces hace necesario trabajar con condiciones de interferencia elevadas para poder constatar la repercusión del traspaso en el retardo experimentado.

Concretamente los resultados mostrados en las siguientes gráficas corresponden a un nivel de interferencia caracterizado por márgenes de fading $\gamma=1$ dB para ambos enlaces. Se ha considerado una velocidad de transmisión de datos de 30 kbits/s sobre un servicio portador de 60 kbits/s. La generación de la información sigue una estadística exponencial.

En la Figura 7-12 observamos la media y varianza del retardo y de la potencia en el enlace ascendente en función del margen de histéresis y del promediado temporal realizado en la potencia de los pilotos.

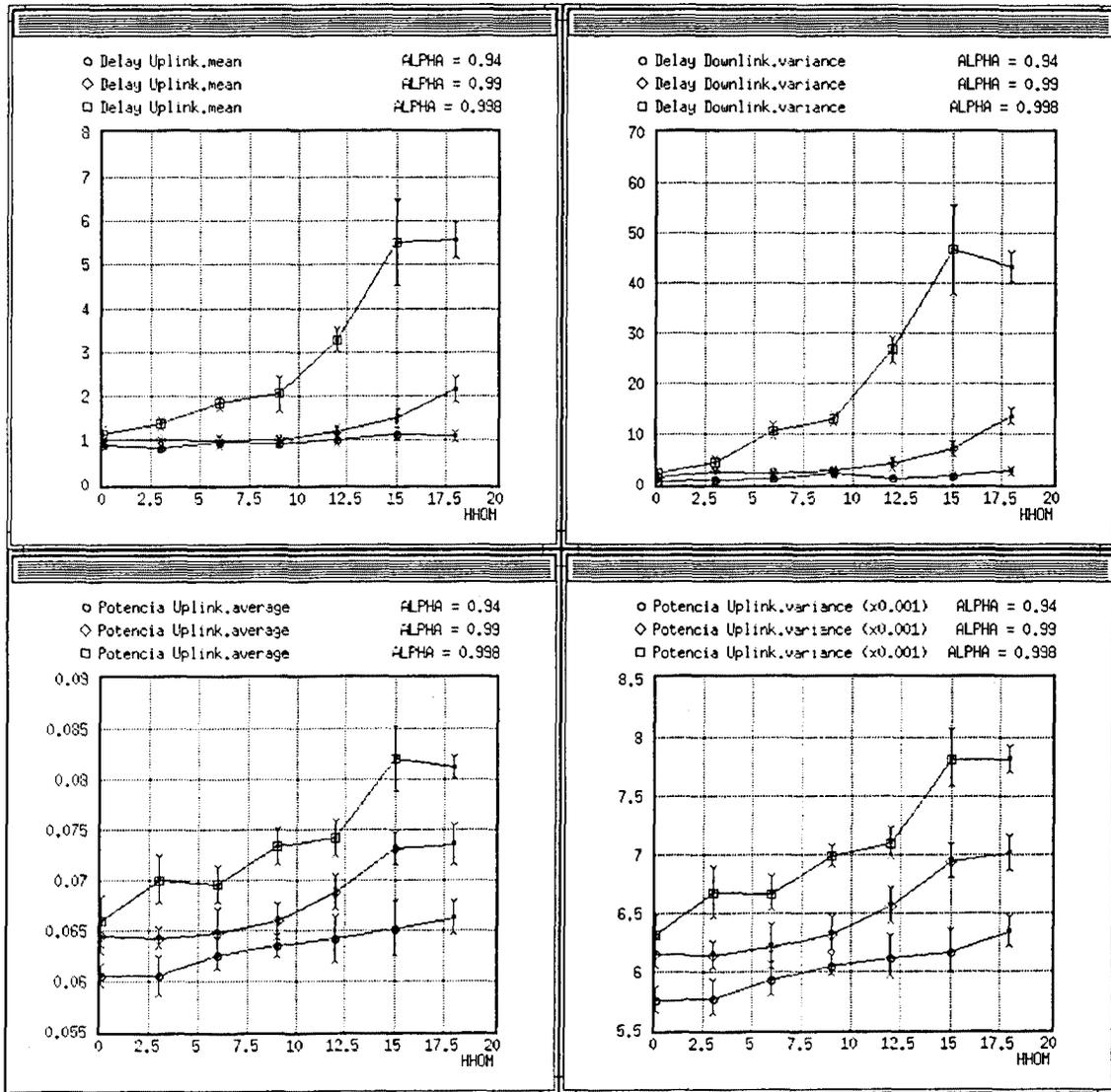


Figura 7-12. Valores medios y varianza del retardo y la potencia en el enlace ascendente.

Los valores de α de 0.94, 0.99 y 0.998 corresponden a tiempos de promediado de 250 ms, 1s y 5s respectivamente. Tal como era de esperar, podemos observar que las mejores prestaciones se obtienen para valores reducidos del margen de histéresis e intervalos de promediado también reducidos. Resultados análogos se obtienen en el enlace descendente tal como muestra la Figura 7-13.

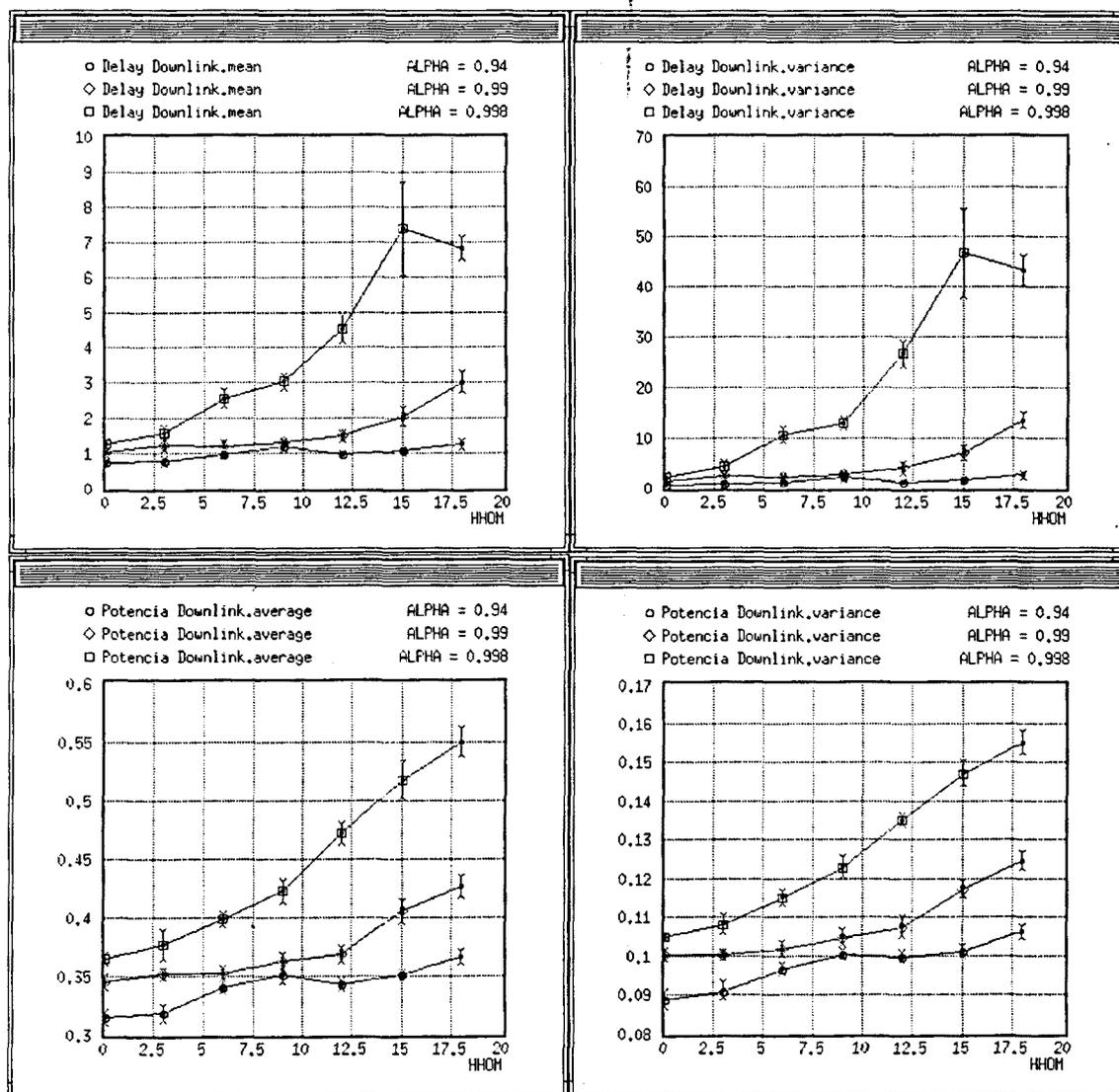


Figura 7-13. Valores medios y varianza del retardo y la potencia en el enlace descendente.

La utilización de mecanismos en la decisión del traspaso que retarden su ejecución derivan en una utilización menos eficiente de la potencia. Así pues, en el caso de suponer que la realización de un traspaso no conlleva ninguna penalización adicional de tráfico o señalización, el procedimiento óptimo consistiría en poder gestionar la transmisión/recepción de bloques RLC a través de la estación de base con mejores condiciones de propagación empleando, por ejemplo, técnicas de macrodiversidad. En la Figura 7-14 se representa el porcentaje adicional de bloques radio RLC generado por los procedimientos de retransmisión de la capa RLC. El incremento del retardo observado se debe precisamente a dicho aumento de tráfico RLC.

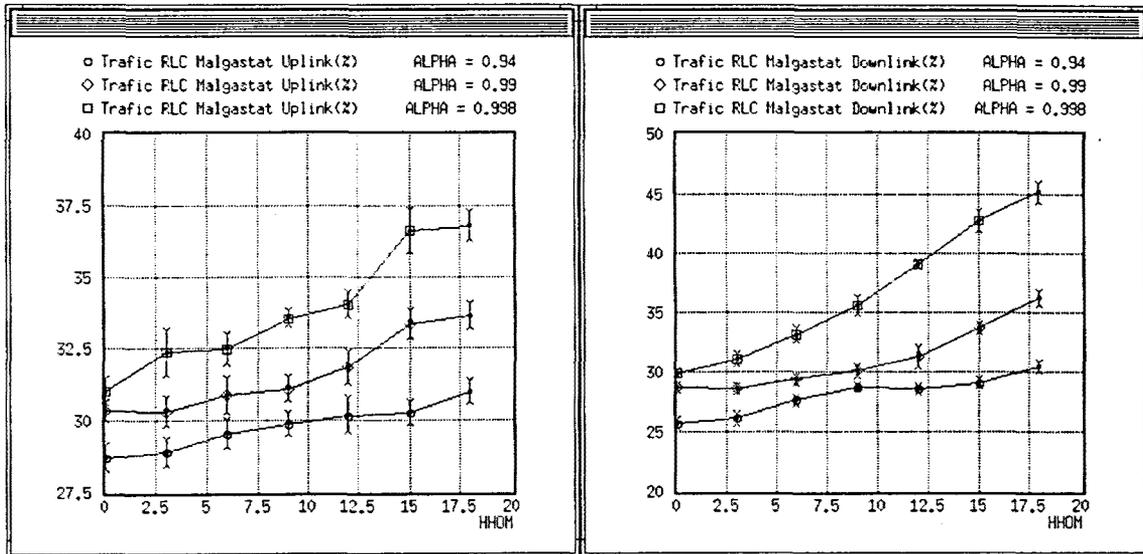


Figura 7-14. Porcentaje de incremento de tráfico RLC debido a retransmisiones.

Finalmente en la Figura 7-15 se representa el número medio de traspasos realizados en un único recorrido entre las dos estaciones de base de referencia. El procedimiento definido como óptimo conduce a la realización de más de 35 traspasos por trayectoria. Este elevado número se debe principalmente a la profundidad de los desvanecimientos considerada ($\sigma=10\text{dB}$), así como al reducido tiempo de coherencia (0.6s) resultante de considerar correlaciones espaciales de 20 m y una velocidad del móvil de 120 km/h.

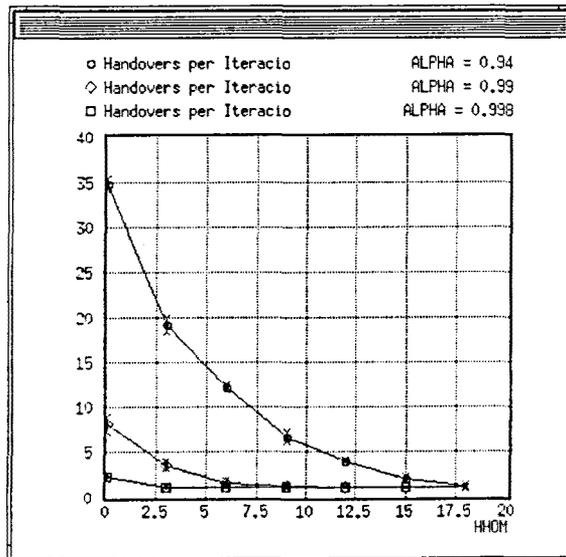


Figura 7-15. Número medio de traspasos en cada trayecto entre las dos estaciones de referencia.

Si consideramos la utilización de un tiempo de penalización para reducir el número de traspasos en el mismo escenario, podemos observar en la Figura 7-16 que el efecto del TIMER, proporcionado en

múltiplos de tramas de 10ms, es notorio para márgenes de histéresis inferiores a 6 dB de forma que se consigue una importante reducción del número de cambios de celda. En cambio, vemos en la Figura 7-17 que el efecto contrario es un aumento del tráfico RLC en ambos enlaces que conduce a un incremento del retardo cuando se utilizan márgenes de handover reducidos.

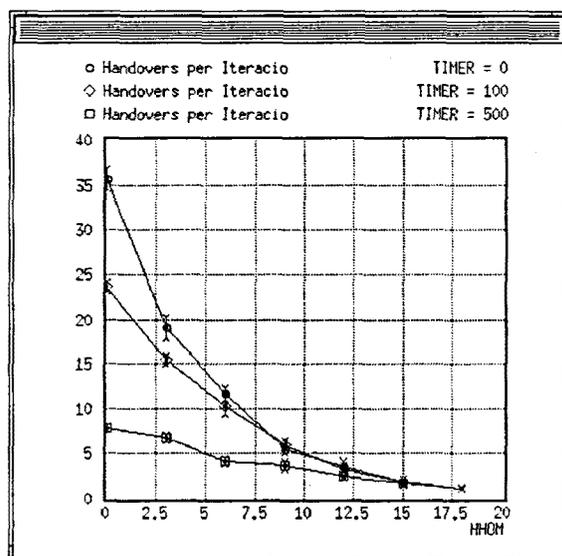


Figura 7-16. Número medio de traspasos incluyendo un tiempo de penalización mediante el parámetro TIMER.

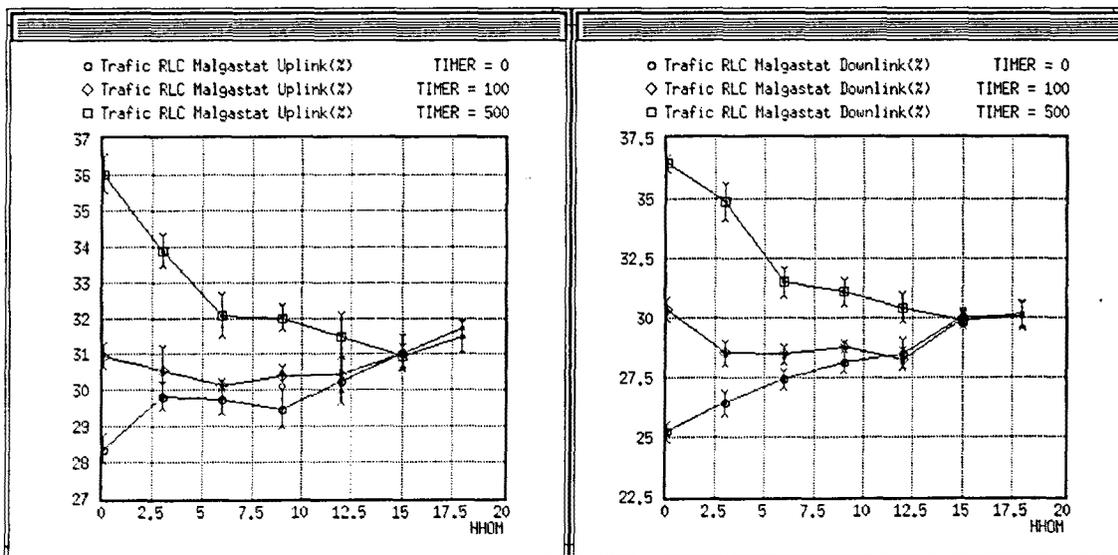


Figura 7-17. Efecto del tiempo de penalización en el porcentaje de retransmisiones RLC.

7.7. Traspaso *intra*-LLC.

7.7.1. Planteamiento

Esta situación se presenta en el caso de que las estaciones de base involucradas en el traspaso estuvieran controladas por entidades RLC/MAC diferentes pero no fuera necesario cambiar de entidad LLC. En la Figura 7-18 se representa esquemáticamente este tipo de traspaso.

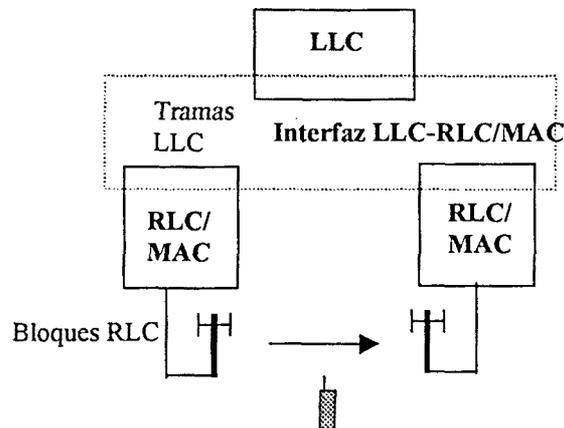


Figura 7-18. Traspaso entre entidades RLC/MAC sin modificar la sesión de enlace.

Los puntos a tener en cuenta son:

- Liberación de la sesión con el antiguo RLC/MAC.
- Establecimiento de una nueva sesión en el nuevo RLC/MAC
- Actualización del mecanismo de encaminamiento interno en la interfaz RLC/MAC-LLC.

Particularmente esta situación se corresponde al traspaso entre celdas controladas por un mismo nodo SGSN en GPRS. Tal como se detalla en la sección 6.3.6, el cambio de celda siempre conlleva la transmisión de una trama LLC a través de la nueva estación de base. El contenido de la trama LLC puede ser:

- Trama de supervisión (RR), si el modo de operación es ABM y no hay tramas pendientes.
- Trama de información, cuando existen tramas pendientes de transmisión.

La trama LLC recibida en el nuevo RLC/MAC es enviada a la entidad LLC correspondiente en base a su identificador de capa de enlace (TLLI en GPRS, véase sección 6.3.4) y los procesos ubicados en la interfaz actualizan sus tablas de rutado para la posterior transferencia de las tramas en el enlace descendente pertenecientes a dicho identificador TLLI hacia su nuevo punto de acceso.

En caso de encontrarse el terminal móvil en estado de transferencia de paquetes cuando se decide la necesidad de realización de un cambio de celda, se procede a la liberación de la canalización existente con el RLC/MAC antiguo. En condiciones normales, la liberación de dicha canalización (TBF en GPRS) en el canal ascendente la inicia el móvil y en el enlace descendente se libera desde la red. Para liberar la conexión RLC en el enlace ascendente el terminal envía el valor cero en el campo *Countdown Value* de la cabecera RLC/MAC del último bloque RLC. En el enlace descendente la red señala el último bloque RLC mediante el campo *Final Bit Indicator* y proporciona al móvil la información necesaria para enviar una trama de confirmación. Sin embargo, también se contempla la posibilidad de que el móvil solicite la liberación del TBF descendente indicándolo en un paquete de confirmación y que la red ordene explícitamente al terminal la liberación del enlace ascendente. Cuando la red reciba dicha indicación se procede con el mecanismo normal de liberación por parte de la red.

En caso de que ocurra una liberación anormal, la entidad transmisora debe reordenar la cola de transmisión e iniciar el establecimiento de una nueva conexión RLC con el envío de bloques RLC correspondientes a la trama LLC que no fue completamente confirmada. En el caso del terminal móvil, éste debe abandonar los recursos asociados con el antiguo TBF e intentar el acceso a través del CCCH o PCCH para establecer una nueva conexión RLC.

Un punto importante en este tipo de traspaso es la gestión del contexto asociado al terminal en la entidad RLC/MAC antigua. En la Figura 7-19 se ilustra la posible transferencia de contextos entre los nodos involucrados.

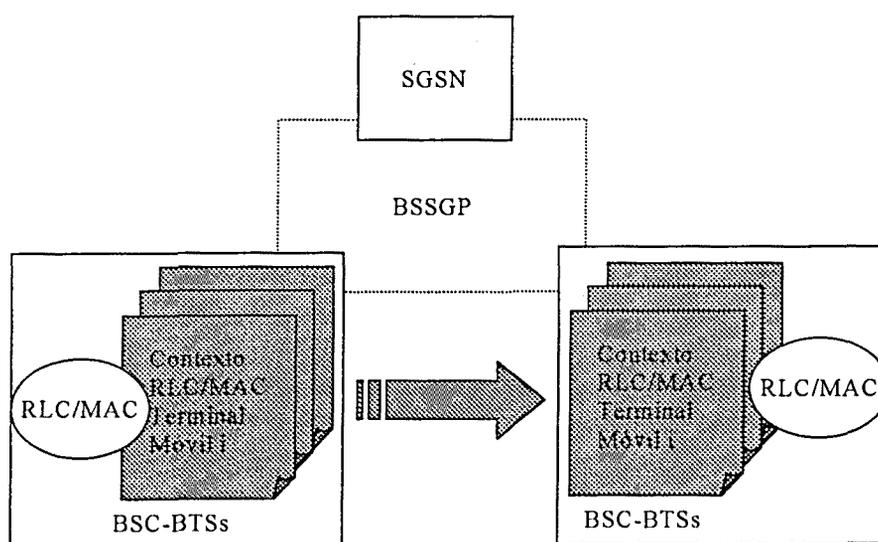


Figura 7-19. Transferencia de contextos entre entidades RLC/MAC.

Tal como se ha explicado en la sección 5.8, el protocolo BSSGP en GPRS no permite la transferencia del contexto entre entidades RLC/MAC diferentes. No obstante, a efectos comparativos y sin entrar en detalles de la señalización y de los mecanismos de transferencia necesarios, en el siguiente apartado se contempla la posibilidad de transferencia de contextos.

7.7.2. Resultados

Los resultados presentados en la Figura 7-20, Figura 7-21 y Figura 7-22, corresponden al caso en que se realiza la transferencia de contextos entre entidades RLC/MAC. La velocidad de transmisión es de 30 kbits/s sobre un servicio portador de 60 kbits/s. El tamaño de paquetes IP es de 1520 bytes. El margen de *fading* considerado es de 5 dB en ambos enlaces.

En la Figura 7-20 se representa el porcentaje de tráfico RLC correspondiente a retransmisiones. El comportamiento es similar al caso de traspasos *intra*-RLC/MAC: conforme aumenta el margen de histéresis y el tiempo de promediado, el porcentaje de retransmisiones aumenta debido al incremento de la interferencia en el sistema. Sin embargo, para márgenes de histéresis y tiempos de promediado muy reducidos se aprecia un ligero deterioro debido al retardo ocasionado por el reestablecimiento del nuevo enlace RLC/MAC.

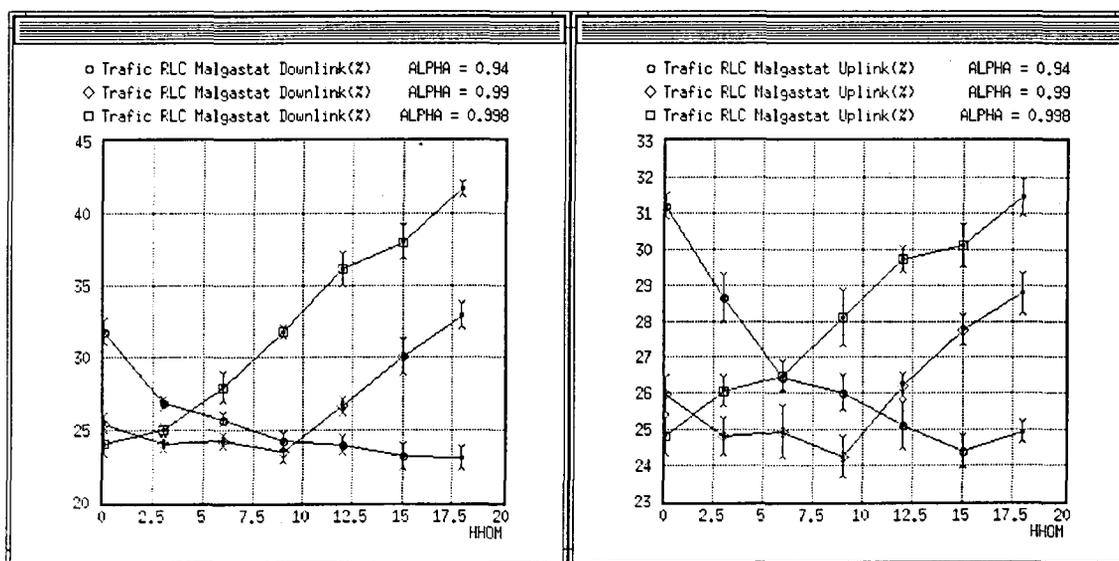


Figura 7-20. Porcentaje de tráfico RLC/MAC debido a los mecanismos de retransmisión.

De la misma forma, el comportamiento del porcentaje de retransmisiones en el módulo RLC/MAC, se encuentra reflejado en la representación del retardo global experimentado por los paquetes IP, tal como se puede observar de la Figura 7-21.

En la Figura 7-22 se representa el *overhead* debido a la gestión en la capa de enlace. Dicho *overhead* se ha calculado a partir de la relación entre el tráfico entregado al módulo LLC correspondiente y el

tráfico generado a su salida. Podemos observar que la tendencia reflejada es la misma que la experimentada por los parámetros mostrados en las figuras anteriores. En cualquier caso, es importante observar que el *overhead* introducido es menor del 1%.

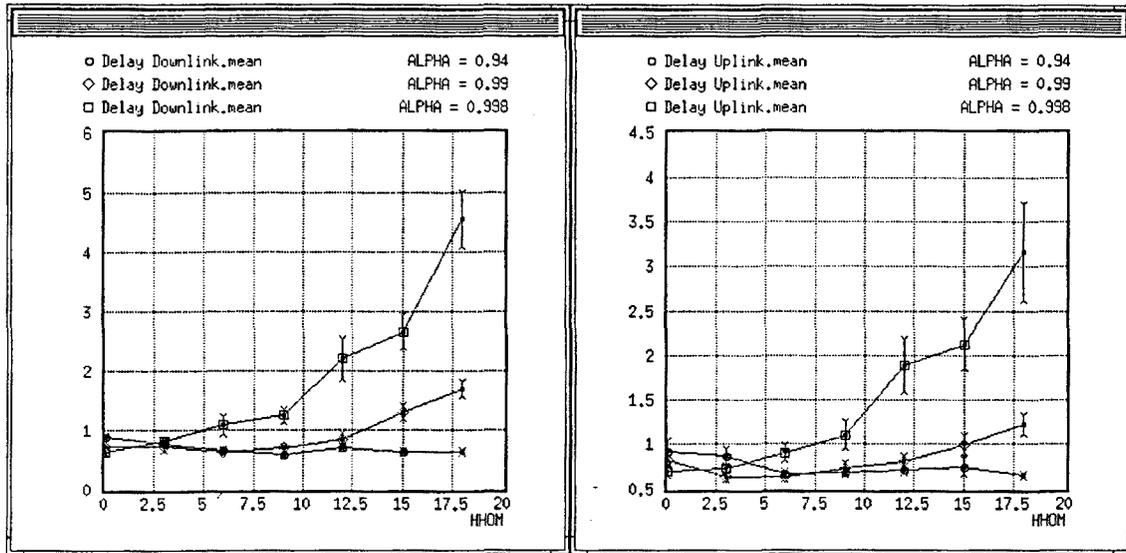


Figura 7-21. Retardo medio en ambos enlaces cuando se mantiene el contexto RLC/MAC.

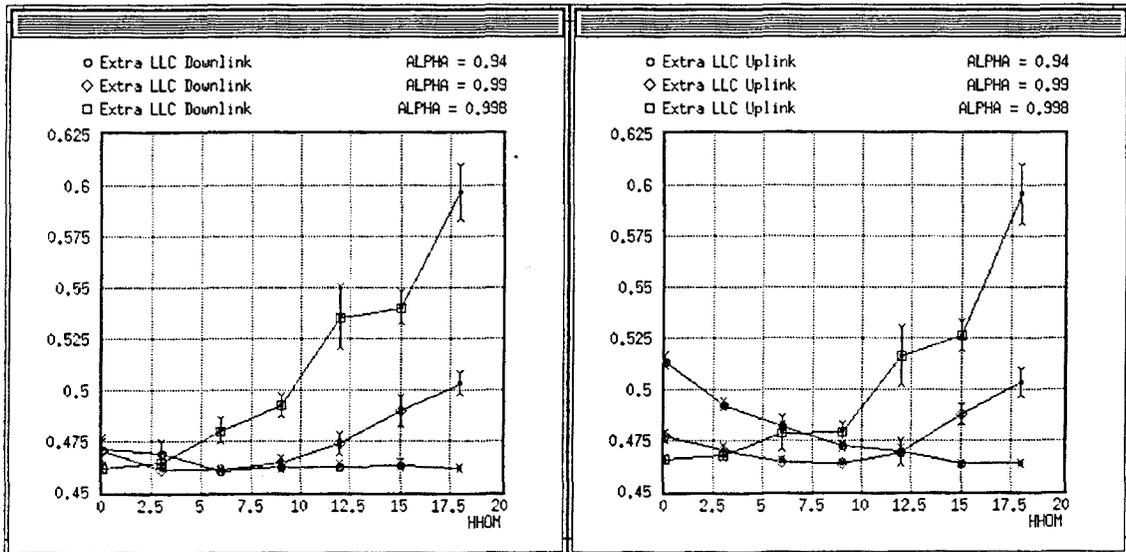


Figura 7-22. Overhead debido a la gestión de la capa de enlace.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en caso de no transferirse el contexto entre entidades RLC/MAC. Tal como se observa en la Figura 7-23, el retardo experimentado en el enlace descendente se desborda para márgenes de histéresis y tiempos de promediado reducidos. En cambio, en el enlace ascendente el deterioro es mucho menos significativo en comparación con el caso de producirse la transferencia de contextos.

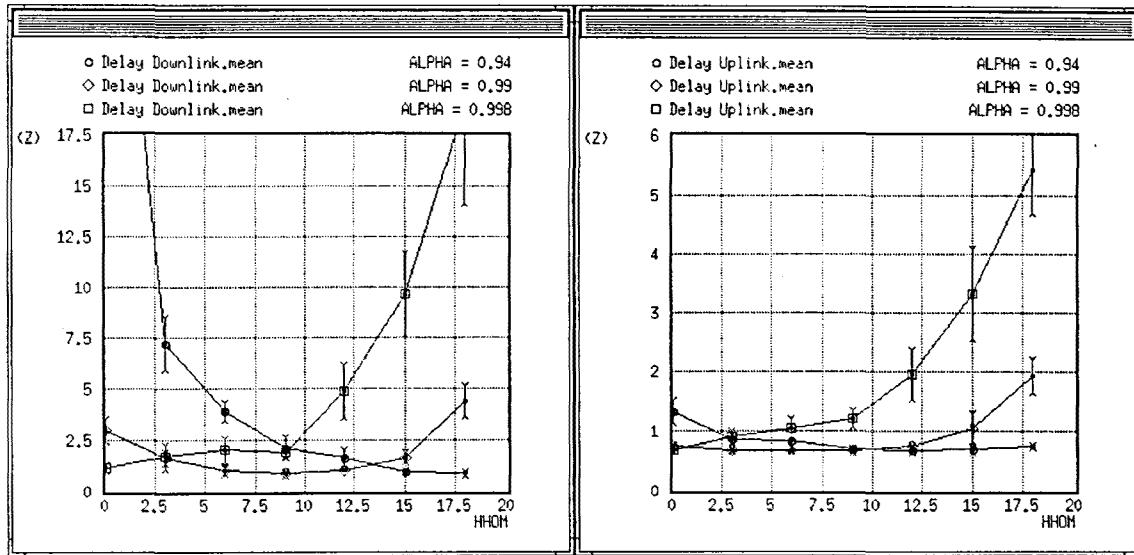


Figura 7-23. Retardo medio en ambos enlaces cuando se pierde el contexto RLC/MAC.

El motivo del importante deterioro en el enlace descendente puede asociarse al incremento en la señalización LLC observada en el mismo enlace. En la Figura 7-24 se representa el *overhead* LLC para el enlace descendente y ascendente respectivamente.

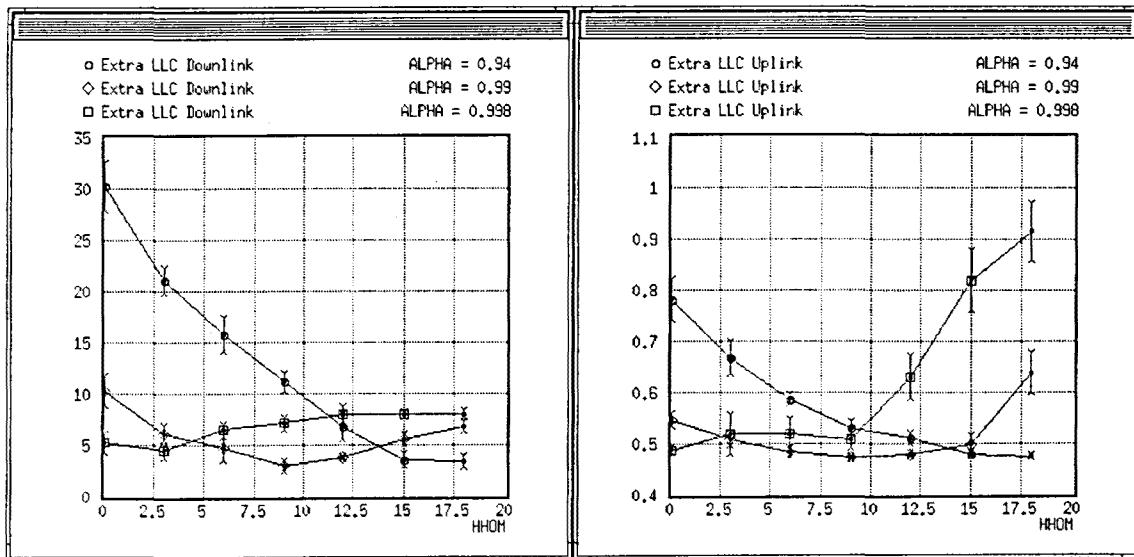


Figura 7-24. *Overhead* debido a la gestión de la capa de enlace.

El incremento de señalización en el enlace descendente es debido a la pérdida de las tramas LLC enviadas al módulo RLC/MAC antiguo y que deben recuperarse íntegramente mediante la gestión de retransmisiones en el módulo LLC. Incluso en el caso de considerar en media un único traspaso por iteración, situación correspondiente a márgenes de histéresis y tiempos de promediado elevados, se puede constatar un deterioro notable respecto a los resultados representados en la Figura 7-22, donde

se consideraba la transferencia del contexto RLC/MAC. Por tanto, podemos señalar que los mecanismos de gestión de las retransmisiones influyen considerablemente en las prestaciones conseguidas en el traspaso.

Las anteriores simulaciones se han obtenido para una ventana de transmisión $K=16$, un valor de $T_{200}=10s$ y una longitud del campo de información de las tramas LLC de 1520 bytes. A continuación se muestran algunos resultados obtenidos de considerar diferentes configuraciones de los parámetros del módulo LLC (Véase Tabla 7-2). El promediado es de 1s en todos los casos, con un TIMER también igual a 1s.

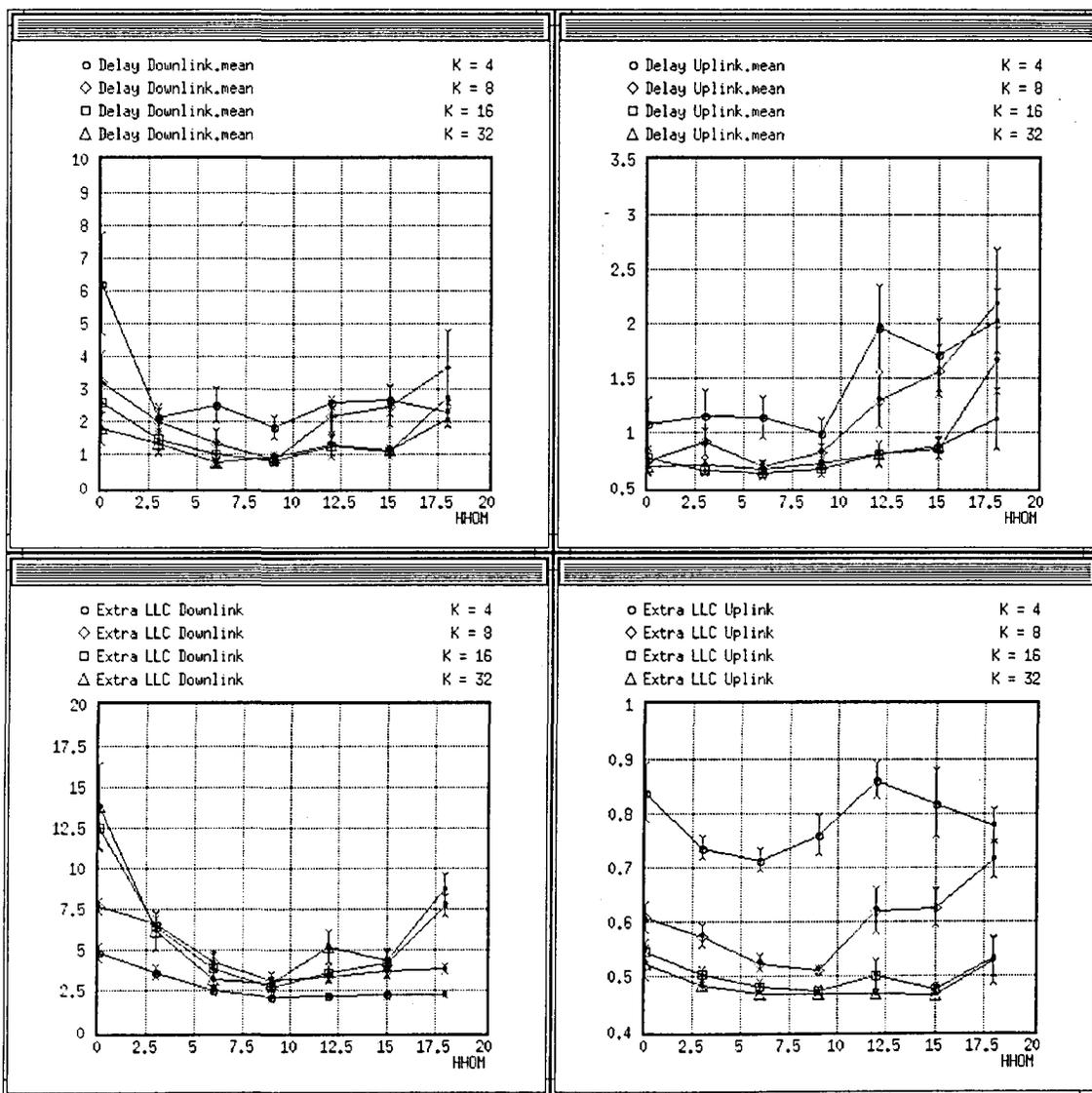


Figura 7-25. Efecto de K para paquetes de $L=1520$ bytes. Servicio portador 60 kbits/s.

En la Figura 7-25 se observa el efecto de la ventana de transmisión K . En el enlace descendente, ventanas de transmisión reducidas presentan incrementos de señalización menores. En el enlace

ascendente, el efecto es el contrario al aumentar el número de tramas de supervisión. En cambio, el retardo total experimentado es mayor debido a la mayor restricción en el envío de tramas LLC que hace que, aunque el número de tramas perdidas sea menor, la recuperación de las mismas resulta más lenta.

En la Figura 7-26 se representa la sensibilidad de los resultados respecto al contador T200, denominado T1 en la leyenda de la figura. Podemos observar que a partir de valores superiores a 5s, las repercusiones derivadas de T1 son mínimas. No obstante, en el caso de utilizar valores reducidos, T1=1s en las gráficas, se produce un deterioro en ambos enlaces, bastante independiente de las condiciones de traspaso, y que es debido básicamente a la recepción de confirmaciones fuera de tiempo.

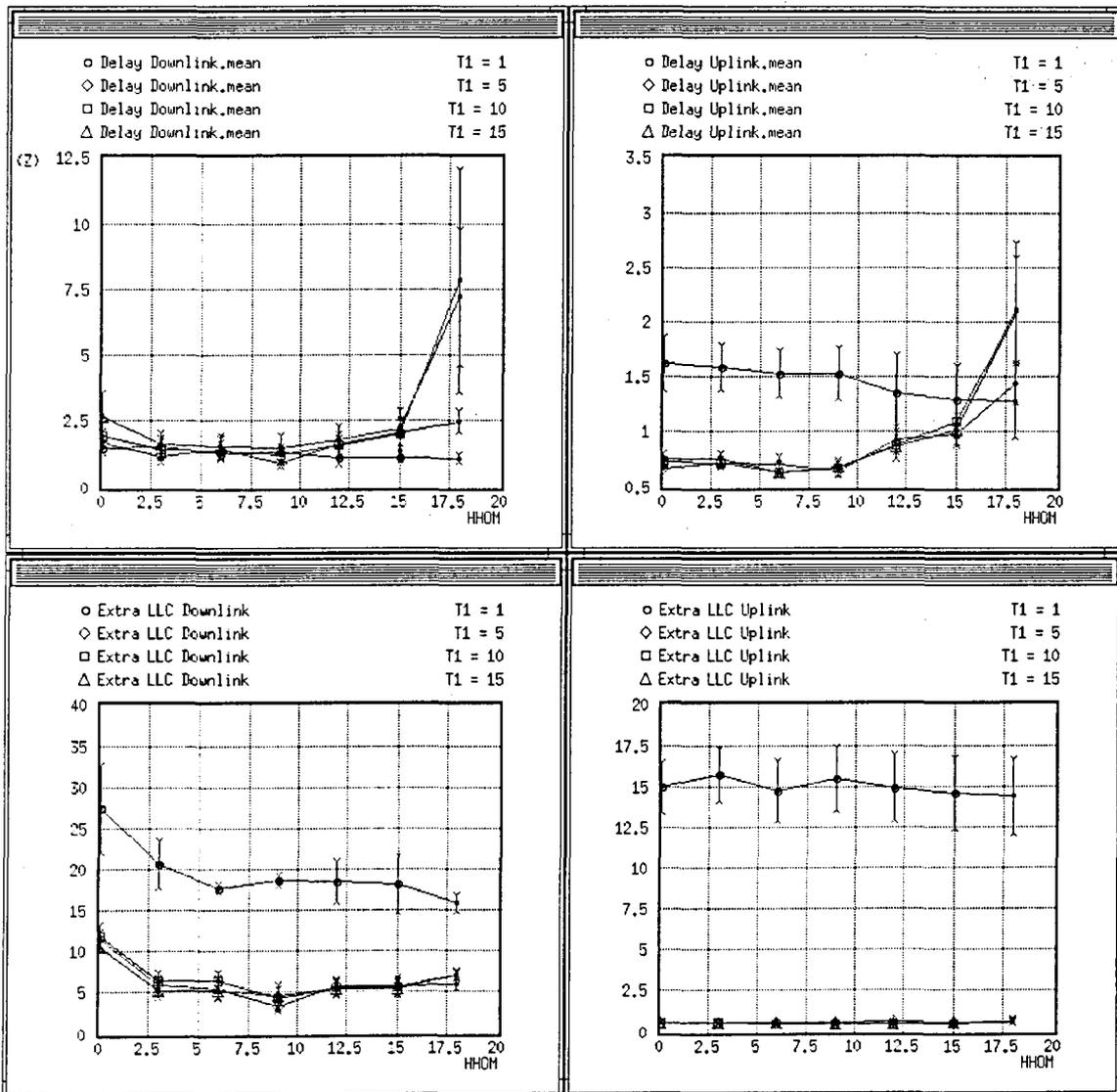


Figura 7-26. Efecto del parámetro T1 para L=1520 bytes. Servicio portador 60 kbits/s.

En caso de utilizar tramas de longitud menor, manteniendo la velocidad efectiva de transmisión a 30kbits/s, se han obtenido los resultados presentados en la Figura 7-27 y Figura 7-28.

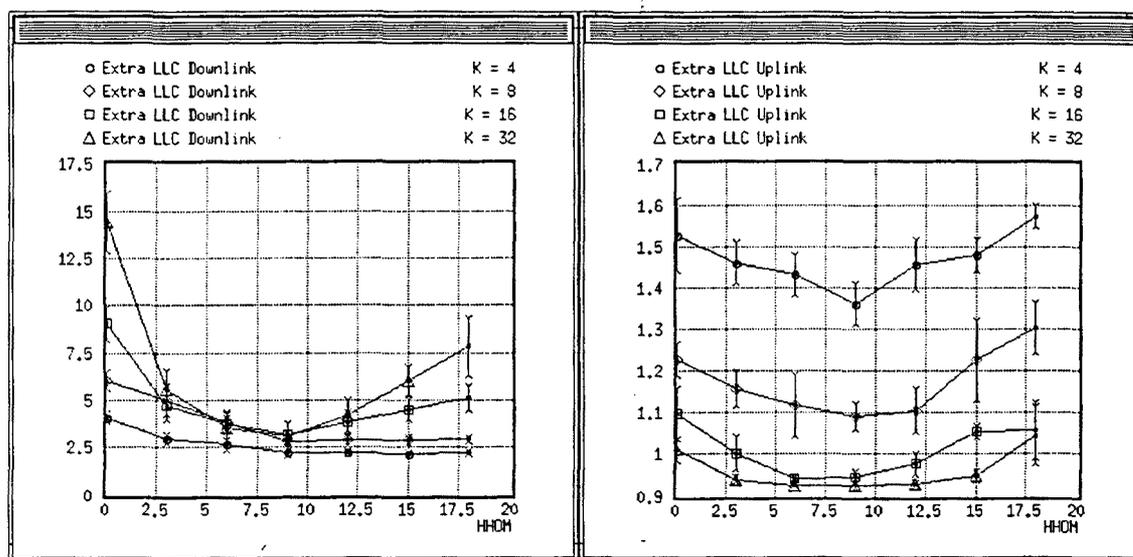


Figura 7-27. Longitud de tramas LLC de 760 bytes

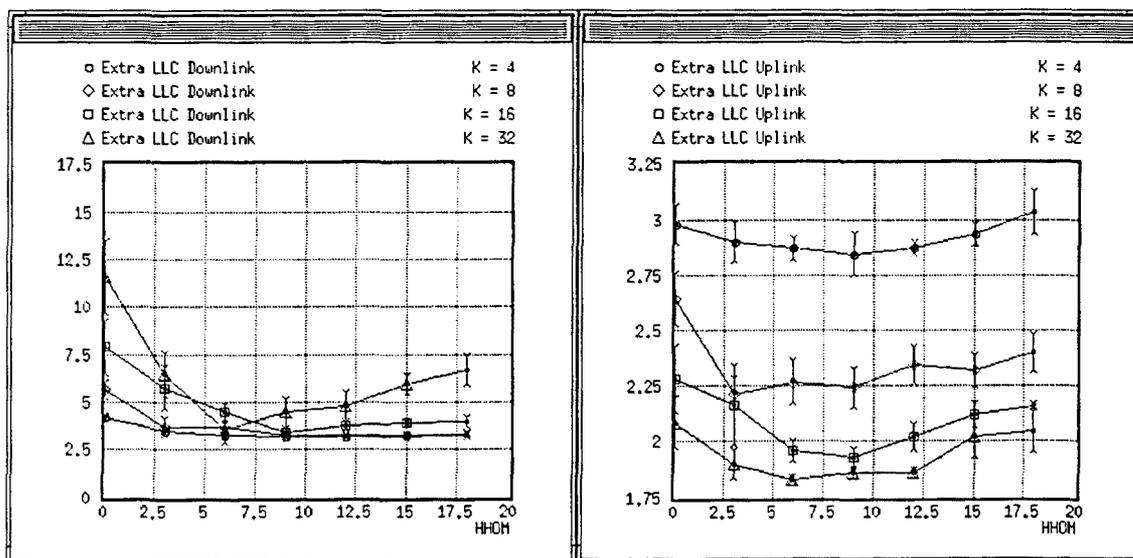


Figura 7-28. Longitud de tramas LLC de 380 bytes.

Comparando los resultados obtenidos para longitudes de 760 y 380 bytes con los mostrados en la Figura 7-25 para tramas de 1520 bytes, podemos observar como el efecto derivado de la reducción del tamaño de tramas es equivalente a la reducción del tamaño de la ventana de transmisión. Por ello, en el enlace descendente, la utilización de tramas LLC cortas y ventanas de transmisión reducidas conduce a un menor *overhead* en la señalización LLC, situación contraria a la tendencia observada en el enlace

ascendente. Sin embargo, tal como podemos observar en la Figura 7-29, en ambos casos se produce un aumento del retardo total experimentado.

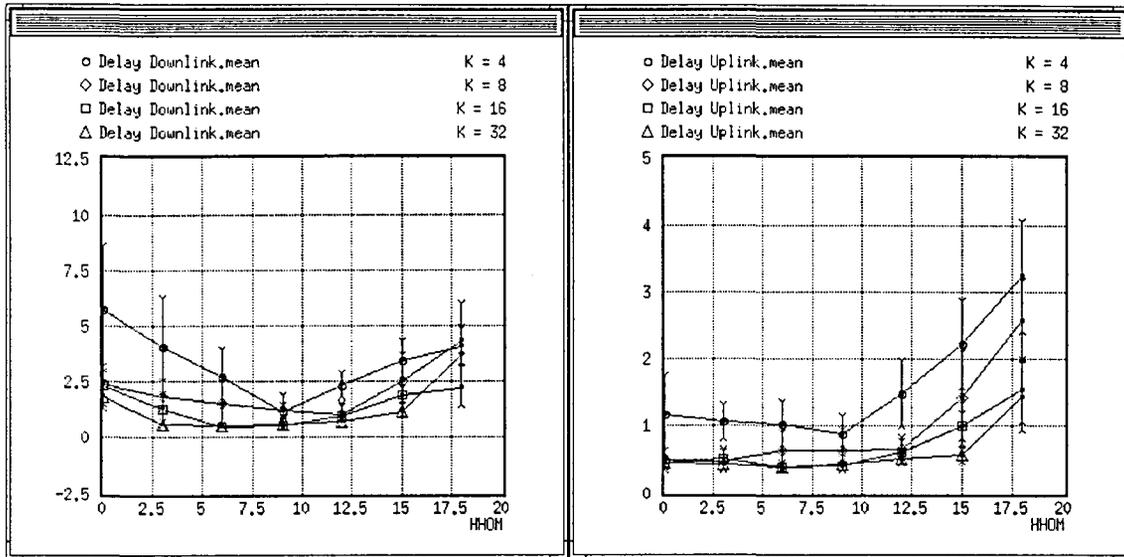


Figura 7-29. Longitud de tramas LLC de 760 bytes.

Finalmente en la Figura 7-30 y Figura 7-31 se presentan algunos resultados para verificar la tendencia observada con el tamaño de las tramas LLC para servicios portadores de 120 kbits/s. La velocidad de información efectiva se ha aumentado a 48 kbits/s para restringir más las condiciones de operación. La longitud de las tramas es de 1520 bytes. Los resultados obtenidos confirman un comportamiento similar al caso presentado en la Figura 7-25, con una ligera disminución del porcentaje absoluto de señalización adicional debido a la mayor restricción que impone el mismo tamaño de ventana.

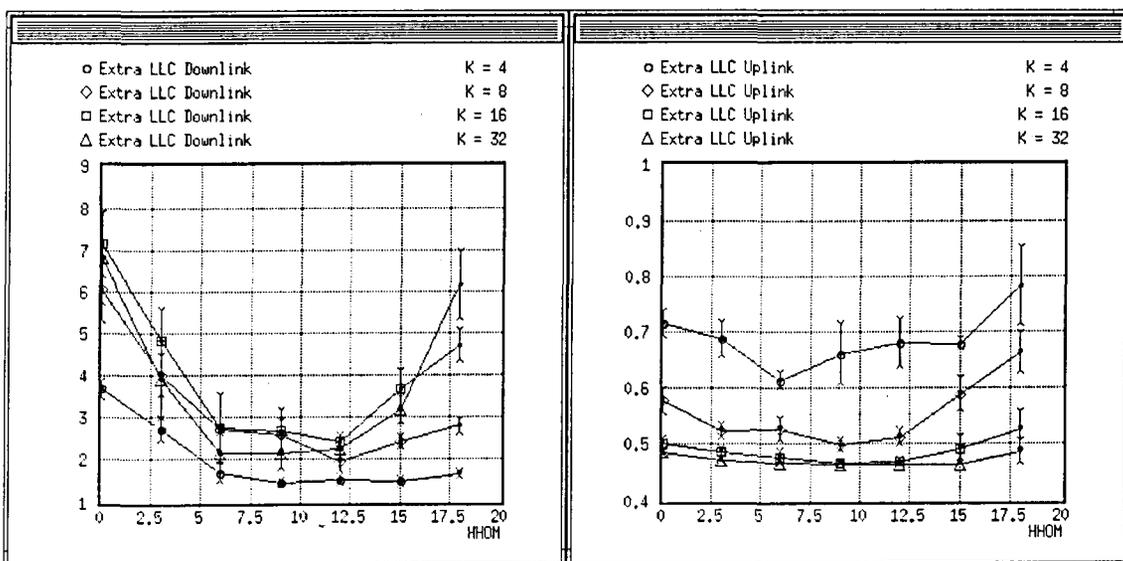


Figura 7-30. Longitud paquetes 1520 bytes. Servicio portador 120 kbits/s.

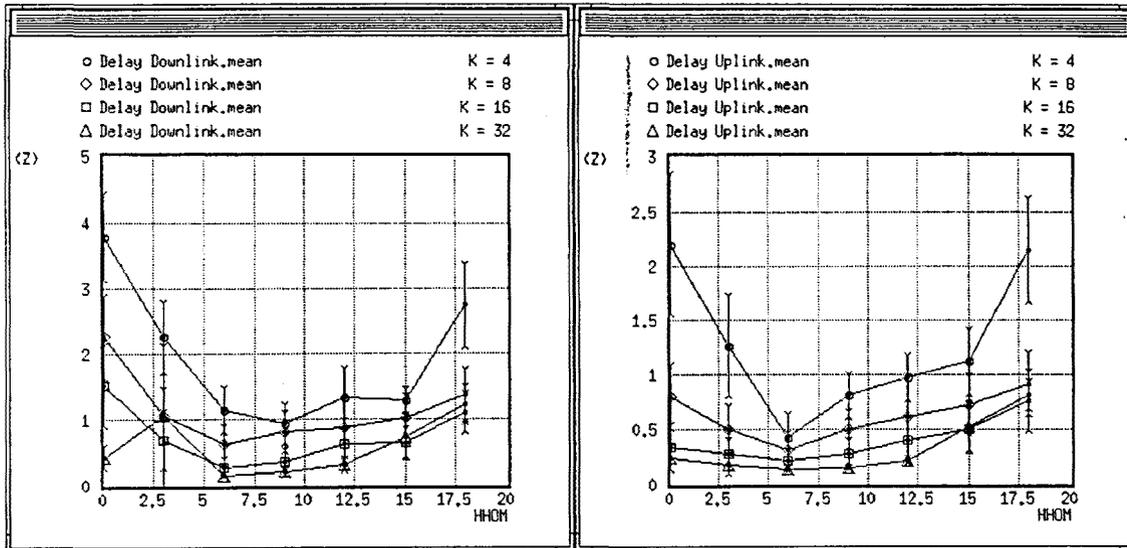


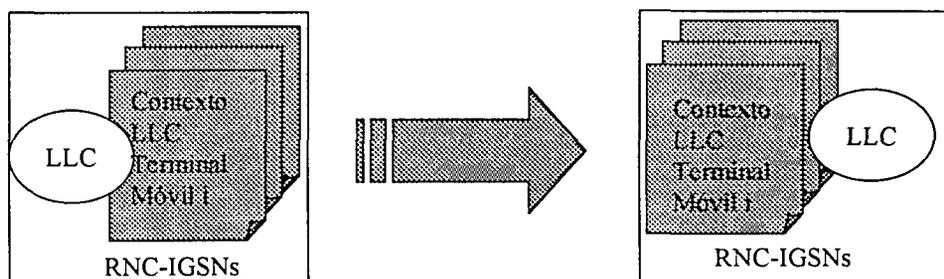
Figura 7-31. Longitud paquetes 1520 bytes. Servicio portador 120 kbits/s

7.8. Traspaso *intra-IP* e *inter-IP*.

7.8.1. Planteamiento

En la sección 7.3 se han identificado dos situaciones en las que el traspaso conlleva un re-establecimiento del enlace de datos: traspaso *intra-IP* y traspaso *inter-IP*.

El mecanismo de actualización de áreas de encaminamiento entre diferentes SGSN planteado en GPRS constituye un ejemplo de traspaso *intra-IP*. En el caso de considerar una red de acceso UTRAN, un posible escenario de traspaso *inter-IP* podría identificarse en el cambio de celdas pertenecientes a nodos IGSN distintos, si la capa IP termina en dicho nodos, o bien en el cambio entre celdas controladas por diferentes RNCs, si la capa IP se extiende hasta los controladores. La señalización necesaria en este tipo de traspasos, así como los mecanismos de transferencia y encaminamiento de la información hacia el nuevo nodo de acceso, dependen de la arquitectura de red existente y de los procedimientos adoptados para gestionar la movilidad local, así como la movilidad global en el caso de traspasos *inter-IP*. Sin embargo, podemos plantear como objetivo básico de todos ellos, la regeneración del contexto LLC en el nuevo nodo. En la Figura 7-32 se ilustra dicho planteamiento.



Handover LLC Time
Actualización contexto (completa, V(R), nula)

Figura 7-32. Traslencia del contexto LLC en traspasos *intra-IP* e *inter-IP*.

Por ello, en aras a simplificar la complejidad del modelo, hemos incluido el efecto del traspaso con cambio de enlace mediante:

-El retardo de señalización y transferencia (parámetro *Handover LLC Time*). Tal como se plantea en GPRS, la transferencia de información se interrumpe durante la ejecución de los procedimientos de gestión de la movilidad.

-La actualización realizada del contexto LLC. En la transferencia del contexto entre los nodos involucrados se han considerado tres casos diferentes

- Actualización nula. El nuevo enlace LLC establecido entre el terminal y el nuevo punto de acceso no dispone de ninguna información sobre el estado del contexto liberado en el nodo antiguo. De esta forma, el módulo LLC del terminal empieza a retransmitir tramas a partir de la última confirmación en el antiguo enlace (variable $V(A)$). En la parte fija hemos supuesto que las tramas pendientes de transmisión en el nodo antiguo son transferidas al nuevo nodo. Así pues, la entidad remota transmite nuevamente las posibles tramas pendientes de confirmación. Se considera que la transferencia de las tramas entre nodos de la red se realiza sin pérdida de información.
- Actualización de variables $V(R)$ entre entidades remotas. Este caso es el contemplado en GPRS durante la actualización de área de encaminamiento entre diferentes SGSN. Tal como se describe en la sección 6.3.6.2, en la señalización asociada al procedimiento de actualización de área de encaminamiento se incluye la variable $V(R)$ de la entidad LLC pertinente, de forma que el terminal móvil conoce el valor de la última trama recibida en la red y viceversa.
- Actualización completa. En este caso se supone que además de las variables $V(R)$, las nuevas entidades LLC remotas disponen de información adicional sobre las tramas que fueron recibidas fuera de orden, de forma que el conocimiento de su recepción no puede deducirse

del conocimiento de $V(R)$. Dicha información podría consistir en un campo de confirmación selectivo similar al considerado en las tramas SACK (Véase Anexo I).

7.8.2. Resultados

En la Figura 7-33 se representan los resultados correspondientes a un mecanismo de traspaso con actualización de la variables $V(R)$. Los parámetros de configuración son los mismos tomados como referencia en la sección 7.7 dedicada a caracterizar el traspaso *intra*-LLC.

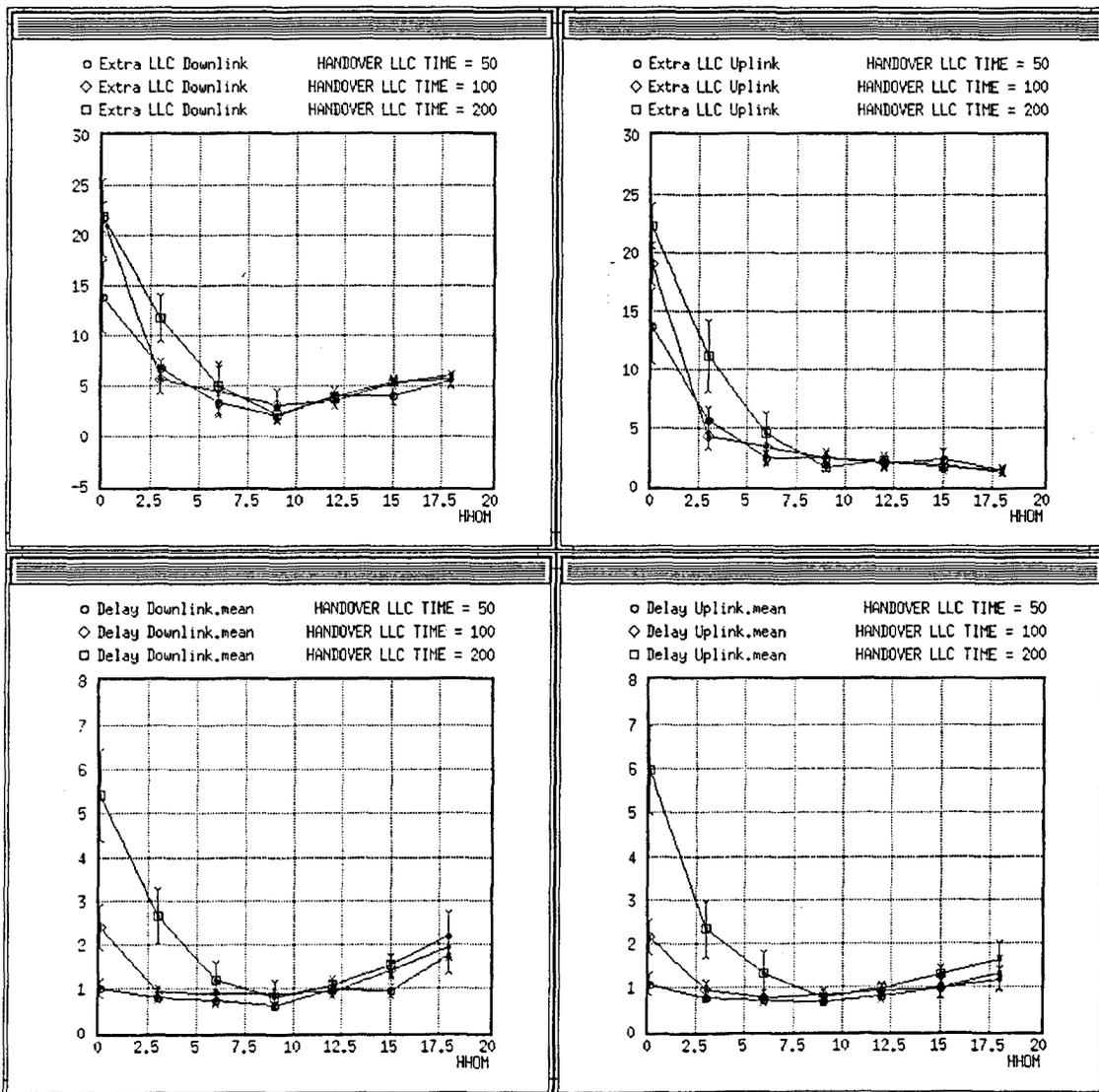


Figura 7-33. Efecto de la actualización de variables $V(R)$.

A diferencia de los traspasos *intra*-LLC, podemos observar que la sobrecarga de señalización se produce ahora en los dos enlaces por igual, debido a que en el enlace ascendente también se producen pérdidas de tramas en el antiguo segmento de red, bien porque no habían sido recibidas en el instante de iniciar el traspaso o bien porque habían sido recibidas fuera de orden, por lo que la variable $V(R)$

no refleja su recepción. Si nos fijamos en el efecto del parámetro *Handover LLC Time* en la sobrecarga de señalización, podríamos pensar que su influencia es relativamente pequeña respecto al número de traspasos efectuados. Sin embargo, de los resultados correspondientes al retardo experimentado, podemos intuir que, aunque la señalización LLC adicional generada es similar, un retardo excesivo en la señalización del traspaso junto a la realización de múltiples traspasos penaliza notablemente las prestaciones del traspaso. Es importante tener en cuenta en dicho punto que, análogamente a los mecanismos de gestión de la localización en GPRS, hemos supuesto que la transferencia de información de usuario queda interrumpida durante la realización de la señalización necesaria para efectuar el traspaso.

En caso de no actualizarse el valor de las variables de estado $V(R)$, situación denominada como *actualización nula* en la sección 7.8.1, se produce un ligero incremento en ambos enlaces de la señalización LLC y consecuentemente, del retardo total experimentado. En la Figura 7-34 y Figura 7-35 se proporcionan los resultados obtenidos para la sobrecarga de señalización y el retardo experimentado respectivamente. Nótese que el parámetro *Handover LLC Time* presenta exactamente el mismo comportamiento observado en el caso de transferencia de las variables $V(R)$.

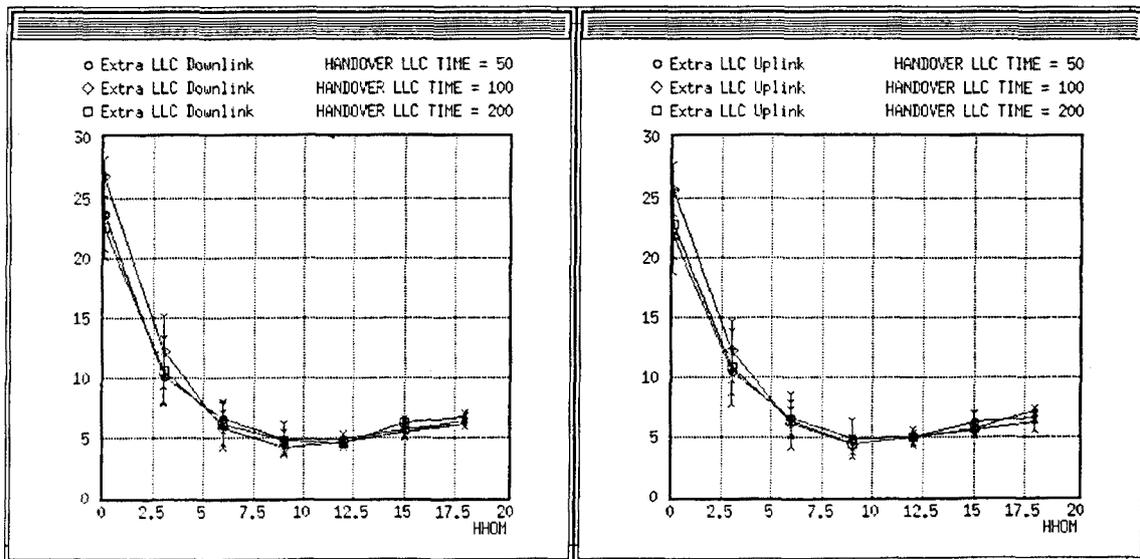


Figura 7-34. Sobrecarga de señalización LLC en un traspaso sin actualización de las variables $V(R)$.
Equivalente al caso de *actualización nula* descrito en la sección 7.8.1.

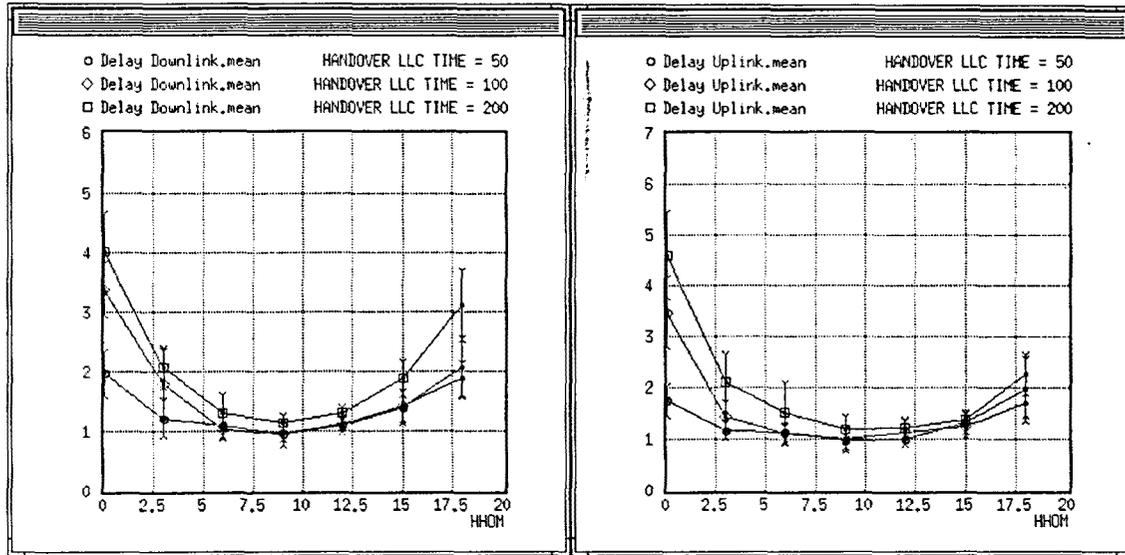


Figura 7-35. Retardo experimentado en un traspaso sin actualización de las variables V(R).

Equivalente al caso de *actualización-nula* descrito en la sección 7.8.1.

En caso de transferir todo el contexto, situación denominada *actualización completa* en la sección 7.8.1, se produce una considerable mejora respecto a los dos casos presentados anteriormente. Realmente las prestaciones obtenidas corresponden a las observadas en el estudio del traspaso *intra-LLC*, ya que la única diferencia radica en el retardo incurrido para la transferencia del contexto. En la Figura 7-36 se representa el aumento de las retransmisiones. La mejora introducida en el enlace ascendente es muy significativa, pasándose de porcentajes del orden del 4-5% a valores de 0.5% para márgenes de histéresis de 6 dB.

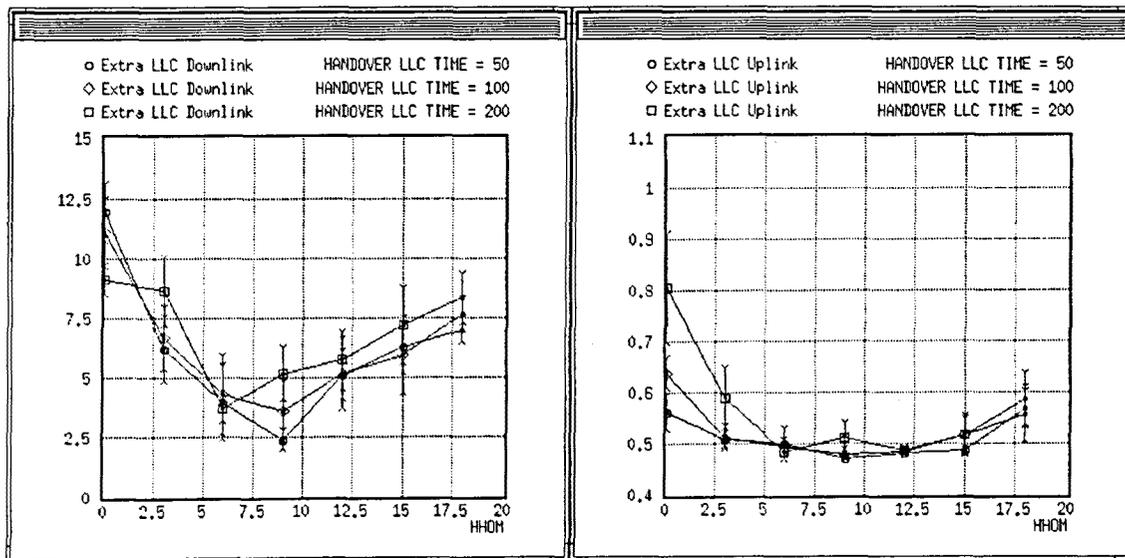


Figura 7-36. Sobrecarga de señalización LLC en un traspaso completo del contexto LLC. Equivalente al caso de *actualización completa* descrito en la sección 7.8.1.

En la Figura 7-37 se proporcionan los valores de retardo.

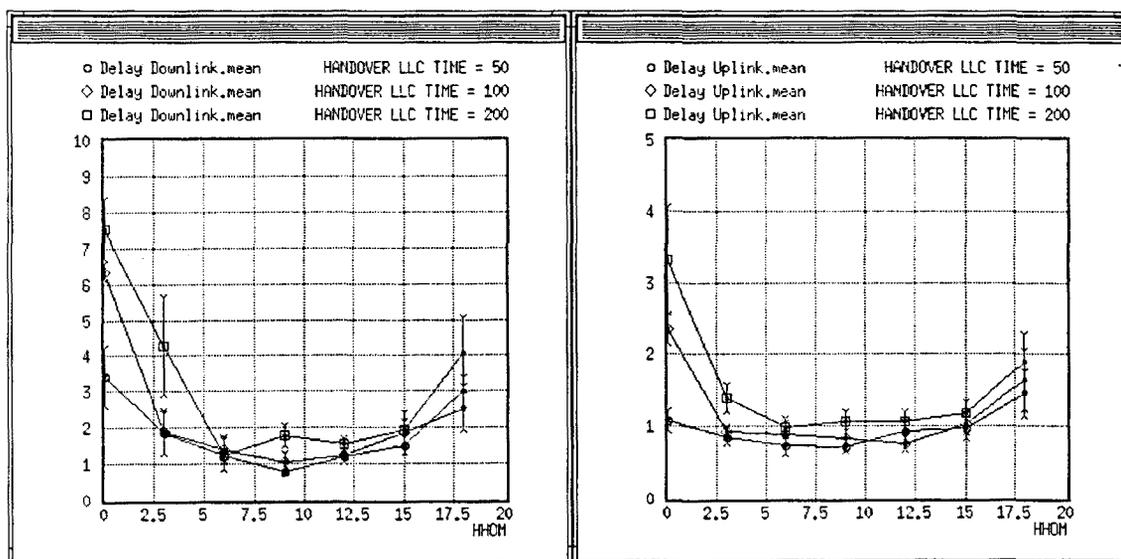


Figura 7-37. Retardo experimentado en un traspaso completo del contexto LLC. Equivalente al caso de actualización completa descrito en la sección 7.8.1.

Finalmente se ha procedido a un análisis similar al efectuado en la sección anterior para verificar la dependencia de las tendencias apuntadas respecto a los parámetros de configuración de la capa de enlace. Los resultados obtenidos respecto al efecto de la ventana de transmisión K, contador T200, longitud de las tramas y velocidad del servicio portador, son idénticos por lo que se omiten sus detalles, resultando válidas las apreciaciones aportadas en la sección anterior. Únicamente a modo de ejemplo, en la Figura 7-38 se representa la variación del *overhead* de señalización respecto al tamaño de la ventana de transmisión en el caso de transferencia del contexto con actualización de las variables V(R).

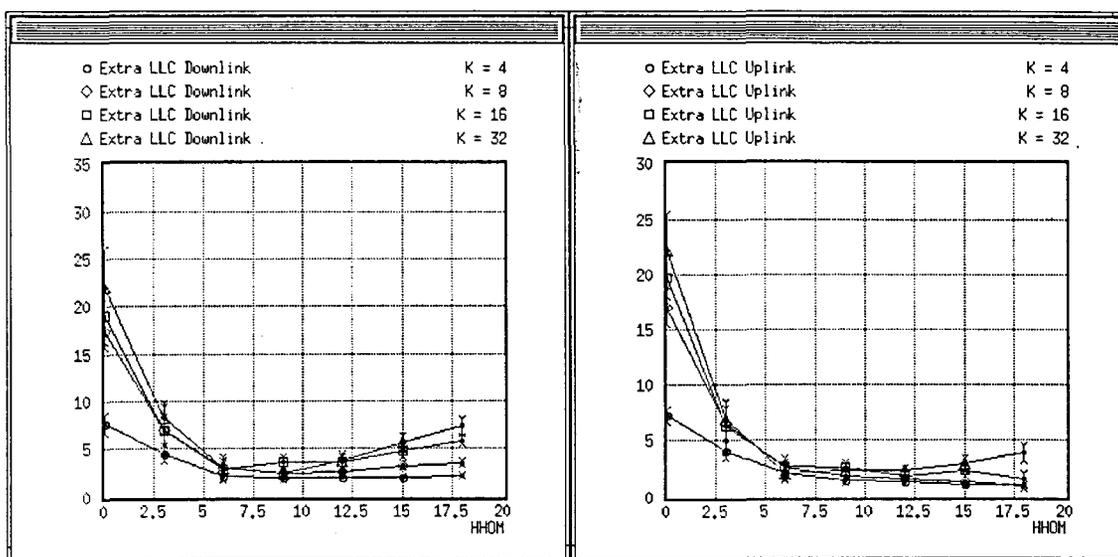


Figura 7-38. Efecto de la ventana de retransmisión en un traspaso LLC con actualización de variables V(R). Servicio portador de 60 kbits/s.

7.9. Conclusiones

En este capítulo se ha propuesto el estudio de un esquema de traspaso en función de las entidades funcionales involucradas en el plano de transporte. Para ello, la arquitectura de referencia y los procedimientos de movilidad adoptados se han desarrollado a partir de las descripciones efectuadas en los capítulos 5 y 6.

Los resultados proporcionados son meramente cualitativos y sirven para evaluar la relevancia de las entidades funcionales involucradas. El mecanismo de traspaso tomado como punto de referencia es un esquema de re-selección de celda similar al utilizado en GPRS. Concretamente se han constatado los siguientes puntos:

- En los sistemas de tercera generación, el traspaso entre celdas controladas por el mismo proceso RLC/MAC puede asimilarse a la propia gestión de asignación de recursos radio, y como tal, la gestión óptima apunta a una posible operación distribuida del módulo RLC/MAC entre varias estaciones de base. De esta forma, las transmisión de los bloques de información radio pertenecientes a la misma conexión se realizaría, en la medida de lo posible, a través de la estación de base que en ese instante presente mejores condiciones de propagación e interferencia.
- Cuando se produce un cambio de celda que conlleva la pérdida del contexto RLC/MAC antiguo, la operativa de los algoritmos utilizados en la capa de enlace repercute notoriamente en las prestaciones del mecanismo de traspaso, hasta el punto que, un excesivo número de traspasos puede ocasionar incrementos de señalización del orden del 25%, cuando el porcentaje durante una

transferencia sin traspaso resulta menor del 1%. Se ha observado que dicha sobrecarga únicamente se produce en el enlace descendente y es debida a la recuperación íntegra de las tramas perdidas en el traspaso mediante la gestión de retransmisiones. Por tanto, bajo dichas condiciones, el criterio de diseño de los parámetros que inciden en la decisión de realizar un traspaso debe evaluar el compromiso aparecido entre el uso ineficiente de los recursos radio y la sobrecarga de señalización en caso de permitir excesivos trasposos.

- En caso de trasposos con cambio de capa LLC, los procedimientos de señalización y transferencia del contexto asociados, donde podrían entrar los mecanismos de gestión de movilidad local analizados en el capítulo 6, se modelan simplemente con un retardo y con una serie de suposiciones sobre la regeneración del contexto en el nuevo nodo. Los resultados obtenidos muestran la sobrecarga de señalización y la penalización en retardo, ahora en ambos enlaces, en el caso de no realizar la transferencia del contexto, pero también en caso de utilizar el procedimiento adoptado en GPRS consistente en intercambiar información sobre las variables de estado de las entidades LLC durante la señalización asociada al cambio de área de encaminamiento. Dicho resultados pueden servir para remarcar la importancia de enfocar el traspaso entre celdas como un mecanismo de transferencia de los contextos de las entidades afectadas, en vez de gestionar básicamente el re-establecimiento y liberación de sesiones RLC/MAC y LLC.

A-I. Capa de enlace LLC (*Logical Link Control*).

En este anexo se describen los parámetros relevantes de la capa LLC detallada en la recomendación GSM 04.64 v6.1.0 Release 1997. Los procedimientos básicos están basados en HDLC y su estructura de trama en los protocolos LAPD y RLP. LLC es independiente de las capas propias de acceso radio aunque pero su estructura y funcionamiento está adaptado para operar en entornos radio.

Las especificaciones detalladas a continuación son las que han servido de base en la implementación del módulo LLC del modelo analizado en el capítulo 7.

A-I.1. Funcionalidades de la capa LLC

LLC se considera una subcapa de la capa de enlace dentro del modelo OSI (Open Systems Interconnection). Su propósito es transmitir de forma fiable información entre las capas de nivel de red situadas en el móvil y en el nodo SGSN. Para ello, las funciones ofrecidas por la capa LLC son:

- Provisión de uno o múltiples enlaces lógicos diferenciados mediante identificadores denominados DLCI (*Data Link Connection Identifier*).
- Control de secuencia para mantener el orden de la información transmitida.
- Detección de errores de transmisión, formato y errores operacionales.
- Notificación de errores irrecuperables.
- Control de flujo
- Cifrado de la información.

A-I.2. Relación con los protocolos de las capas adyacentes

En la Figura 7-39 se muestra la estructura de capas alrededor de la capa LLC y los puntos de acceso utilizados por las entidades de gestión de movilidad GMM, capa de adaptación para transportar paquetes de nivel de red y transferencia de mensajes cortos SMS.

Cada enlace lógico se identifica por un DLCI que está formado por dos subcampos: el punto de acceso al servicio (SAP, véase Figura 7-39) y un identificador de conexión por usuario TLLI, asignado por la entidad gestora de la movilidad. Pueden coexistir múltiples entidades LLE con un mismo identificador TLLI.

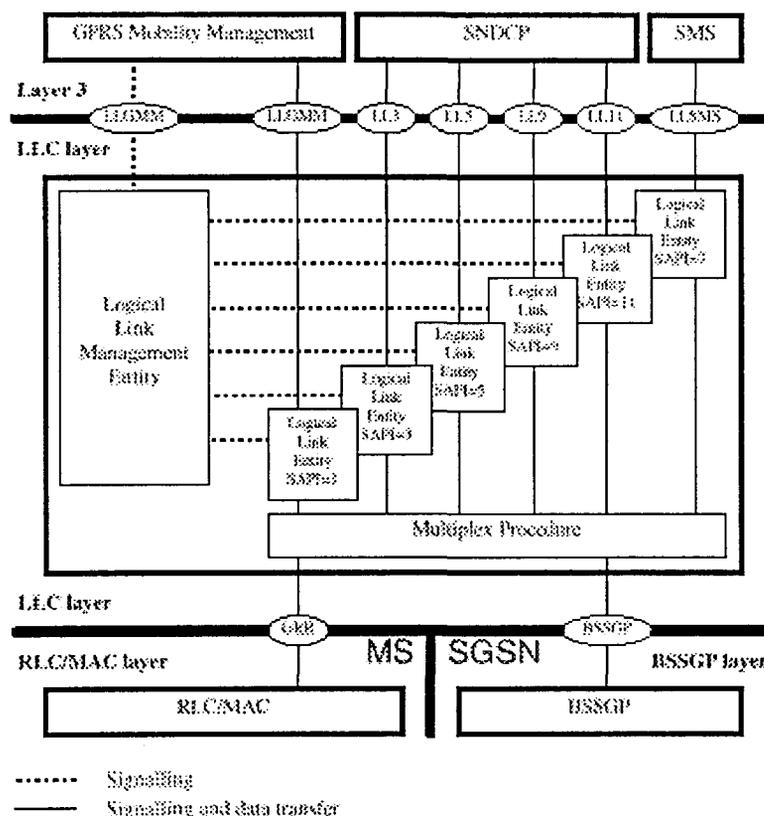


Figura 7-39. Modelo funcional de la capa de enlace (GSM 04.64)

A-I.3. Modos de operación

Existen dos modos de operación para transmitir información entre entidades LLC remotas:

- **Operación sin confirmación:** La información de nivel de red se transmite mediante tramas numeradas UI (Unconfirmed Frames). No se realiza control de flujo y tampoco es posible la utilización de mecanismos de corrección de errores y control del orden de secuencia. Las tramas duplicadas se descartan sin notificación alguna.
- **Operación con confirmación:** La información se transmite mediante tramas numeradas I (Information). La recepción de tramas I se confirma a la entidad LLC emisora. Se implementan mecanismos de recuperación de errores y control del orden de secuencia. No es posible la utilización de este modo de operación para los SAPIs 1 y 7 (GPRS Mobility Management y mensajes cortos).

En función de la asignación del identificador TLLI, una entidad LLE puede encontrarse en tres estados diferentes:

- TLLI no asignado. Únicamente es posible la transferencia de información sin confirmación del móvil a la red por el SAPI=1 (funciones de movilidad).
- TLLI asignado y modo ADM (*Asynchronous Disconnected Mode*). Es posible la transferencia de información en ambos sentidos pero sin mecanismos de confirmación.
- TLLI asignado y modo ABM (*Asynchronous Balanced Mode*). Este estado se establece mediante el previo intercambio de tramas de control (SABM/UA) y permite la operación con confirmación.

A-I.4. Tramas LLC

Las tramas entre entidades LLC se estructuran en un número entero de octetos (8 bits). No se utilizan delimitadores de trama ya que se suponen mecanismos a tal efecto en las capas inferiores (RLC/MAC y BSSGP en GPRS).

El tamaño de la cabecera de la trama puede variar entre un mínimo de 2 octetos y un máximo de 37. La longitud máxima del campo de información viene determinado por el parámetro N201 y depende del servicio de nivel de red soportado (entre 270 y 1520 bytes). Al final de la trama se añade una palabra de 24 bits para detección de errores (FCS, *Frame Check Sequence*).

Existe un campo de control en la cabecera para identificar el tipo de trama. Concretamente se distinguen cuatro tipos:

- Tramas de información confirmadas (I)
- Tramas de información no confirmadas (UI)
- Tramas de supervisión (S). Su función principal es complementar las funcionalidades de supervisión de la información transmitida en tramas I. Como característica distintiva del protocolo HDLC, existen tramas específicas de confirmación de tramas recibidas con algún salto de secuencia debido probablemente a la pérdida de tramas. Las tramas de supervisión a tal efecto se denominan ACK y SACK. En SACK se envía un mapa de bits para indicar las tramas recibidas correctamente.
- Tramas de control (U). Se utilizan para soportar funciones de control entre entidades LLC (establecimiento del modo ABM, intercambio de parámetros de configuración,...)

En la cabecera también se cuenta con un campo de dirección. Dicho campo de dirección incluye, entre otros, el SAPI utilizado. El identificador TLLI no se incluye en la cabecera de la trama pero se soporta

su transmisión mediante los servicios ofrecidos por las capas inferiores. En el campo de control existen una serie de parámetros generales y un grupo específico de parámetros en función del tipo de trama que se trate. Entre ellos tenemos los parámetros habituales encontrados en HDLC y parámetros específicos para una gestión optimizada de las retransmisiones.

- **Poll/Final Bit.** Bit utilizado en las tramas U para solicitar una respuesta de la entidad remota.
- **N(R), N(S) y N(U).** Contadores para el control de flujo y secuencia. N(U) se utiliza para numerar las tramas UI. La gestión de estos contadores se realiza a partir del mantenimiento de una serie de variables de estado V(S), V(A), V(R), V(U) y V(UR). Todos los valores numéricos están comprendidos entre 0 y el parámetro *Modulus* menos 1. El tamaño de la ventana deslizante viene dado por el parámetro K.
- **Acknowledgement Request Bit (A).** Bit contenido en las tramas I y S para solicitar a la entidad remota el envío de una trama de confirmación.
- **SACK Bitmap R(n).** Elemento incluido en las tramas I+S y S SACK. Contiene 255 bits para confirmar la recepción de la trama cuyo contador se corresponde a la posición del bit dentro de R(n). En la Figura 7-40 se encuentra representado el formato de dichas tramas.

		Control Field Bits								
Format		8	7	6	5	4	3	2	1	Claves
I frame SACK format		0	A	X	N(S)					1
		N(S)			X	N(R)				2
		N(R)						1	1	3
		X	X	X	K					4
		R(1)	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(7)	R(8)	5
		R(9)	R(10)	R(11)	R(12)	R(13)	R(14)	R(15)	R(16)	6
		...								7
	R(248)	R(249)	R(250)	R(251)	R(252)	R(253)	R(254)	X	255 (max)	
S frame SACK format		1	0	A	X	X	N(R)			1
		N(R)						1	1	2
		R(1)	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(7)	R(8)	3
		R(9)	R(10)	R(11)	R(12)	R(13)	R(14)	R(15)	R(16)	4
		...								7
	R(248)	R(249)	R(250)	R(251)	R(252)	R(253)	R(254)	X	255 (max)	

Figura 7-40. Formato del campo de control de las tramas SACK I y S (GSM 04.64).

A-I.5. Procedimientos para la transferencia de tramas de información en ABM.

Las entidades LLE en modo de funcionamiento ABM permiten la transmisión de información con acuse de recibo de la entidad remota (*acknowledged mode*). Para establecer dicho modo es necesario el intercambio de tramas no numeradas SABM/UA y XID, éstas últimas para configurar los parámetros necesarios para supervisar y controlar el flujo de la información. Para terminar controladamente el modo de transferencia ABM también se recurre al intercambio de tramas no numeradas DISC/UA.

A continuación se explican los mecanismos de transmisión/recepción de tramas y gestión de las conformaciones, una vez establecido el modo ABM.

Transmisión y recepción de tramas I.

Las tramas recibidas de las capas de nivel de red se encapsulan en tramas I de forma que a cada una de ellas se le asigna un identificador $N(S)$ en orden creciente que se va incrementando en una unidad módulo 512. Cada entidad LLE mantiene unas variables de estado $V(S)$ y $V(A)$ para gestionar, respectivamente, el siguiente identificador $N(S)$ que se asignará a una nueva trama I y para conocer cuál es la última trama I enviada que todavía no ha sido confirmada. En caso de procederse al envío de una trama, ésta se escoge según la siguiente prioridad:

- Si existen tramas de información que deben retransmitirse, se transmite la que posea el menor $N(S)$ y se incrementa en una unidad un contador interno que controla el número de retransmisiones efectuadas por trama. Si el contador llegara al máximo permitido (parámetro $N200$) se inicia un re-establecimiento de la conexión.
- Si la diferencia en los identificadores $N(S)$ entre la última trama enviada y la más antigua pendiente de confirmación es inferior al tamaño de la ventana de transmisión (parámetros kD y kU para el enlace descendente y ascendente respectivamente) se procede al envío de una nueva trama I. Concretamente dicha condición se evalúa mediante la relación $V(S) < V(A) + k$.
- Si debe enviarse una confirmación y no hay tramas I pendientes, se transmite una trama de supervisión S.

En la trama transmitida se puede activar el bit $A=1$ para solicitar una confirmación de la entidad remota. Particularmente en las recomendaciones se exponen los casos:

- Cuando la trama I enviada es la última de una secuencia.
- Cuando con el envío de la trama I el transmisor llega a la condición $V(S) = V(A) + k$.

En el caso de recepción de tramas I, la entidad LLM actúa en función del identificador N(S) recibido. Existe una variable interna, V(R) que indica el identificador de trama que debería recibirse en cada momento. Así pues, podemos encontrarlos:

- Si $N(S)=V(R)$, la trama recibida es la esperada. Se extrae el campo de información y se pasa su contenido a la entidad de nivel 3 que mantiene la conexión.
- Si $V(R)<N(S)<V(R)+k$, se acepta la trama pero no entrega a la capa superior hasta que no se hayan recibido todas las tramas anteriores entre V(R) y N(S)-1.
- Si $|N(S)-V(R)|\geq k$, se descarta la trama.

Cada vez que se pasa el contenido de una trama a nivel de red se incrementa el valor de V(R) en una unidad.

Gestión de las confirmaciones.

La confirmación de las tramas recibidas se hace mediante el envío de tramas de supervisión S (RR, RNR, ACK y SACK) independientes o directamente utilizando los campos proporcionados en la cabecera de las tramas de información a tal efecto. Concretamente, dentro del formato de las tramas I se encuentran ubicados todos los campos especificados en las tramas de supervisión. De esta forma, cada vez que se envía una trama I se proporciona a la entidad remota información sobre el estado de las tramas recibidas. Además, se debe proceder a la transmisión de una trama S o bien S+I cuando:

- Se ha recibido una trama válida pero fuera de orden. En dichas circunstancias, es muy probable que las tramas intermedias se hayan perdido.
- Se ha recibido una trama S o S+I con el bit A=1.

Todas las tramas S y S+I contienen un parámetro N(R) que indica el número de trama que la entidad remota espera recibir. Además, la trama ACK confirma la recepción de la trama N(R)+1 y la trama SACK contiene un mapa de bits para confirmar la tramas N(R)+1 hasta N(R)+255 (Véase Figura 7-40). La decisión de enviar las diferentes tramas de supervisión se hace según la siguiente prioridad:

- Si la entidad no puede aceptar nuevas tramas, se envía RNR
- Si en la última trama recibida se cumplió $N(S)=V(R)$, se envía RR.
- Si la última trama recibida fue $N(S)=V(R)+1$, la trama adecuada es un ACK.
- En cualquier otro caso, se envía un SACK.

La entidad que recibe una trama S o I+S debe proceder a la actualización de las tramas guardadas pendientes de confirmación. Para ello, se utiliza el parámetro $N(R)$ recibido para validar las tramas enviadas con numeración hasta $N(R)-1$ y se puede proceder a su eliminación del buffer de transmisión. La variable $V(A)$ se actualiza directamente con $N(R)$. Si la trama de supervisión es un ACK o bien contiene un SACK bitmap, se lleva a cabo la validación de las tramas pertinentes de forma que también puedan ser eliminadas del buffer de transmisión.

CAPÍTULO 8

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

DE INVESTIGACIÓN

La introducción de técnicas de transmisión en modo paquete se ha convertido en una de las principales directrices de diseño en los futuros sistemas de comunicaciones móviles. Características como la flexibilidad, adaptabilidad, eficiencia y la creciente imbricación de los sistemas de telecomunicación con las tecnologías de la información, constituyen los principales atractivos de las tecnologías en modo paquete frente a los sistemas basados en conmutación y transmisión de circuitos. Bajo esta perspectiva, las aportaciones realizadas en la presente Tesis Doctoral se enmarcan dentro del estudio de la aplicación de técnicas de transmisión en modo paquete en el acceso radio y en el mecanismo de traspaso, o *handover*, inherente a los sistemas celulares.

En lo que respecta a la problemática del acceso múltiple en la interfaz radio, tras un enfoque de los objetivos, posibilidades y compromisos que ofrecen diferentes técnicas y protocolos de acceso, se han caracterizado y analizado las prestaciones derivadas de dos esquemas de acceso, cada uno de ellos representativo de la dualidad que ha existido en los últimos años en torno a una solución basada en TDMA o basada en CDMA para gestionar el acceso radio dentro de los sistemas celulares de tercera generación.

El esquema TDMA analizado está basado en las características de uno de los modos de acceso especificados en la plataforma TDMA de banda ancha propuesta dentro del proyecto europeo FRAMES y conocida como FMA1. Sobre dicha plataforma, cuya estructura y dimensionado corresponden básicamente a uno de los modos de acceso TDMA que, con ciertas modificaciones, pueden llegar a incluirse en las especificaciones del estándar de acceso radio a IMT-2000, se han analizado las prestaciones del protocolo PRMA++, tanto para servicios de voz como de datos. Respecto al tráfico de voz, los resultados obtenidos confirman la considerable ganancia de multiplexado alcanzable por PRMA++, aún cuando se consideran factores de actividad superiores al 50%. También se ha constatado la importancia en la elección del mecanismo de contención en el acceso a los slots de petición. A tal efecto, el diseño original basado en una probabilidad de retransmisión estática presenta un margen de comportamiento bastante reducido. Por tanto, un mal dimensionado, o un incremento brusco de tráfico, puede conducir fácilmente a situaciones de inestabilidad. A tal efecto se han analizado las prestaciones de algoritmos de *backoff* exponencial y se ha propuesto un algoritmo adaptativo que maximiza las prestaciones de protocolo PRMA++. Respecto

al tráfico de datos, se ha visto que las prestaciones del protocolo PRMA++ dependen considerablemente de las características del tráfico cursado, particularmente de la longitud del paquete y de la tasa de generación de peticiones. Dicho comportamiento repercute en un mayor grado de compromiso a la hora de diseñar una proporción eficiente entre los recursos dedicados a contención y los dedicados a tráfico de información. PRMA++ plantea la posibilidad de realizar una asignación múltiple de recursos de forma relativamente sencilla. En aras a mejorar las prestaciones del tráfico de datos, se ha introducido un algoritmo de asignación múltiple de slots basado en el estado de carga del sistema. No obstante, se ha constatado que las mejoras aportadas por la asignación múltiple se concentran en unos determinados márgenes de operación. Fuera de estos márgenes, la asignación múltiple puede incluso deteriorar las prestaciones conseguidas con la asignación de un único recurso.

Para caracterizar un sistema de acceso CDMA se ha recurrido a la propuesta WCDMA definida en UTRAN para el modo de duplexado en frecuencia (FDD). El estudio se ha centrado en analizar el compromiso existente entre la elección de los dos modos de operación planteados en la propuesta: un modo basado en la transmisión por canal común y otro modo basado en la asignación de un canal dedicado. Adicionalmente, hemos considerado un tercer modo de operación con características intermedias entre los dos modos citados anteriormente. El compromiso existente entre los tres modos de operación se plantea en términos de tiempo de establecimiento del canal dedicado, potencia adicional debida a la transmisión de los canales de control asociados al canal de datos, existencia de colisiones por código, y prestaciones del control de potencia en lazo abierto y en lazo cerrado. Los criterios de comparación se han establecido en base al retardo de transmisión, caudal eficaz e interferencia producida sobre un servicio de voz ubicado en la misma banda frecuencial. Para tasas de generación de tráfico reducidas, e independientemente de la longitud del paquete, el modo de transmisión por canal común se presenta como la mejor alternativa en términos de retardo de transmisión. Conforme aumenta la carga ofrecida, las tendencias se invierten y pasa a ser la transmisión por canal dedicado la que presenta un menor retardo de transmisión, incluso para paquetes de longitud muy corta en comparación con el *overhead* introducido en el establecimiento del canal.

Para el estudio del mecanismo de traspaso, en el capítulo 3 se ha presentado una visión general de diferentes aspectos relacionados con dicho mecanismo en sistemas celulares. Con ello se ha pretendido constatar la importancia del mecanismo de traspaso, así como la complejidad existente a la hora de diseñar una solución de traspaso apropiada que permita, por un lado, ocultar la realidad celular y multientorno al usuario móvil en forma de continuidad de servicio, y por otro lado, gestionar eficientemente los recursos radio y de red disponibles para la provisión de dichos servicios. Así mismo, se ha puesto de manifiesto la necesidad de enfocar el estudio del *handover* en una arquitectura de red basada en transmisión en modo paquete.

El primer punto analizado se ha centrado en torno a las implicaciones derivadas de la utilización de traspasos *hard*, *soft* y técnicas de macrodiversidad en sistemas celulares. Se ha presentado la disyuntiva *soft-hard* en términos de capacidad, área de cobertura, arquitectura de red, servicios de datos, continuidad de la capa física, control de potencia y efecto 'ping-pong'. De forma general, se ha visto que la adopción de traspasos *soft* y técnicas de macrodiversidad se traduce en un aumento de la complejidad en el diseño de las redes de acceso celulares. Bajo esta perspectiva, se ha planteado la necesidad de realizar un análisis comparativo en términos de capacidad, recursos, retardo de transmisión y área de cobertura, en aras a disponer de información adicional para justificar la adopción de traspasos *soft* y técnicas de macrodiversidad frente a la realización de traspasos *hard*.

En el enlace ascendente la utilización de esquemas de traspaso *hard* con márgenes de histéresis de 3-6 dB conduce a pérdidas en capacidad, respecto a un esquema *soft* con combinación por selección (SC), del 6%-33% respectivamente. Por otro lado, la incorporación de técnicas de combinación del tipo EGC/MRC aumentan la capacidad del sistema porcentajes del orden de 27%-36%. Desde el punto de vista del retardo, mejoras en la utilización de recursos del orden de 1.5 dB pueden derivar en diferencias de retardo superiores a un orden de magnitud. En el enlace descendente la utilización del control de potencia mejora ostensiblemente las prestaciones del sistema. Si no se aplica control de potencia, los esquemas de macrodiversidad ayudan a combatir el efecto de los desvanecimientos y mejoran la capacidad del sistema. En este último caso, la configuración óptima consiste en traspasos *soft* con márgenes de combinación entre 3-6dB. La pérdida en términos de recursos por usuario en caso de utilizar traspasos *hard* con márgenes de 3 y 6 dB resulta del orden de 3.1 y 5.3 dB respectivamente. En caso de utilizar control ideal de potencia, la configuración óptima resulta en esquemas de traspaso *soft* MRC con márgenes del orden de 1-2dB, siendo las mejoras obtenidas, respecto a un traspaso *hard* con 3 y 6 dB de histéresis, del orden de 9%-12% y 38%-41% respectivamente. Respecto a la asignación de potencia entre las estaciones de base pertenecientes al *Active Set*, se ha propuesto el uso de una estrategia de asignación proporcional que aumenta las prestaciones del sistema para márgenes de combinación elevados donde la asignación de igual potencia presenta un importante deterioro.

El modelado efectuado para caracterizar el comportamiento de los mecanismos de traspaso está basado únicamente en criterios de distancia, y por ello, los resultados se han obtenido principalmente mediante simulaciones de Monte Carlo. No obstante, cuando ha sido posible, se han planteado formulaciones analíticas, detallando su margen de aplicación y validez. Particularmente, la metodología de Viterbi utilizada en [Viterbi94] se ha extendido para incorporar el margen de histéresis y poder calcular también el valor de la desviación típica de la interferencia normalizada. En el enlace descendente con control ideal de potencia se ha desarrollado una formulación analítica, análoga a la del ascendente, que permite caracterizar la asignación de potencia mediante una variable gaussiana. En

caso de no aplicarse control de potencia en el enlace descendente, se ha propuesto una metodología para el cálculo del valor medio de la interferencia en función de la ubicación dentro del área de servicio. El retardo de transmisión también se ha abordado analíticamente a partir de la caracterización gaussiana de la interferencia y de la asignación de potencia en el enlace ascendente y descendente respectivamente.

La comparación de prestaciones entre una solución *hard* o *soft* se ha abordado también en términos del margen de *fading*, a partir del cual, directamente, puede obtenerse la relación entre las áreas de cobertura asociadas a ambos esquemas para un mismo nivel de potencia interferente. Para ello, se ha propuesto una formulación analítica que permite la caracterización, sin necesidad de recurrir a laboriosos planteamientos matemáticos a menudo basados en formulaciones recursivas, del margen de *fading* teniendo en cuenta el margen de histéresis y el retardo de conexión para los traspasos *hard*, y la posibilidad de realizar una combinación SC o MRC en el caso de traspasos *soft*. Los resultados obtenidos abogan por la necesidad de disponer de un margen de *fading* del orden de 2.6-3.5 dB mayor en el caso de utilizar traspasos *hard*. Los resultados han sido corroborados mediante la realización de simulaciones y se ha proporcionado un análisis comparativo con otros resultados publicados en la literatura. En esta línea, se ha visto que los resultados presentados en el trabajo de Viterbi [Viterbi94] conducen a estimaciones demasiado pesimistas del margen de *fading* necesario en los traspasos *hard*.

Concluida la disyuntiva *soft-hard*, se ha pasado a analizar una posible arquitectura de red para redes celulares basadas en transmisión de paquetes. Entre los aspectos más relevantes apuntados destaca la utilización de una red troncal IP para conseguir la interconexión de diferentes sistemas de acceso bajo un contexto de movilidad global común. En el caso de redes de acceso celulares, el segmento radio de GPRS y la futura red de acceso UTRAN, se conectarían a la red troncal IP a través de unos nodos específicos denominados IGSN, cuya funcionalidad básica sería similar a la operación conjunta de los nodos SGSN y GGSN en GPRS, pero incorporando características avanzadas. Los principales factores argumentados a favor de la adopción de dicha arquitectura giran en torno a los siguientes puntos: evolución de los sistemas de segunda generación, especialmente GPRS, y hegemonía de la tecnología IP para la provisión de servicios datos y su progresiva adaptación a la incorporación de servicios en tiempo real. Otro aspecto destacado en la arquitectura UMTS/IP, es la separación entre las funciones radio dependientes y radio independientes. Particularmente se ha analizado dicha separación en el sistema GPRS y en la definición de las funciones asociadas a la red de acceso UTRAN. De esta forma, la gestión de la movilidad global, la gestión de acceso a los servicios y la definición de servicios de valor añadidos, pasan a independizarse en gran medida de la red de acceso utilizada.

Tras haber detallado una posible arquitectura de red, se han estudiado algunas de las propuestas de gestión de movilidad global y movilidad local que se están considerando como candidatas para el acceso por paquetes en los sistemas de tercera generación. Para conseguir movilidad global en un

entorno caracterizado principalmente por la multi-operatividad de sistemas, los protocolos *Mobile IP* y *IPv6* están concentrando especial atención. Para ello, se han discutido sus elementos y funcionalidades básicas, así como su integración dentro del concepto de UMTS. Básicamente podemos destacar que, aunque la adopción inicial de *Mobile IP* gire más entorno al concepto de servicio ofrecido, como por ejemplo en una primera evolución de GPRS, el objetivo final podría consistir en gestionar completamente la movilidad global con dicho protocolo. Respecto a la movilidad local, hemos analizado diferentes propuestas en función de la tecnología de transporte utilizada entre los nodos IGSN y los controladores de la red de acceso RNCs. Entre ellas podemos destacar *Cellular IP*, *Multicast IP* y *Mobile IP* jerarquizado, en caso de utilizarse una red IP en el segmento RNC-IGSN, y mecanismos de gestión de un enlace de datos, solución adoptada en GPRS. Adicionalmente, se han expuesto algunas consideraciones respecto al enfoque del mecanismo de traspaso en redes de paquetes. En GPRS, el traspaso considerado es propiamente un mecanismo de actualización de celdas. Por ello, puede resultar conveniente añadir señalización adicional para gestionar aspectos de la calidad de servicio QoS (Gestión de recursos, control de admisión, prioridades), así como optimizar la transferencia de información entre las entidades funcionales (LLC, RLC/MAC) involucradas en un traspaso.

Finalmente, se ha planteado el estudio de un esquema de traspaso en función de las entidades funcionales involucradas en el plano de transporte. En particular, se han identificado los módulos IP, LLC y RLC/MAC dentro del plano de transporte y se ha establecido una clasificación de los mecanismos de traspaso en función del módulo o módulos que deban ser actualizados o trasladados durante la ejecución del *handover*. Los resultados proporcionados son cualitativos y sirven para evaluar la relevancia de las entidades funcionales involucradas. El mecanismo de traspaso tomado como punto de referencia es un esquema de re-selección de celda similar al descrito en GPRS. En los sistemas de tercera generación, el traspaso entre celdas controladas por el proceso módulo RLC/MAC puede asimilarse a la propia gestión de asignación de recursos radio, y como tal, la gestión óptima apunta a una posible operación distribuida del módulo RLC/MAC entre varias estaciones de base. Cuando se produce un cambio de celda que conlleva la pérdida del contexto RLC/MAC antiguo, la operación de los algoritmos utilizados en la capa de enlace influye notoriamente en las prestaciones del mecanismo de traspaso, originándose una sobrecarga de señalización importante en el enlace descendente debida a la gestión de recuperación de la información perdida en el traspaso. En el caso de trasposos con cambio en la capa de enlace LLC donde no se realiza la transferencia del contexto, se produce una sobrecarga de señalización y una penalización en retardo en ambos enlaces. Dichos resultados pueden servir para remarcar la importancia de enfocar el traspaso entre celdas como un mecanismo de transferencia de los contextos de las entidades afectadas, en vez de gestionar básicamente el re-establecimiento y liberación de sesiones RLC/MAC y LLC.

Respecto a líneas futuras de investigación, existen varios aspectos que podrían enlazar con los diferentes puntos analizados en la presente Tesis Doctoral.

Probablemente resulta interesante extender el planteamiento del análisis efectuado para valorar la aplicación de técnicas de diversidad en sistemas macrocelulares a entornos de microceldas. Las condiciones de propagación y teletráfico en entornos microcelulares aportan condiciones de contorno diferentes a las planteadas en una cobertura regular con celdas hexagonales y tráfico uniforme. Asimismo, en caso de que la tecnología adoptada para dar cobertura a entornos microcelulares sea TD-CDMA, sería necesario contrastar las posibles mejoras en capacidad y QoS con las limitaciones adicionales inherentes a la operación en modo TDD.

En otro orden de cosas, vista la gran incidencia del mecanismo de gestión de retransmisiones de la capa de enlace, una posible línea de estudio consiste en el planteamiento de protocolos de enlace con parámetros de configuración adaptativos que intenten minimizar la sobrecarga de señalización originada cuando se produce un traspaso con pérdida de contexto RLC/MAC. Es importante remarcar que este tipo de traspaso es el adoptado actualmente en las especificaciones del sistema GPRS para cambios de celda del mismo SGSN.

Finalmente, otro aspecto interesante a nuestro modo de entender podría consistir en ahondar en la problemática de enfocar el traspaso en redes de paquetes en base a la transferencia de contextos de las entidades involucradas.

GLOSARIO DE SIGLAS

GLOSARIO DE SIGLAS

AAL2	ATM Adaptation Layer Type 2
ACTS	Advanced Communications Technologies and Services
AMPS	Advanced Mobile Phone System
APN	Access Point Name
ARP	Address Resolution Protocol
ARQ	Automatic Request for Repetition
ATDMA	Advanced TDMA Mobile Access
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	Broadband ISDN
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BSSGP	Base Station Subsystem GPRS Protocol
BTS	Base Transceiver Station
CA	Collision Avoidance
CAMEL	Customized Applications for Mobile Network Enhanced Logic
CC	Call control
CCITT	International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony
CD	Collision Detection
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
CM	Communication Management
CN	Core Network
CN	Correspondent Node
CoA	Care-of-Address
CODIT	Code Division Testbed
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CT	Cordless Telephone
DECT	Digital European Cordless Telephone
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DLC	Data Link Control
DS	Direct Sequence
DSMA	Digital Sense Multiple Access

EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EGC	Equal Gain Combining
EIA	Electronic Industries Association
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FA	Foreign Agent
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GSN	GPRS Support Node
GTP	GPRS Tunnel Protocol
HA	Home Agent
HCS	Hierarchical Cell Structure
HIPERLAN	High Performance Radio Local Area Network
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit-Switched Data
IETF	Internet Engineering Task Force
IGSN	Integrated GSN
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications para el año 2000
IN	Intelligent Network
INAP	IN Application Part
IS	Interim Standard
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISMA	Inhibit Sense Multiple Access
ISO	International Organisation for Standardisation
ITU	International Telecommunications Union
ITU-D	International Telecommunications Union – Development Sector
ITU-R	International Telecommunications Union – Radiocommunications Sector
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunications Sector
LAN	Local Area Network
LE	Local Exchange

LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MAP	Mobile Application Part
MBS	Mobile Broadband System
MM	Mobility Management
MM	Mobility Management
MN	Mobile Node
MRC	Maxiaml Ratio Combining
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSAPI	Network Service Access Point Identifier
OSI	Open Systems Interconnection
PACS	Personal Access Communications Services
PBX	Private Branch Exchange
PC	Personal Computer
PCN	Personal Communication Network
PCS	Personal Communications Systems
PDA	Portable Assisted Device
PDC	Personal Digital Cellular
PDP.	Packet Data Protocol
PDU	Protocol Data Unit
PHS	Personal Handyphone System
PRMA	Packet Reservation Multiple Access
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
P-TMSI	Packet Temporary Mobile Subscriber Identity
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RACE	Research on Advanced Communications for Europe
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem.
SC	Selection Combining

SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SNDCP	Subnetwork Dependent Convergence Protocol
SS7	Signalling System nº 7
TACS	Total access Communications System
TB	Transport Block
TBF	Temporary Block Flow
TCP	Transport Control Protocol
TD-CDMA	Time Division CDMA
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TF	Transport Format
TIA	Telecommunications Industry Association
TLLI	Temporary Logical Link Identity
TMA	Telefonía Móvil Automática
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USF	Uplink State Flag
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VHE	Virtual Home Environment
VLR	Visitor Location Register
WACS	Wireless Access Communications Systems
WAN	Wide Area Network
WAP	Wireless Access Protocol
WARC	World Administrative Radio Conference
WCDMA	Wideband CDMA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Ajmone97] Marco Ajmone et al., "Local and Global Handovers for Mobility Management in Wireless ATM Networks", IEEE Personal Communications, Octubre 1997.
- [Anastasi96] G. Anastasi et al., "A Bandwidth Reservation Protocol for Speech/Data Integration in TDMA-Based Advanced Mobile Systems", International Journal of Wireless Information Networks, vol.3, nº 4, 1996.
- [Andermo95] P.G. Andermo, L.M. Ewerbring, "A CDMA-based radio access design for UMTS", IEEE Personal Communications, Febrero 1995.
- [Arlie99] David Airlie, Gary Fleming, Martin Mellody, "Macrodiversity in the RAINBOW demonstrator", ACTS Mobile Summit.
- [Austin99] Mark Austin et al., "Service and System Enhancements for TDMA Digital Cellular Systems", IEEE Personal Communications, Junio 1999.
- [Ayanoglu95] Ender Ayanoglu et al., "AIRMAL: A link-layer protocol for wireless networks", Wireless Networks 1 (1995), J.C. Baltzer AG, Science Publishers.
- [Baier94] P.W. Baier, "CDMA or TDMA? CDMA for GSM?", Proceedings of PIMRC'94. pp. 1280-84.
- [Baier96] P.W. Baier, P.Jung, A.Klein, "Taking the Challenge of Multiple Access for Third Generation Mobile Radio Systems. An European View", IEEE Communications Magazine, Febrero 1996, pp. 82-89.
- [Barberis97] S. Barberis et al., "Radio Transmission and Capacity comparisons between ATDMA and CODIT Systems for UMTS", Proceedings of 47th Vehicular Technology Conference 1997.
- [Bernhardt87] R.C. Bernhardt, "Macroscopic Diversity in Frequency Reuse Radio Systems", IEEE JSAC, Junio 1987, pp. 862-870.
- [Caceres95] Ramon Cáceres, "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols on Mobile Computing Environments", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, nº 5, Junio 1995.

- [Caceres96] R. Caceres and V. Padamanabhan, "Fast and Scalable Handoffs for Wireless Internetworks", Proc. ACM SIGCOMM'96.
- [Cai97] Jian Cai and David J. Goodman, "General Packet Radio Service in GSM", IEEE Communications Magazine, Octubre 1997.
- [Calhoun88] George Calhoun, "Digital Cellular Radio", Artech House, 1988.
- [Castell99] Claude Castelluccia, "A Hierarchical *MobileIPv6* Proposal", AMOS'99,
- [Chang99] Li Fu Chang, "Wireless Internet: Networking Aspect", Tutorial impartido en la conferencia PIMRC'99.
- [Chhaya96] Harshal S. Chhaya and Sanjay Gupta, "Performance of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocol", IEEE Personal Communications, Octubre 1996.
- [Chia91] S T S Chia, "The control of *Handover* Initiation in Microcells", Proceedings of 41th Vehicular Technology Conference 1991.
- [Chopra95] M. Chopra, K. Rohani and J. Reed, "Analysis of CDMA range extension due to soft handoff" Proc. IEEE VTC Chicago, pp. 917-921, July 1995.
- [Chuah95] C.N. Chuah and Roy D. Yates, "Evaluation of a Minimum Power Handoff Algorithm", Proceedings of IEEE PIMRC 1995.
- [Chuah95] C.N. Chuah, R.D. Yates, D.J. Goodman, "Integrated Dynamic Radio Resource Management", IEEE VTC 1995.
- [Codit95] CoDiT Project, "CoDiT Final Review Report", R2020/ERA/PM/DS/P/050/b1, September 1995.
- [Cohen96] Reuven Cohen, Baiju V. Patel and Adrian Segall, "Handover in a micro-cell packet switched mobile network", Wireless Networks 2 (1996) 13-25.
- [Dahlman98] E. Dahlman et al., "UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA", IEEE Communications Magazine, Septiembre 1998.
- [Dinan98] Esmael H. dinan and Bijan Jabbari, "Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Network", IEEE Communications Magazine, Septiembre 1998.
- [ECM99] Nigel Cawthorne from World Cellular Database&ECM, "Latest Subscriber Facts, Figures and Trends", The 1999 GSM World Congress, Febrero 1999.
- [Ensuque99] Guilhem Ensúque, "Towards an integrated IP/UMTS network architecture", ACTS Mobile Summit 1999.

- [Faccin99] Stefano Faccin et al., "GPRS and IS-136 Integration for Flexible Network and Services Evolution", IEEE Personal Communications, Junio 1999.
- [Faggion97] Nadege Faggion, Michael Barry, Andreas Weber and Caren Crowley, "Application of IN Protocols and Framework to Mobility Management in the Rainbow Project", ACTS Mobile Communications Summit '97 Aalborg, vol.1, pp 104-109.
- [Falconer95] David D. Falconer et al., "Time Division Multiple Access Methods for Wireless Personal Communications", IEEE Communications Magazine, Enero 1995.
- [Ferrus98a] R Ferrus and Pilar Díaz "Multiple Slot Allocation for voice/data transmission over PRMA++ applied to FRAMES Multiple Access mode 1", Proceedings of PIMRC 1998.
- [Ferrus98b] R Ferrus and Pilar Díaz, "Transmisión de paquetes en wideband CDMA para fuentes de datos de baja velocidad", Jornadas Telecom I+D 1998.
- [Ferrus98c] R Ferrus and Pilar Díaz, "Transmisión de paquetes en wideband CDMA", URSI'98, Pamplona 16-18 Septiembre 1998.
- [Ferrus99a] R Ferrus and Pilar Díaz "On macrodiversity and power control for the forward link in a CDMA mobile system", ACTS Mobile Summit 1999.
- [Ferrus99b] R Ferrus and Pilar Díaz, "On soft/hard handover and macrodiversity in a CDMA mobile system", Proceedings of PIMRC'99, Septiembre 1999.
- [Ferrus99c] R Ferrus and Pilar Díaz, "On soft/hard handover for data packet services in cellular CDMA mobile systems", ACTS Mobile Summit 1999.
- [Ferrus99d] R Ferrus and Pilar Díaz "Gestión de movilidad para tráfico IP en los sistemas móviles de tercera generación", Jornadas Telecom I+D, Noviembre 1999.
- [Freund92] John E. Freund, "Mathematical Statistics", 5ª Edición, Prentice Hall International Editions, 1992.
- [Furuskär99] Anders Furuskär et al., "EDGE, Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 Evolution", IEEE Personal Communications, Junio 1999.
- [Gilhousen91] Klein Gilhousen et al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, nº2, Mayo 1991.
- [Goodman89] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications", IEEE Trans. on Communications, vol. 37, nº8, pp 885-890, Agosto 1989.

- [Grimlund91] Olle Grimlund and Björn Gudmundson, "Handoff strategies in microcellular systems", Proc. 41st IEEE VTC'91, May 1991.
- [GSM03.22] GSM 03.22 Version 6.1.0 Release 1997: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode and group receive mode".
- [GSM03.60] GSM 03.60, "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2", Version 6.1.1 Release 97.
- [GSM04.64] GSM 04.64: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Logical Link Control (LLC)".
- [GSM05.08] GSM 05.08 Version 6.4.0 Release 1997: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio subsystem link control".
- [Gudmun91] M. Gudmunson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems", Electronic Letters, vol. 27, n°23, pp. 2145-2146, Nov.91
- [Gudmun92] M. Gudmunson, "Cell planning in Manhattan environments", IEEE VTC 1990.
- [Hanly96] S.V. Hanly, "Capacity and power control in spread spectrum macrodiversity radio networks", IEEE Trans. on Communications, vol. 44, pp 247-256, Feb 1996.
- [Holtzman95] Jack M. Holtzman and Ashwin Sampath, "Adaptative Averaging Methodology for Handoffs in Cellular Systems", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 44 n° 1, February 1995.
- [ITU] Web oficial de ITU, <http://www.itu.int>
- [Jakes74] William. C. Jakes, "Microwave Mobile Communications". IEEE Press, 1974.
- [Jeong95] D.J. Jeong and W.S. Jeon, "Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment", IEEE TRansactions on Vehicular Technology, vol. 44, n°3, pp. 470-479, Agosto 1995.
- [Johansson98] B. Christer V. Johansson, "Packet Data Capacity in a Wideband CDMA System", VTC'98.
- [Jung93] P. Jung, P.W. Baier, A.Steil, "Advantages of CDMA and Spread Soectrum Techniques over FDMA and TDMA in Cellular Mobile Radio Applications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 42, n°3, Agosto 1993, pp. 357-364.
- [Karol95] Mark J. Karol et alt., "An efficient demand-assignment multiple access protocol for wireless packet (ATM) networks", Wireless Networks (1995) J.C. Baltzer AG, Science Publishers, pp. 267-279.

- [Kelly95] O.E. Kelly and V.V. Veeravalli, "A locally Optimal Handoff Algorithm", Proceedings of IEEE PIMRC 1995.
- [Klein95] Anja Klein et al., "Summarizing review of a JD-CDMA third generation mobile radio system concept developed within COST231-Part2", COST231 TD(95) 018, Enero 1995.
- [Konhäuser99] W. Konhäuser, "Network Evolution Towards 3rd Generation", Presentación impartida en la conferencia IEEE VTC en Septiembre de 1999.
- [Kumar94] P. Sarath Kumar and Jack M. Holtzman, "Analysis of Handoff Algorithms Using Both Bit Error Rate (BER) and Relative Signal Strength", ICUPC 1994.
- [Lee89] W. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw-Hill Book Co., 1989.
- [Lee93] W. C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", New York John Wiley & Sons cop. segunda edición, 1993.
- [Mitrou90] N. M. Mitrou, "A Reservation Multiple Access Protocol for Microcellular Mobile-Communication Systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 39, n° 4, Noviembre 1990.
- [Mouly92] Michel Mouly and Marie-Bernadette Pautet, "The GSM System for Mobile communications", Ed. CELL&SYS, 1992.
- [Murase91] Atsushi Murase et al. , "*Handover* criterion for macro and microcellular systems", Proc. 41st IEEE VTC'91, Mayo 1991.
- [Nikula98] E. Nikula et al., "FRAMES Multiple Access for UMTS and IMT-2000", IEEE Personal Communications, Abril 1998.
- [Noerpel97] Anthony Noerpel and Yi-Bing Lin, "*Handover* Management for a PCS Network", IEEE Personal Communications, Diciembre 1997.
- [Ostling94] Per-Erik Ostling, "Implications of Cell planning on Handoff Performance in Manhattan Environments", PIMRC'94.
- [OVUM98] Extracto del estudio de OVUM de diciembre de 1998 "Internet Market Forecast: Global Internet Growth 1998-2005", disponible en <http://www.gsmdata.com>.
- [Perkins97] Charles E. Perkins, "Mobile IP. Design Principles and Practices", Addison-Wesley Wireless Communications Series, 1997.

- [Pickholtz82] R.L. Pickholtz, D.L. Schilling and L.B. Milstein, "Theory of Spread Spectrum Communications- A tutorial", IEEE Transactions on Communications, Mayo 1982, pp 855-884.
- [Pollini96] Gregory P. Pollini, "Trends in *Handover* Design", IEEE Communications Magazine, Marzo 1996.
- [Proakis89] John G. Proakis, "Digital Communications", McGRAW-HILL International Editions, segunda edición, año 1989.
- [Prögler99] M. Prögler et al., "Air Interface Access Schemes for Broadband Mobile Systems", IEEE Communications Magazine, Septiembre 1999.
- [Rábanos97] J. M Hernando Rábanos, "Comunicaciones móviles", Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.
- [Rainbow98a] AC015/CSELT/CIT/203/10, "Circuit and Packet Integration over ATM", Proyecto RAINBOW 1998.
- [Rainbow98b] AC015/CSELT/CIT/212/10, "Mobile IP based architectures for packet transport in UMTS", Proyecto RAINBOW 1998.
- [Rainbow99a] AC015/UOA/CIT/DS/P/043/b1, "Study of the provision of Internet services and handover control protocols for target UMTS", RAINBOW Project.
- [Ramsdale92] P.A. Ramsdale and W. B. Harrold, "Techniques for Cellular Networks Incorporating Microcells", Proceedings of PIMRC 1992.
- [Rege95] K.M. Rege et al., "Analysis of Fade Margins for Soft and Hard Handoffs", pp 829-835, PIMRC'95.
- [S3.27] TSG RAN WG3 S3.27, "Iur/Iub User Plane Protocol for DCH Data Streams. Version 0.1.0", Abril 1999.
- [Sallent97] O. Sallent, "Estrategias de control de acceso basadas en CDMA para la transmisión de paquetes en comunicaciones móviles", Tesis doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Cataluña en Diciembre de 1997.
- [Senarath94] Gamini N. Senarath and David Everitt, "Comparison of Alternative Handoff Strategies for Micro-cellular Mobile Communications Systems", IEEE VTC 1994.
- [Senarath95] G. Senarath and David Everitt, "Performance of handover priority and queueing systems under different handover request strategies for microcellular mobile communications systems", IEEE VTC 1995.

- [Seshan96] S. Seshan, H. Balakrishnan and R. Katz, "Handoff in Cellular Wireless Networks: The Daedalus Implementation and Experience", Kluwer International J. Wireless Communications Systems, 1996.
- [Shapira94] Joseph Shapira, "Microcell Engineering in CDMA Cellular Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, n° 4, Noviembre 1994.
- [Sreetharan96] Muthuthamby Sreethran and Rajiv Kumar, "Cellular Digital Packet Data", Artech House Publishers, Mobile Communications Series, 1996.
- [Steele95] Raymond Steele, James Whitehead and W.C. Wong, "System aspects of Cellular Radio", IEEE Communications Magazine, January 1995.
- [Steele98] Chin-Chun Lee and Raymond Steele, "Effect of Soft and Softer Handoffs on CDMA System Capacity", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.47, n°3, Agosto 1998.
- [Su96] Szu Su, Jen-Yeu Chen and Jane-Hwa Huang, "Performance Analysis of Soft Handoff in CDMA Cellular Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, n°9, Diciembre 1996.
- [Traynard99] Jean-Michel Traynard et al., "Transport Control Function of the UTRA Concept", FRAMES Workshop, January 1999.
- [Tripathi98] Nishith D. Tripathi et al. , "Handoff in Cellular Systems" IEEE Personal Communications, Decembre 1998.
- [UMTS30.03] UMTS 30.03 version 3.1.0, "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS".
- [Urie95] A. Urie, M. Streeton, C.Mourot, "An Advanced TDMA Mobile Access System for UMTS", IEEE Personal Communications, Febrero 1995.
- [UTRAN] The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT, June 1998.
- [Valko98] A.Valko, A.Campbell and J. Gomez, "Cellular IP", Internet Draft <draft-valko-cellularip-00.txt>, November 1998.
- [Verdu86] S. Verdú, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple Access Channels", IEEE TRans. on Information Theory, vol. IT-32, Enero 1986.
- [Vijayan93] Rajiv Vijayan and J.M. Holtzman, "A Model for Analyzing Handoff Algorithms", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 42, n°3, August 1993.

- [Viterbi93] Andrew J. Viterbi et al. "Performance of Power-Controlled Wideband Terrestrial Digital Communication", IEEE Transactions on Communications, vol. 41, n° 4, Abril 1993.
- [Viterbi94] Andrew J. Viterbi et al. "Soft Handoffs Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity" IEEE JSAC, vol. 12, n° 8, October 1994.
- [WCDMA] Evaluation Document (3.0) Wideband Direct-Sequence CDMA (WCDMA), Tdoc SMG 905/97.
- [Whitehead93] J.F. Whitehead, "Performance and Capacity of Distributed Dynamic Channel Assignment and Power Control in Shadow Fading", Proceedings of ICC'93, May 1993, pp 910-914.
- [Wong97] Daniel Wong and Teng Joon Lim, "Soft Handoffs in CDMA Mobile Systems", IEEE Personal Communications, December 1997.
- [Wong98] D. Wong and D. Cox, "A Handoff Algorithm using Pattern Recognition", IEEE ICUPC 1998, Octubre 1998.
- [Woodward99] S.L. Woodward and S. Ariyavistakul, "Transporting CDMA signals over an Analog Optical Link", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 48, n° 4, Julio 1999.
- [WPCDMA] Wideband Packet CDMA (WP-CDMA) ITU-R RTT Candidate Submission, June 1998.
- [Zeng99] M. Zeng et al., "Recent Advances in Cellular Wireless Communications", IEEE Communications Magazine, Septiembre 1999.
- [Zhang96] Ning Zhang and Jack M. Holtzman, "Analysis of Handoff Algorithms Using Both Absolute and Relative Measurements", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol 45, n° 1, February 1996.

