

**DISEÑO DE UN EMULADOR RRM PARA REQUERIMIENTOS DE  
CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN UNA RED UMTS**

**OSCAR FERNANDO VELANDIA PEDROZA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D EN NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYAN  
2004**

**DISEÑO DE UN EMULADOR RRM PARA REQUERIMIENTOS DE  
CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN UNA RED UMTS**



**OSCAR FERNANDO VELANDIA PEDROZA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D EN NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYAN  
2004**

**DISEÑO DE UN EMULADOR RRM PARA REQUERIMIENTOS DE  
CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN UNA RED UMTS**

**OSCAR FERNANDO VELANDIA PEDROZA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director  
ALEJANDRO TOLEDO TOVAR  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D EN NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYAN  
2004**

Quiero agradecer principalmente a Dios por darme un apoyo espiritual muy grande y a mis padres, hermanos y mi novia por su apoyo incondicional; de igual manera a mis compañeros por los momentos gratos que compartimos en la vida universitaria.

Finalmente desde este pequeño rincón me gustaría agradecer de forma especial el apoyo y la dedicación prestada por mi director de Tesis, Alejandro Toledo, en el camino que ha conducido hasta la elaboración de este trabajo.

Oscar Fernando Velandia P.

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

<b>CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE: EL SISTEMA UMTS</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVACIÓN DE UMTS	1
1.1.1. Generaciones de sistemas móviles	1
1.1.1.1. Limitaciones de los sistemas de segunda generación	2
1.1.1.2. Objetivos de servicio para UMTS	3
1.1.2. El proceso de estandarización	5
1.2. ARQUITECTURA GENERAL DE UMTS	6
1.3. TECNOLOGÍA DE ACCESO RADIO WCDMA	12
1.4. RED DE ACCESO RADIO TERRESTRE DE UMTS (UTRAN)	15
1.4.1. Nodo B	16
1.4.2. Controlador de Red Radio	17
1.4.3. Interfaces lógicas	20
1.4.3.1. Interfaz Iub	21
1.4.3.2. Interfaz Iur	23
1.4.3.3. Conexión de la UTRAN con el resto de la red: interfaces Uu e Iu	25
1.5. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE UTRAN	29
<b>CAPITULO 2. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ RADIO</b>	<b>31</b>
2.1. INTRODUCCIÓN	31
2.2. ARQUITECTURA GENERAL DEL PROTOCOLO RADIO	32
2.3. CAPA FÍSICA	35
2.3.1. Arquitectura de la Capa Física	35
2.3.2. Servicios de la Capa Física	36
2.3.2.1. Servicios del Subnivel Físico	36
2.3.2.2. Servicios del Subnivel de Transporte	37
2.3.2.2.1. Servicios de los servicios	37

2.3.2.2.2. Tipos de canales de Transporte	41
2.3.3. Funciones de la Capa Física	43
2.3.3.1. Funciones del Subnivel Físico	43
2.3.3.2. Funciones del Subnivel de Transporte	45
2.4. CAPA MAC (MEDIUM ACCESS CONTROL)	46
2.4.1. Arquitectura del Subnivel MAC	46
2.4.2. Servicios del Subnivel MAC	49
2.4.3. Funciones del Subnivel MAC	50
2.5. CAPA RLC (RADIO LINK CONTROL)	52
2.5.1. Arquitectura de la Capa RLC	52
2.5.2. Servicios y funciones del Modo Transparente TM de la capa RLC	53
2.5.3. Servicios y funciones del Modo Sin Confirmación UM de la capa RLC	55
2.5.4. Servicios y funciones del Modo Con Confirmación AM de la capa RLC	56
2.5.5. Otros servicios de la capa RLC	58
2.6. CAPA BMC (BROADCAST/MULTICAST CONTROL PROTOCOL)	59
2.6.1. Arquitectura de la Capa BMC	59
2.6.2. Servicios de la Capa BMC	60
2.6.3. Funciones de la Capa BMC	60
2.7. CAPA PDCP (PACKET DATA CONVERGENCE PROTOCOL)	60
2.7.1. Arquitectura de la Capa PDCP	60
2.7.2. Servicios de la Capa PDCP	61
2.7.3. Funciones de la Capa PDCP	62
2.8. CAPA RRC (RESOURCE RADIO CONTROL)	62
2.8.1. Arquitectura de la Capa RRC	62
2.8.2. Funciones de la Capa RRC	64
<b>CAPITULO 3. CALIDAD DE SERVICIO EN UMTS</b>	<b>65</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	65
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	65
3.3. ARQUITECTURA DE LA CALIDAD DE SERVICIO	66
3.4. FUNCIONES DE GESTION DE LA CALIDAD DE SERVICIO	69
3.4.1. Elementos funcionales de gestión en el Plano de Control	69
3.4.2. Elementos funcionales de gestión en el Plano de Usuario	72
3.5. CLASES DE SERVICIO	74

3.5.1. Clase Conversacional	74
3.5.2. Clase Afluente (Streaming)	75
3.5.3. Clase Interactiva	76
3.5.4. Clase Diferida (Background)	76
3.6. ATRIBUTOS DE LA CALIDAD DE SERVICIO	77
<b>CAPITULO 4. GESTION DE LOS RECURSOS RADIO</b>	<b>82</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	82
4.2. CONTROL DE PARÁMETROS DE RED: POTENCIA	83
4.2.1. Control de Potencia Rápido	83
4.2.2. Control de Potencia Lento	84
4.2.3. Influencia de la Velocidad y de la Diversidad	84
4.2.4. Gestión de la Potencia	85
4.2.5. Control de Potencia Externo	86
4.3. CONTROL DE PARÁMETROS DE RED: TRASPASOS	87
4.3.1. Necesidad del Traspaso	87
4.3.2. Tipos de Traspasos considerados en UMTS	88
4.3.2.1. Modo de Operación del Sistema	88
4.3.2.2. Modo de Operación del Traspaso	88
4.3.3. Traspasos y macrodiversidad	91
4.3.4. Etapas de un procedimiento de Traspaso	92
4.3.4.1. Fase de Medidas	92
4.3.4.2. Fase de decisión: Algoritmos de traspaso	93
4.3.4.2.1. Estrategias de decisión	93
4.3.4.2.2. Escenarios de aplicación	95
4.3.4.3. Fase de ejecución	97
4.3.5. Comparación de las ganancias de traspaso	97
4.3.5.1. Ganancia frente a los desvanecimientos lentos	98
4.3.5.2. Ganancia frente a los desvanecimientos rápidos	99
4.4. GESTION DEL SERVICIO	99
4.4.1. Gestión del acceso en entornos multiservicio	99
4.4.2. Concepto de cronoejecución	101
4.4.3. Elección del canal de transporte	103
4.4.4. Gestión y Control de la Calidad	105

4.4.4.1. Priorización	105
4.4.4.2. Asignación de capacidad	106
4.4.5. Interacciones con otros aspectos de RRC	107
4.4.5.1. Traspaso Soft	107
4.4.5.2. Control de Potencia en Bucle Externo	107
4.4.5.3. Control de Admisión	107
<b>CAPITULO 5. DISEÑO DEL EMULADOR RRM</b>	<b>109</b>
5.1. INTRODUCCION	109
5.2. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	109
5.2.1. Control de Admisión de Llamadas (CAC)	111
5.2.2. Clasificador de Tráfico (TC)	112
5.2.3. Planificador de Recursos de Radio (RRS)	114
5.2.4. Despachador de Tráfico (TD)	117
5.3. PARÁMETROS PARA EVALUAR LOS ALGORITMOS	118
5.4. MODELO DE PROPAGACIÓN	119
5.5. EFICIENCIA DEL RRM	120
5.6. GENERADOR DE PAQUETES	121
5.7. DIAGRAMA DE FLUJO	122
5.8. RESULTADOS DE EMULACIÓN	125
5.8.1. Resultados basados en el Proyecto ARROWS	125
5.8.2. Impacto del Factor de Spreading	131
5.8.3. Impacto al variar el Umbral de Admisión	132
5.8.4. Impacto al variar el porcentaje de separación entre $\eta_{CR}$ y $\eta_{CD}$	134
5.8.5. Impacto al variar el tiempo entre despachos	135
5.8.6. Impacto al variar nivel de los umbrales $\eta_{CR}$ y $\eta_{CD}$	138
5.8.7. Impacto al variar el tamaño de los paquetes	140
5.8.7.1. Paquetes de 256 Bytes	138
5.8.7.2. Paquetes de 1024 Bytes	141
5.8.8. Valores óptimos esquema RRM	143
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ACRONIMOS</b>	



## **ANEXOS**

ANEXO 1. ATM EN LA RED DE ACCESO: ALL2

ANEXO 2. MODELAMIENTO DEL SISTEMA EMULACIÓN

ANEXO 3. CODIFICACIÓN DEL SISTEMA EMULACIÓN

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1.1	Evolución de los sistemas móviles celulares	2
Figura 1.2	Cobertura global de los sistemas de comunicaciones de tercera generación	4
Figura 1.3	Calendario de normalización de UMTS	5
Figura 1.4	Dominios y puntos de referencia en UMTS	7
Figura 1.5	Modelo funcional UE	8
Figura 1.6	Arquitectura básica de una red UMTS	8
Figura 1.7	Flujo funcional entre USIM, MT/ME, red de acceso, dominio de red servidora y base	10
Figura 1.8	Flujo funcional entre TE, MT, red de acceso y red servidora, dominio red tránsito y la parte remota	10
Figura 1.9	Esquema de Spreading/Despreading	13
Figura 1.10	Spreading/Despreading en el tiempo	13
Figura 1.11	Asignación de Códigos en el espacio tiempo-frecuencia y modos de operación de la interfaz radio UMTS	14
Figura 1.12	Arquitectura de la red de acceso radio terrestre (UTRAN)	15
Figura 1.13	Modelo general de los protocolos utilizados en UTRAN	20
Figura 1.14	Protocolos en la interfaz Iub	22
Figura 1.15	Protocolos en la interfaz Iur	24
Figura 1.16	Punto de referencia Iu y las instancias físicas Iu-CS y Iu-PS	26
Figura 1.17	Protocolos en las interfaces Iu-CS e Iu-PS	28
Figura 1.18	Arquitectura general de protocolos de la UTRAN	29
Figura 1.19	Estratificación del sistema UMTS	30
Figura 2.1	Protocolos entre UE y RNC	31
Figura 2.2	Arquitectura de Protocolos de la interfaz radio	33
Figura 2.3	Arquitectura de la Capa Física	36

Figura 2.4	Definición de Conceptos de Canales de Transporte	39
Figura 2.5	Canales de Transporte y Mapeado a Canales Físicos	40
Figura 2.6	Efecto cerca-lejos	44
Figura 2.7	Entidades MAC-c/sh y MAC-d lado UE	47
Figura 2.8	Entidades MAC-c/sh y MAC-d lado UTRAN	48
Figura 2.9	Entidad MAC-b	48
Figura 2.10	Arquitectura de la capa RLC	54
Figura 2.11	Servicios y funciones del modo transparente TM de la capa RLC	55
Figura 2.12	Servicios y funciones del modo transparente UM de la capa RLC	56
Figura 2.13	Servicios y funciones del modo transparente AM de la capa RLC	58
Figura 2.14	Arquitectura de la capa BMC	59
Figura 2.15	Arquitectura de la capa PDCP	61
Figura 2.16	Arquitectura de la capa RRC lado UE	63
Figura 3.1	Arquitectura e QoS en UMTS	67
Figura 3.2	Funciones de gestión de calidad de servicio en el plano de control	70
Figura 3.3	Funciones de gestión de calidad de servicio en el plano de usuario	73
Figura 4.1	Control de potencia en UL para mantener una $E_b/N_0$ objetivo	84
Figura 4.2	Esquema funcional del control de potencia externo	86
Figura 4.3	Utilización de traspasos soft en UL y DL de UMTS	89
Figura 4.4	Escenario estructurado en diferentes capas de células	96
Figura 4.5	Ilustración del incremento de interferencia en caso de no encontrarse el terminal móvil conectado a la mejor estación base	98
Figura 4.6	Interacciones entre los conceptos asociados al MAC	101
Figura 4.7	Generación de mensajes largos y frecuentes	103
Figura 4.8	Generación de mensajes cortos e infrecuentes	104
Figura 4.9	Generación de mensajes cortos e infrecuentes	104
Figura 5.1	Administrador de Recursos de Radio (RRM)	110

Figura 5.2	Byte TOS	113
Figura 5.3	Representación de la eficiencia del RRM	121
Figura 5.4	Estructura paquete IP	122
Figura 5.5	Diagrama de flujo esquema RRM	124
Figura 5.6a	Estrategia de control de la congestión	126
Figura 5.6b	Estrategia de control de admisión	127
Figura 5.6c	Usuarios admitidos por clase de servicio	128
Figura 5.6d	Carga del servicio Background	129
Figura 5.6e	Carga del servicio Interactivo	129
Figura 5.6f	Carga del servicio Streaming	130
Figura 5.6g	Carga del servicio Conversacional	130
Figura 5.7a	Estrategia de control de admisión con $SF_i$ de 128 y $\eta_{max}$ de 0.95	131
Figura 5.7b	Estrategia de control de admisión con $SF_i$ de 128 y $\eta_{max}$ de 0.95	132
Figura 5.8a	Estrategia de control de la congestión	133
Figura 5.8b	Estrategia de control de admisión	133
Figura 5.9a	Estrategia de control de la congestión	134
Figura 5.9b	Estrategia de control de admisión	135
Figura 5.10a	Estrategia de control de la congestión con despachos cada 2 segundos	136
Figura 5.10b	Estrategia de control de admisión con despachos cada 2 segundos	136
Figura 5.10c	Estrategia de control de la congestión con despachos cada 4 segundos	137
Figura 5.10d	Estrategia de control de admisión con despachos cada 4 segundos	137
Figura 5.11a	Estrategia de control de la congestión con despachos cada 1 segundo	139
Figura 5.11b	Estrategia de control de admisión con despachos cada 1 segundo	139
Figura 5.12a	Estrategia de control de la congestión paquetes de 256 Bytes	141

Figura 5.12b	Estrategia de control de admisión paquetes de 256 Bytes	141
Figura 5.12c	Estrategia de control de la congestión paquetes de 1024 Bytes	142
Figura 5.12d	Estrategia de control de admisión paquetes de 1024 Bytes	142
Figura 5.13a	Estrategia de control de la congestión mejorada	144
Figura 5.13b	Estrategia de control de admisión mejorada	144
Figura 5.13c	Usuarios admitidos por clase de servicio para valores óptimos	145
Figura 5.13d	Carga del servicio Background	145
Figura 5.13e	Carga del servicio Interactivo	146
Figura 5.13f	Carga del servicio Streaming	146
Figura 5.13g	Carga del servicio Conversacional	146

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1.1	Objetivos de servicio UMTS	3
Tabla 1.2	Series de especificaciones e informes UMTS/3GPP	6
Tabla 2.1	Relación canales lógico y canales de transporte	51
Tabla 3.1	Atributos definidos para cada clase de servicio	80
Tabla 3.2	Valores permitidos para cada atributo definido por clase de servicio	81
Tabla 5.1	Valores y características del campo TOS	114
Tabla 5.2	Paquetes para las tasas de transmisión consideradas	114
Tabla 5.3	Parámetros por clase de servicio	118
Tabla 5.4	Parámetros por escenario	118
Tabla 5.5	Parámetros base considerados	126
Tabla 5.6	Valores propuestos para mejorar desempeño	143

## **ABSTRACT**

En el contexto de los sistemas 3G, en el que se esperan aplicaciones multimedia muy diversas que llevarán asociados distintos requerimientos en términos de QoS (Quality of Service), toma una gran relevancia el efectuar una adecuada gestión de los recursos radio, dado que el espectro radioeléctrico es escaso. Las estrategias Radio Resource Management (RRM) son las encargadas de realizar dicha gestión.

Por lo tanto el problema con que se encuentra el operador de red es ofrecer un sistema en el que se maximice el número de usuarios para un conjunto de requisitos de QoS, identificándose dos aspectos claves:

1. Planificación de red, esto es, el diseño de la infraestructura de la red en términos de número de células, posición de las células, número y arquitectura de los nodos de concentración, etc.
2. Asignación de recursos radio, esto es, para un despliegue de red dado, la manera en que se gestionan dinámicamente los recursos con el fin de satisfacer la demanda instantánea de los usuarios que se van desplazando por la red.

En los sistemas 3G la situación es significativamente importante, ya que los sistemas WCDMA no tienen un valor constante para la máxima capacidad de la red, la cual ésta está directamente relacionada con la cantidad de interferencia en la interfaz aire. Además el entorno de operación multiservicio hace que en muchos casos no sea necesario ofrecer un retardo constante, de manera que se abre la posibilidad de explotar las funciones de RRM para gestionar de una manera más adecuada los distintos requerimientos de QoS.

En este contexto, y puesto que a las estrategias RRM se les atribuye un papel relevante en 3G debido a que los algoritmos serán específicos de cada fabricante y su eficiencia se mostrará en el momento en que el tráfico UMTS empiece a ser significativo, este trabajo de grado identifica algunas de las estrategias RRM que serán de relevancia, plantear mecanismos de evaluación de dichas estrategias mediante emulación y mostrar algunos resultados que permiten valorar el impacto e importancia de las mismas.

## INTRODUCCIÓN

La evolución de las necesidades de los usuarios hacia aplicaciones multimedia ha conducido al mundo de las comunicaciones móviles a concebir la llamada 3G, en la que la WCDMA (Wideband CDMA) aparece como tecnología dominante. La flexibilidad inherente a WCDMA justifica la revolución tecnológica que ello supone, al menos desde el punto de vista europeo, donde la experiencia tanto de suministradores como de operadores se centra en la tecnología TDMA (Time Division Multiple Access), de la mano de GSM (Global System Movil).

En el contexto de los sistemas 3G, en el que se esperan aplicaciones multimedia muy diversas que llevarán asociados distintos requerimientos en términos de QoS (Quality of Service), toma una gran relevancia el efectuar una adecuada gestión de los recursos radio, dado que el espectro radioeléctrico es escaso y por él los operadores han pagado grandes cantidades en concepto de adjudicación de licencias. Las estrategias Radio Resource Management (RRM) son las encargadas de realizar dicha gestión.

El problema con que se encuentra el operador de red es ofrecer un sistema en el que se maximice el número de usuarios para un conjunto de requisitos de QoS. En este problema se pueden distinguir dos aspectos:

1. Planificación de red, esto es, el diseño de la infraestructura de la red en términos de número de células, posición de las células, número y arquitectura de los nodos de concentración, etc.
2. Asignación de recursos radio, esto es, para un despliegue de red dado, la manera en que se gestionan dinámicamente los recursos con el fin de satisfacer la demanda instantánea de los usuarios que se van desplazando por la red.

En el marco de los sistemas 2G (por ejemplo GSM) el principal problema es la planificación de la red. La calidad subjetiva de voz percibida se controla principalmente a través de una asignación adecuada de frecuencias a las distintas células que permita disponer de una C/I (relación señal a interferencia) suficiente. Por otro lado, la



probabilidad de bloqueo es el otro parámetro de calidad de la red fundamental y se controla proporcionando un número suficiente de frecuencias a cada célula y, en segundo término, añadiendo más células a la estructura de la red. Por lo tanto, puede decirse que en una red basada en TDMA hay un valor prácticamente constante para la máxima capacidad dado un despliegue de red, ya que las actuaciones en cuanto a gestión de recursos radio a corto plazo (del orden de decenas ó centenas de milisegundos) no tienen demasiado impacto en un escenario en el que el servicio soportado (voz) requiere de un canal con calidad constante y estrictas restricciones de retardo.

En el marco de los sistemas 3G la situación es significativamente distinta. En primer lugar, los sistemas WCDMA no tienen un valor constante para la máxima capacidad de la red, ya que ésta está directamente relacionada con la cantidad de interferencia en la interfaz aire. En segundo lugar, el entorno de operación multiservicio hace que en muchos casos no sea necesario ofrecer un retardo constante, de manera que se abre la posibilidad de explotar las funciones de RRM para gestionar de una manera más adecuada los distintos requerimientos de QoS.

En este contexto, y puesto que a las estrategias RRM se les atribuye un papel relevante en 3G debido a que los algoritmos serán específicos de cada fabricante y su eficiencia se mostrará en el momento en que el tráfico UMTS empiece a ser significativo, este trabajo de grado identifica algunas de las estrategias RRM que serán de relevancia, plantear mecanismos de evaluación de dichas estrategias mediante emulación y mostrar algunos resultados que permiten valorar el impacto e importancia de las mismas. En particular, en el Capítulo 1 se presenta el Estado del Arte en el ámbito que se desarrolla este trabajo. Se introducen los conceptos más relevantes del sistema UMTS y, más concretamente, de la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN), sobre los que se apoya el estudio desarrollado a lo largo del trabajo de grado. En el Capítulo 2 se realiza una descripción detallada de la arquitectura de Protocolos de la Interfaz Radio. En el Capítulo 3 se trata el concepto de calidad de servicio. Además, se facilitan valores que se manejan para los parámetros de calidad de servicio. En el Capítulo 4 se describen las diferentes estrategias RRM y finalmente en el Capítulo 5 se describe un emulador de sistema capaz de evaluar y comparar entre sí distintas soluciones RRM y se presentan algunos resultados obtenidos con dicha plataforma de emulación.

## **CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE: EL SISTEMA UMTS**

### **1.1. MOTIVACIÓN DE UMTS**

#### **1.1.1. Generaciones de sistemas móviles**

En la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles celulares se suelen considerar tres generaciones, cuyas características más relevantes se resumen a continuación.

- ✓ Sistemas de primera generación (generación analógica). Surgidos a finales de la década de los 70 y principios de los 80, básicamente el único servicio que ofrecen es la telefonía básica. Dentro de estos sistemas se destacan los siguientes: NMT (Nordic Mobile Telephony), AMPS (Advanced Mobile Phone Service), TACS y sus variantes (Total Access Communication System), o el sistema japonés analógico propietario de NTT.
- ✓ Sistemas de segunda generación (generación digital). Aparecen a principios de los años 90 y se caracterizan por el empleo de transmisión digital en la interfaz radio, mejorando la calidad de las comunicaciones (por ejemplo, mediante técnicas de corrección de errores) y dotando de mayor capacidad a los sistemas. Además del servicio telefónico se ofrecen otros como, por ejemplo, mensajes cortos y servicios portadores de datos en modo circuito. Entre los sistemas 2G más representativos cabe destacar los siguientes: D-AMPS (Digital AMPS, sucesor digital de AMPS), CDMAOne (también conocido por la norma de ANSI que lo describe: IS-95) y GSM (Global System Mobile) en sus tres bandas de operación (900/1800/1900 MHz). A pesar del gran éxito de los sistemas 2G, presentan algunas limitaciones importantes, especialmente en lo relativo a servicios de datos (por ejemplo, GSM ofrece servicios de datos modo circuito hasta 9600 bit/s). Con objeto de proporcionar mayores velocidades, se han definido varias extensiones a los sistemas 2G, dando lugar a los que se conoce como sistemas de 2.5G. Entre dichas extensiones se encuentran las

siguientes: HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data), GPRS (General Packet Radio Services) y EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution).

- ✓ Sistemas de tercera generación (multimedia). Aunque los sistemas de generación 2.5 suponen mejoras significativas respecto de los sistemas 2G, resultan insuficientes para satisfacer la demanda creciente de mayores anchos de banda para el soporte de servicios avanzados, especialmente los servicios multimedia (audio, vídeo y datos). Para satisfacer dicha demanda es necesario un salto tecnológico importante, cuyo punto de partida es el empleo de una interfaz radio de mayor capacidad. Los principales sistemas 3G actualmente en normalización son UMTS y CDMA 2000, encuadrados dentro del marco global de sistemas 3G promovido por la ITU en su propuesta IMT-2000.

#### 1.1.1.1. Limitaciones de los sistemas de segunda generación

Dentro del ámbito europeo, UMTS se plantea como la solución para resolver las limitaciones de capacidad presentes en las actuales redes GSM y las extensiones de las mismas (ver Figura 1.1). Dichas limitaciones se deben fundamentalmente a la tecnología de acceso empleada por este tipo de sistemas, tanto en la interfaz radio, basado en una combinación de técnicas FDMA/TDMA (Frequency Division Multiple Access/Time Division Multiple Access), como en la red de acceso, donde se utiliza conmutación de circuitos.

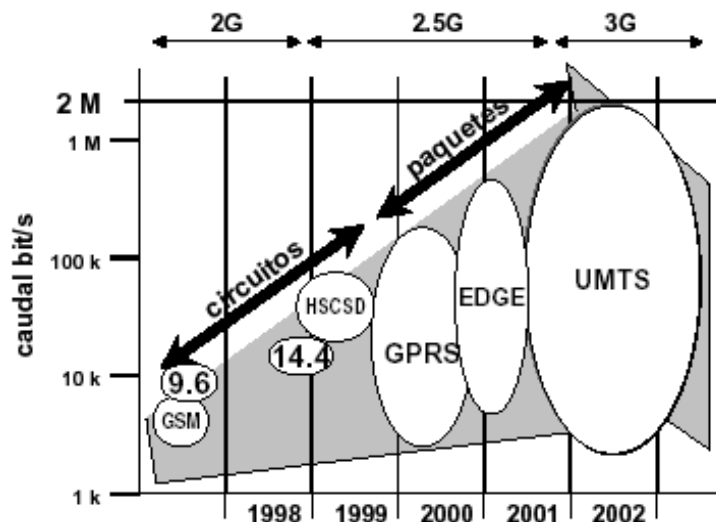


Figura 1.1. Evolución de los sistemas móviles celulares

La introducción de servicios como GPRS y HSCSD permiten mitigar parcialmente las restricciones de velocidad del estándar GSM básico, mediante la definición de nuevas modalidades de explotación de la interfaz radio. Estas extensiones al sistema GSM (sistemas 2.5G) permiten ofrecer al usuario velocidades máximas teóricas de hasta 171.2 y 115.2 kbit/s, respectivamente. Dichas velocidades pueden incrementarse aún más (teóricamente, hasta unos 384 kbit/s) recurriendo al empleo de EDGE<sup>1</sup>, una técnica de modulación que permite sacar mayor partido de los canales radio GSM. En la práctica, debido a factores de diversa índole, entre los que se destacan las limitaciones físicas de los terminales y el deseo de seguir utilizando las estaciones base ya instaladas, las velocidades máximas disponibles con este tipo de soluciones no superan los 30 o 40 kbit/s, muy lejos de los objetivos que se marcan para los sistemas 3G.

#### 1.1.1.2. Objetivos de servicio para UMTS

Los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación tienen como principal motivación ofrecer a sus usuarios un mayor rango de velocidades (hasta 2048 kbit/s) que los sistemas de comunicaciones celulares actuales.

Para el despliegue de una red UMTS normalmente se consideran diferentes entornos de operación, asociados a distintos ámbitos de cobertura y grados de movilidad de los terminales. Los objetivos de tasa de bit a ofrecer a los usuarios (máximo para la velocidad total instantánea por terminación móvil) dependen del entorno, como se puede observar en la Tabla 1.1. [3G TS 22.105]. Cuanto mayor es el ámbito de cobertura y la velocidad del móvil, menor es la tasa de bit objetivo.

<b>Entorno</b>	<b>Velocidad de los móviles</b>	<b>Tasa de bit objetivo</b>
Exterior rural (Rural outdoor)	Alta (hasta 500 km/h)	144 kbit/s
Exterior urbano/suburbano (Urban/suburban outdoor)	Media (hasta 120 km/h)	384 kbit/s
Interior/Exterior de corto alcance (Indoor/low range outdoor)	Baja (hasta 10 km/h)	2048 kbit/s

Tabla 1.1. Objetivos de servicio UMTS

<sup>1</sup> Esta solución, sin embargo, requiere modificaciones hardware en las estaciones base, motivo por el cual no se prevé su implantación a medio plazo.

Estos entornos se cubren con células de distintos tamaños [Her00-a] (macrocélulas, microcélulas y picocélulas, además de la cobertura vía satélite que no se encuentra considerada en el presente trabajo). Las macrocélulas son células grandes (en [ETSI] se indica que el radio mínimo es 1 km) asociadas principalmente a entornos exteriores con velocidades de móviles altas. Las microcélulas tienen una distancia de cobertura de unos 200-400 m [Her00-a] y su ámbito de aplicación son los entornos urbanos. Las picocélulas, adecuadas para entornos interiores con alta demanda de tráfico, tienen un radio pequeño (en [Her00-a] se indica que el máximo es 70-80 m, y en [ETSI] se establece un máximo de 100 m). Es en estas picocélulas en las que se puede alcanzar la tasa de bit de 2048 kbit/s, y para las que se contempla la explotación en modo TDD (Time Division Duplex). En general se propone el despliegue de la red siguiendo una estructura celular jerárquica, con las células de menor tamaño dando servicio a las zonas con mayor demanda de tráfico. La Figura 1.2 muestra la cobertura global de los sistemas de tercera generación, que comprende tanto los sistemas terrestres como los asistidos por satélite.

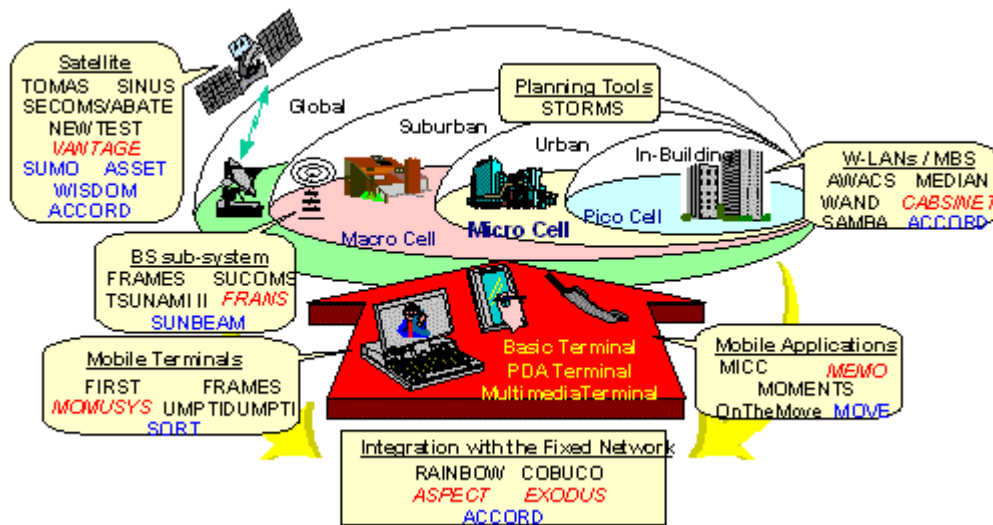


Figura 1.2. Cobertura global de Sistemas de Comunicaciones de Tercera Generación<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Evolution Towards UMTS. <http://www.tbm.tudelft.nl/webstaf/rudiw/TB9612/UMTS/umts5.htm>

### 1.1.2. El proceso de estandarización

La estandarización de una norma como el UMTS supone la definición de un extenso conjunto de especificaciones que garanticen el funcionamiento global del sistema. Al ser un proceso gradual con continuas evoluciones y revisiones, el 3GPP (Third Generation Partnership Project) se propuso proporcionar cada cierto tiempo un conjunto de normas que constituyeran de por sí el estándar. Dicho conjunto se conoce con el nombre de Release. Esta forma de trabajo permite tener un sistema funcionando, a la vez que se va mejorando y completando.

El proceso de normalización adoptado por el 3GPP se basa en una planificación anual. De este modo, se habla de Release 1999 (R99), Release 4 (Rel-4) (inicialmente llamada Release 2000, R00) y Release 5 (Rel-5), que se hubiera llamado Release 2001, para hacer referencia al conjunto de especificaciones que se definen cada año. En la Figura 1.3 se muestra el calendario de normalización. Las fechas indicadas corresponden a las denominadas fechas de congelación, que no indican que el estándar esté completo, sino el momento a partir del cual no pueden añadirse nuevas funcionalidades en una "release". De hecho, las especificaciones de las distintas "release" continúan a día de hoy siendo completadas y enmendadas (incluso las de la Release 1999) mediante nuevas versiones.

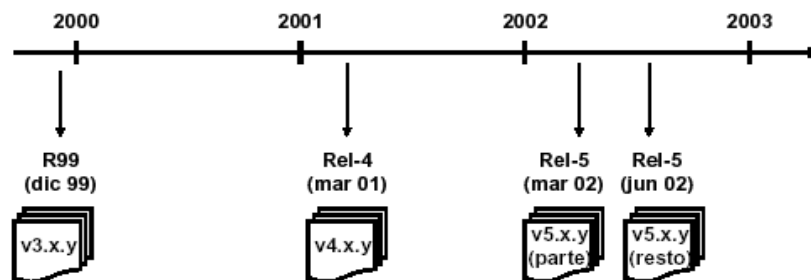


Figura 1.3. Calendario de normalización de UMTS

En cualquier caso, la experiencia en procesos de estandarización indica que es engañoso hablar de un instante bien definido en el que se "termine" o "cierre" una release de las especificaciones, sino que, más bien, se puede hablar de distintas fases de la vida de las especificaciones.

Las especificaciones e informes, así como los borradores y documentos de trabajo, están disponibles públicamente en el servidor Web del 3GPP [Web3GPP]. Las especificaciones e informes se organizan en quince series tal como muestra la Tabla 1.2.

En [3G TS 21.101], [3G TS 21.102] y [3G TS 21.103] puede encontrarse un listado completo de las especificaciones que conforman la Release 1999, Release 4 y Release 5, respectivamente. Asimismo, se puede encontrar información detallada acerca de las “releases” o en fase de especificación en [Web3GPP], y sobre la numeración y proceso de generación de especificaciones de UMTS en [3G TS 21.900].

21.xxx	Requisitos
22.xxx	Aspectos de servicios
23.xxx	Realización técnica
24.xxx	Señalización (Equipo usuario-Núcleo de red)
25.xxx	Aspectos de acceso radio
26.xxx	Códecs
27.xxx	Aplicaciones de datos
28.xxx	Señalización (Subsistema Radio-Núcleo de red)
29.xxx	Señalización núcleo de red
30.xxx	Gestión del proyecto
31.xxx	SIM/UIM (Subscriber/User Identity Module)
32.xxx	Tarificación y OAM&P
33.xxx	Aspectos de seguridad
34.xxx	Especificaciones de pruebas
35.xxx	Algoritmos de seguridad

Tabla 1.2. Series de especificaciones e informes UMTS/3GPP

## 1.2. ARQUITECTURA GENERAL UMTS

La arquitectura general de UMTS [3G TS 23.101], mostrada en la Figura 1.4, se ha modelado en términos de dominios que son agrupaciones al más alto nivel entre entidades físicas, y puntos de referencia entre los dominios. La arquitectura UMTS se divide en dos dominios:

- ✓ Dominio del Equipo de Usuario (UE, User Equipment) y,
- ✓ Dominio de la Infraestructura.

Dichos dominios están conectados a través de la interfaz radio denominado Uu.

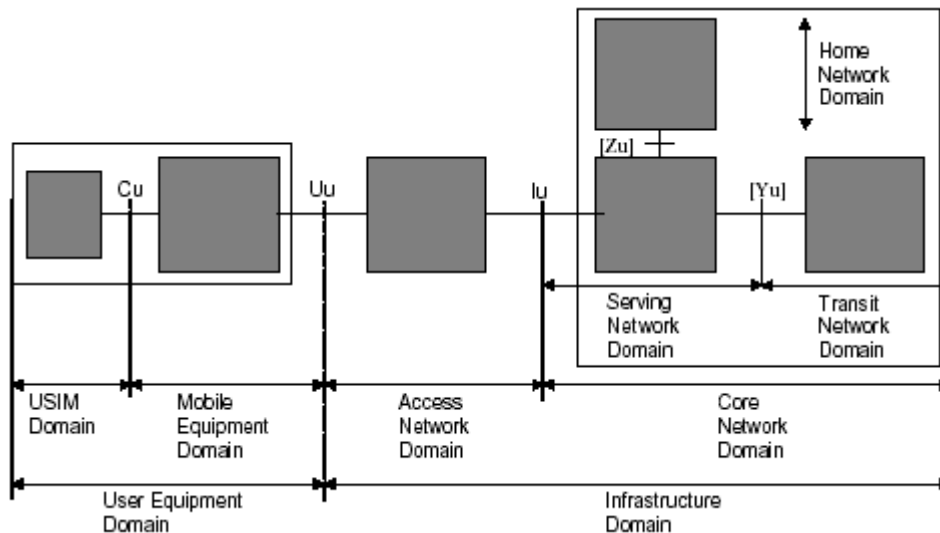


Figura 1.4. Dominios y puntos de referencia en UMTS<sup>3</sup>

El UE puede incluir una tarjeta inteligente extraíble que puede usarse en diferentes tipos de terminales. El dominio de Equipo de Usuario se divide en:

- ✓ Dominio de Equipo Móvil (ME, Mobile Equipment) y,
- ✓ Dominio del Modulo de Identidad de Servicios de Usuario (USIM, User Services Identity Module).

El ME puede subdividir en: la Terminación Móvil (MT, Mobile Termination) que realiza las funciones relacionadas con la transmisión radio, y el Equipo Terminal (TE, Terminal Equipment) que contiene las aplicaciones extremo a extremo.

El USIM contiene datos (identidad del usuario) y procedimientos (algoritmos de autenticación y encriptación) que lo identifican de forma segura y sin ambigüedad, y están normalmente incluidos en una tarjeta inteligente. Dicha tarjeta está asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME usado; por tanto, UMTS, como GSM, soporta movilidad personal porque las llamadas van dirigidas a una identidad de un usuario y no de un terminal. La Figura 1.5 ilustra el modelo funcional para el equipo de usuario, UE.

<sup>3</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects General UMTS Architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23101-310.pdf>



En adelante, salvo que se indique lo contrario, a efectos de este trabajo de grado se tomará el equipo del usuario como una única entidad sin tener en cuenta esta subdivisión.

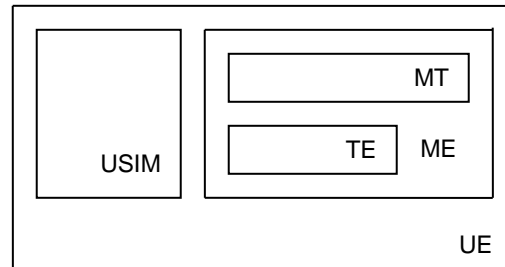


Figura 1.5. Modelo funcional UE

El dominio de infraestructura se divide en:

- ✓ Dominio de Red de Acceso (AN, Access Network) y,
- ✓ Dominio de Red Central (CN, Core Network).

Ambos dominios están conectados a través de la interfaz Iu. Esta partición permite que la CN pueda estar conectada con ANs basadas en diferentes tecnologías de acceso; y que la CN pueda estar también basada en diferentes tecnologías. La AN específica de UMTS se denomina Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN). Lo anterior se describe en la Figura 1.6.

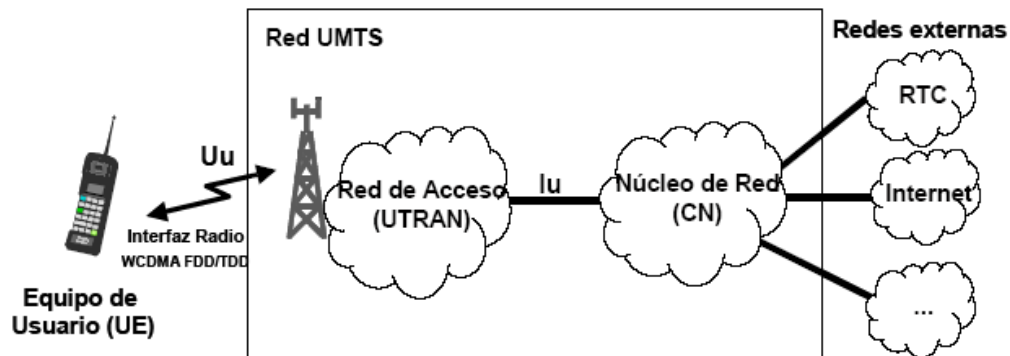


Figura 1.6. Arquitectura básica de una red UMTS

La CN puede subdividirse en:

- ✓ Dominio de Red Servidora (SN, Serving Network)
- ✓ Dominio de Red Base (HN, Home Network) y,
- ✓ Dominio de Red de Transito (TN, Transit Network).

La SN es la parte de la CN conectada a la AN, y representa las funciones de la CN que son locales al punto de acceso del usuario y por tanto su ubicación cambia cuando el usuario se mueve. La HN representa las funciones de la CN que son conducidas a una ubicación permanente independiente de la posición del punto de acceso del usuario; y es responsable de la gestión de información de suscripciones y datos de usuario. El USIM está relacionado con la suscripción en la HN. La TN es la parte de la CN ubicada en el camino de comunicación entre la SN y la parte remota.

Desde el punto de vista funcional, UMTS puede ser modelado en términos de estratos o grupos de protocolos relacionados con algún aspecto de los servicios proporcionados por uno o varios dominios. UMTS contiene los siguientes tipos de estratos:

- ✓ *Estrato de Transporte.* Soporta el transporte de datos de usuario y señalización de control de red. Como parte de este estrato, se puede citar el estrato de acceso que está encargado de gestionar la interfaz radio UMTS proporcionando servicios portadores de acceso radio a otros estratos, e incluye protocolos entre MT y AN, y entre AN y SN.
- ✓ *Estrato Servidor.* Soporta el encaminamiento y la transmisión de información desde la fuente a su destino; y incluye protocolos entre USIM y MT, entre MT y SN, y entre TE y MT.
- ✓ *Estrato Base.* Soporta la gestión de datos de suscripciones, la tasación, la facturación, la gestión de movilidad y la autenticación. Este estrato incluye protocolos entre USIM y HN, entre USIM y MT, entre MT y SN, y entre SN y HN.
- ✓ *Estrato de Aplicación.* Incluye protocolos extremo a extremo y funciones que hacen uso de los servicios proporcionados por el resto de los estratos, para soportar servicios y servicios de valor agregado para el usuario.

Las figuras 1.7 y 1.8 demuestran las interacciones entre los dominios de UMTS. Las dos figuras se utilizan para reflejar las diferentes trayectorias de los flujos intercambiados entre el dominio servidor y base por un lado y entre el dominio servidor y de tránsito. La Figura 1.7 demuestra las interacciones entre el USIM, el MT/ME, la red de acceso, los dominios de red servidor y base. La Figura 1.8 demuestra las interacciones entre TE, la MT, la red de acceso, los dominios de red de servidor y tránsito, y la parte remota.

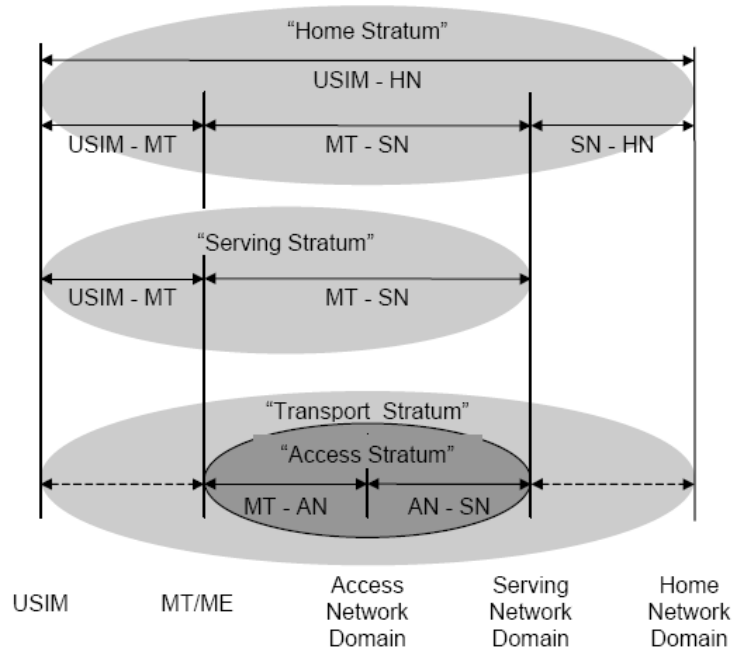


Figura 1.7. Flujo funcional entre USIM, MT/ME, red de acceso, dominio de red servidora y base<sup>4</sup>.

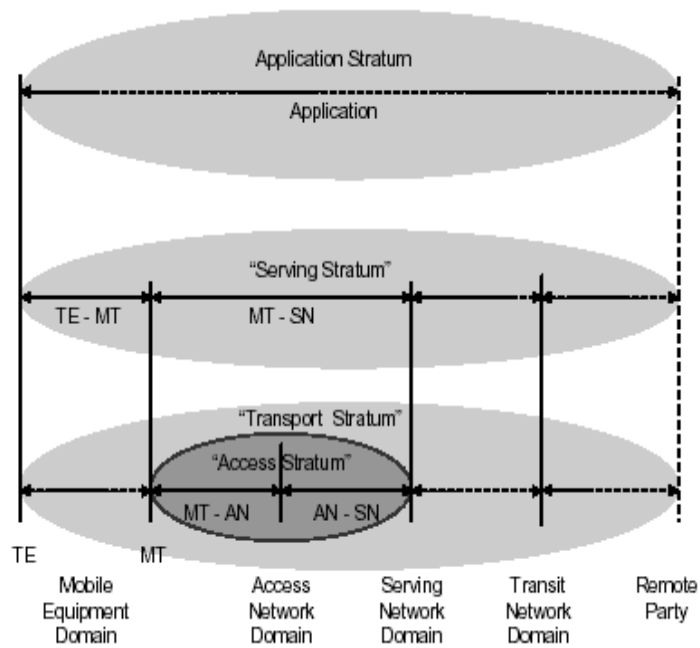


Figura 1.8. Flujo funcional entre TE, MT, red de acceso y red servidora, dominio red tránsito y la parte remota<sup>5</sup>

<sup>4</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects General UMTS Architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23101-310.pdf>

Un equipo de usuario puede encontrarse en modo desconectado (idle) o conectado (connected) [3G TS 25.301]. En el primer caso el UE no tiene una conexión de señalización con la UTRAN, con lo que la red de acceso no guarda información individualizada para él. En caso de estar conectado, el UE ha establecido una conexión de señalización con la UTRAN a través del protocolo RRC (Radio Resource Control), uno de los protocolos radio de la UTRAN dentro del plano de control. Si no se indica lo contrario, en lo sucesivo se supondrá que el UE se encuentra en modo conectado, puesto que es en el que se pueden establecer las comunicaciones que son de interés para los estudios realizados en este trabajo de grado.

La red de acceso radio [3G TS 25.401] (UTRAN) se encarga de transportar el tráfico de usuario (voz, datos, señalización móvil-red) hasta el núcleo de red (CN), con el que se comunica a través de la interfaz Iu. Dentro del núcleo de red se encuentran los recursos de conmutación y transmisión necesarios para completar el trayecto de la comunicación hacia el abonado remoto, que puede pertenecer a la red UMTS o a una red externa (red telefónica conmutada (RTC), Internet, etc.).

El CN se encuentra dividido en dos dominios: el dominio de conmutación de circuitos (CS – Circuit Switched), y el dominio de conmutación de paquetes (PS – Packet Switched). Esta división se corresponde con la separación funcional entre los elementos de conmutación de circuitos propios del servicio GSM (MSCs – Mobile Switching Centres) y los de GPRS (GSNs – GPRS Support Nodes). En ambos casos se distingue conceptualmente entre los nodos de acceso, que dan servicio a una determinada zona, y los nodos pasarela o “gateway”, que permiten la conexión con redes externas. Los primeros son las MSC en el dominio CS y los SGNS (Serving GSN) en el dominio PS, y los segundos son las GMSC (Gateway MSC) en el dominio CS y los GGSN (Gateway GSN) en el dominio PS.

Este paralelismo con los elementos de GSM/GPRS en el CN viene determinado por el planteamiento de UMTS como evolución de este tipo de redes 2G. En la primera fase de normalización (Release 1999), se propone la reutilización de la infraestructura de

---

<sup>5</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects General UMTS Architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23101-310.pdf>

conmutación disponible en dichas redes. La evolución del CN propiamente dicha se deja para fases posteriores (Release 4 y Release 5).

La red de acceso en UMTS, por el contrario, difiere desde el primer momento con respecto a las redes 2G. Ante la amplia gama de servicios y tasas de bit a soportar en los sistemas 3G, se hace necesario el empleo de tecnologías de acceso más flexibles y eficientes que las utilizadas en los actuales sistemas 2G y 2.5G. En el caso de las redes UMTS la solución adoptada consiste en el empleo de WCDMA [Hol00] (Wideband Code Division Multiple Access) en la interfaz radio y de ATM en la red de acceso.

### **1.3. TECNOLOGÍA DE ACCESO RADIO WCDMA**

El acceso radio utilizado en UMTS está basado en la tecnología WCDMA. La implicación más relevante en la utilización de dicho protocolo es que, al basarse en técnicas de espectro ensanchado, permite la comunicación simultánea de usuarios utilizando la misma frecuencia. La discriminación entre usuarios se realiza mediante la utilización de códigos ortogonales que modulan la señal transmitida. Un código no es más que una secuencia bien conocida en ambos extremos que posee una velocidad mucho mayor que la de banda base. En recepción se utiliza el mismo código para capturar la señal. Esta técnica lleva implícita una ganancia en el momento de la recepción, cuyo valor dependerá del factor de ensanchamiento que se haya empleado, y que está relacionado con la frecuencia del código empleado en la modulación. En concreto, el factor de ensanchamiento (SF, Spreading Factor) se define como la relación entre la velocidad del código y la velocidad de la señal. Una vez aplicado el código en recepción es posible eliminar las señales interferentes (procedentes de otros usuarios que transmiten en ese instante) mediante el filtrado de las mismas ya que, al ser señales ensanchadas, su nivel de energía que interfiere en el ancho de banda de interés es despreciable, facilitándose de este modo el filtrado de la señal. El tratamiento en detalle de este tema queda fuera del propósito de este trabajo de grado. Para un estudio con profundidad se puede recurrir a excelente bibliografía existente que aborda la tecnología CDMA. Un buen ejemplo sería WCDMA for UMTS [Hol00], de Harri Holma y Antti Toskala.

Esto se muestra en las siguientes figuras:

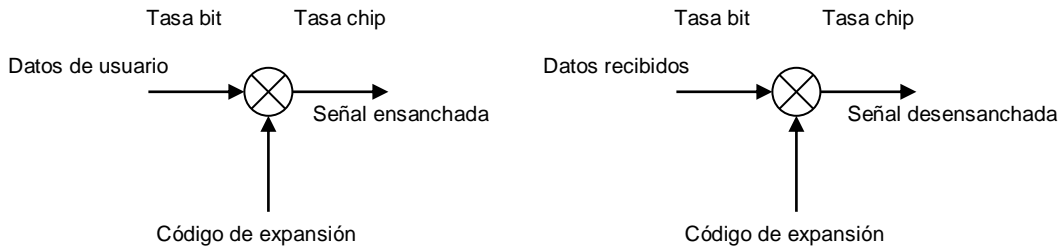


Figura 1.9. Esquema de Spreading/Despreading

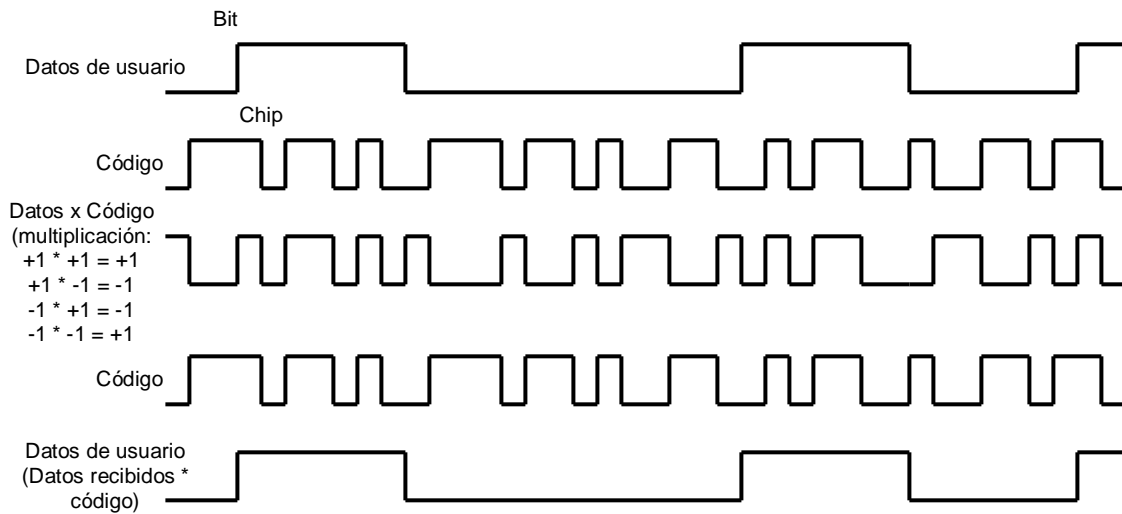


Figura 1.10. Spreading/Despreading en el tiempo

El acceso radio utilizado en UMTS está basado en la tecnología WCDMA a una tasa de operación de 3.84 Mchip/s<sup>6</sup> empleando portadoras de 5 MHz de anchura espectral. A cada usuario se le asigna tramas de duración 10 ms durante las cuales su tasa de bits es constante aunque puede variarse de una trama a otra (variando el factor de espectro, SF). Lo anterior se representa en la Figura 1.11.

<sup>6</sup> Chip rate: Velocidad de un flujo de chips, es decir, número de chips por segundo. Un chip es el mínimo intervalo de tiempo requerido para un impulso binario de código, bien sea un cero o un uno. Se denomina chip para indicar bit que no contiene información

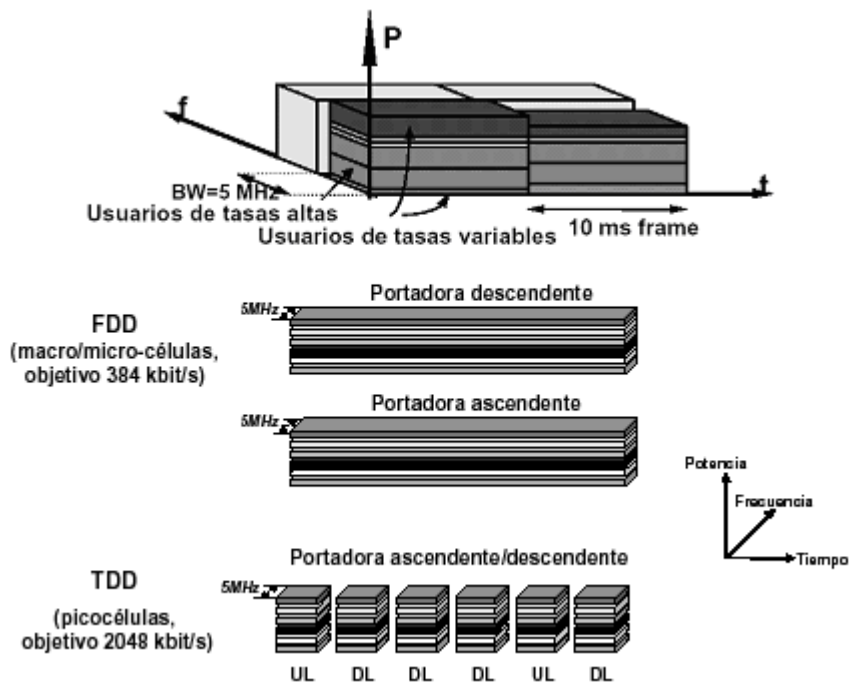


Figura 1.11. Asignación de Códigos en el espacio tiempo-frecuencia y modos de operación de la interfaz radio UMTS

- ✓ FDD (Frequency Division Duplex). Basado en el empleo de portadoras diferentes para el enlace ascendente y el descendente<sup>7</sup> separadas 190Mhz. Cada portadora es capaz de soportar múltiples canales mediante el empleo de diferentes códigos CDMA. Más específicamente, la técnica de multiplexación por código utilizada es la variante DS-CDMA (Direct Sequence CDMA).
- ✓ TDD (Time Division Duplex). Los enlaces ascendente y descendente comparten una única portadora de 5 MHz mediante división en el tiempo. La técnica de acceso utilizada en este caso es una combinación de TDMA y DS-CDMA. TDD contempla la posibilidad de asignar una mayor proporción de ranuras temporales en un sentido (típicamente en el descendente), lo que permite una mejor adaptación ante situaciones de tráfico asimétrico. En general, el modo TDD resulta adecuado para alcances reducidos (células pequeñas).

<sup>7</sup> Por sentido ascendente se entiende en general el flujo de información desde el equipo de usuario hasta la red. El sentido opuesto es denominado descendente.

#### 1.4. RED DE ACCESO RADIO TERRESTRE DE UMTS (UTRAN)

En la Figura 1.12 se muestra la arquitectura de UTRAN [3G TS 25.401], en la que pueden observarse los elementos que la componen y las interfaces definidas entre ellos. La red de acceso UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (Radio Network Subsystem). Cada RNS está a cargo de un conjunto de células y gestiona los recursos asociados a ellas. Un RNS contiene:

- ❖ Uno o varios Nodos B (Node Bs), cada uno de ellos responsable de la comunicación vía radio con los UEs en una o varias células.
- ❖ Un Controlador de Red Radio (RNC, Radio Network Controller), que se encarga de gestionar los recursos de los Nodos B dependientes de él. Los protocolos de la interfaz radio, excepto los de nivel físico, terminan en el RNC. El RNC es además el punto de acceso para todos los servicios que la UTRAN proporciona al CN, por ejemplo la gestión de las conexiones con el UE. Normalmente tiene interfaz con un MSC (dominio CS) y un SGSN (dominio PS).
- ❖ Interfaces lógicas. Las especificaciones del 3GPP definen un conjunto de protocolos para la comunicación entre los elementos de la red de acceso radio, y con los terminales móviles y el núcleo de red. El principal objetivo de que las interfaces entre elementos de red se encuentren estandarizados es conseguir la interoperabilidad entre ellos, independientemente del fabricante.

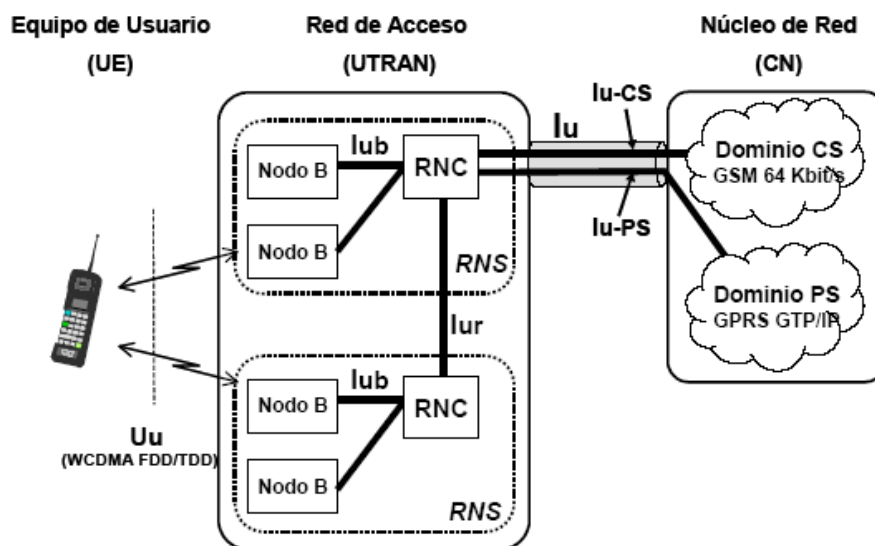


Figura 1.12. Arquitectura de la red de acceso radio terrestre (UTRAN)



#### **1.4.1. Nodo B.**

El Nodo B es el elemento de red encargado de controlar un grupo de células y asegurar la cobertura en las diferentes zonas previstas para el funcionamiento del sistema. Su funcionalidad es equivalente a la desempeñada por la BTS (Base Station System, Sistema de Estación Base) en las redes celulares de Segunda Generación. Puede considerarse como la pasarela entre el terminal o interfaz radio y el controlador de red (a través de la interfaz Iub). Con el fin de reducir los costos de implementación, el operador puede elegir que una estación base GSM se encuentre localizada junto a un Nodo B UMTS.

Desde el punto de vista de la interfaz Iub, el Nodo B es el punto de terminación de la red ATM de transporte. Desde el punto de vista de la interfaz Uu, el Nodo B desempeñará funciones relacionadas con la modulación, control de errores, adaptación de velocidades, o procedimientos propios de las técnicas de espectro ensanchado utilizadas por WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Puede operar tanto en modo FDD como en TDD. Por tanto, el Nodo B deberá convertir la señal radio en células ATM, y viceversa.

Como ya se ha comentado en el anterior apartado, el Node B también está involucrado en funciones de control de potencia y, en concreto, en el control rápido de potencia. El objetivo que tiene este tipo de control de potencia depende en gran medida del sentido de la comunicación.

Otra de las funciones del Nodo B, y que se ha mencionado en los párrafos anteriores, es la realización de medidas de parámetros de calidad del enlace, como el SIR o la tasa de errores de trama (FER, Frame Error Rate), y el envío de esta información al RNC en forma de "informe de medidas" que éste utiliza posteriormente en la toma de decisiones relativas a la gestión de los recursos radio.

Por último, el Nodo B también participa en funciones de control de traspasos. El Nodo B se encargará de gestionar los traspasos que se producen entre diversos sectores de una misma célula. En este caso se puede hablar de microdiversidad: una misma estación base recibe señales procedentes de sectores diferentes. La estación base

combina estas señales, enviando al RNC un único flujo. Por tanto, no se requiere un aumento en la capacidad de los enlaces de transmisión. El Nodo B gestiona estas situaciones de manera autónoma, descargando al RNC de esta tarea.

Los Nodo B's pueden dividirse en varios grupos, según el tipo de célula al que den cobertura. Existen tres tipos de células, que siguen una estructura jerárquica y que fueron explicadas en apartados anteriores:

- Picocélulas.
- Microcélulas.
- Macrocélulas.

#### **1.4.2. Controlador de Red Radio**

El RNC es el elemento de red encargado de controlar cada RNS, y cuya funcionalidad es equivalente a la desempeñada por el BSC (Base Station Controller, Controlador de Estaciones Base) en las redes de Segunda Generación.

El RNC está basado en tecnología ATM, y deberá permitir la conmutación de los flujos de tráfico procedentes de las interfaces conectados a él, y que también se basan en ATM. Pero su principal función no será sólo la de manejar los flujos de tráfico en las interfaces terrestres de la red de acceso radio sino también, y más importante, la gestión de los recursos radio. Es aquí donde se introduce la mayor novedad respecto al BSC. Al contrario que en la red de acceso en los sistemas celulares de Segunda Generación, la red de acceso en UMTS es capaz de gestionar por sí misma, sin intervención del núcleo de red, los recursos radio de la red, así como la configuración de los canales.

Las funciones más destacadas del Controlador de Red Radio se describen a continuación:

- ✓ Planificación de envío de paquetes (Packet Scheduling). Con el fin de compartir la capacidad disponible en la interfaz aire entre los paquetes de usuario garantizando la calidad de servicio contratada, el RNC debe utilizar mecanismos que le permitan elegir qué transmisiones deben tener lugar en cada momento, el orden que deben seguir y el canal de transporte que se usará para dichas transmisiones. La elección

del canal se hará basándose en criterios tales como el tipo de servicio (parámetros de calidad de servicio), cantidad de información, carga de los canales comunes y compartidos o el nivel de interferencia.

- ✓ Control de Potencia (Power Control). Una de las principales funciones que desempeña la UTRAN es el control de potencia, que se encuentra repartido entre el RNC y las estaciones base, según el tipo de control, participando también en dichas tareas el terminal móvil. El RNC interviene en el llamado control de potencia de bucle externo, mientras que el Nodo B se encarga del control rápido de potencia. En lo que respecta al control de bucle externo, el RNC se encarga de ajustar un nivel de SIR (relación señal-interferencia) que se pretende alcanzar en la estación base, de acuerdo a las necesidades para alcanzar un nivel de calidad constante, normalmente expresado mediante un cierto BER (Bit Error Rate). Este umbral será variable, dependiendo de las condiciones de carga en cada momento. Para ello hace uso de las mediciones relativas a las condiciones de cada canal que las estaciones base remiten al RNC periódicamente.
  
- ✓ Control de traspasos (Handover Control). El traspaso se realiza con el fin de contrarrestar el deterioro de la calidad de una conexión a medida que se aleja de la estación base en la que se encuentra registrada. Con el traspaso se consigue reducir la potencia transmitida y posibles situaciones de congestión, aumentando el grado de servicio. En UMTS se manejan tres tipos de traspasos. Según el tipo de traspaso, el papel que juega el RNC será diferente. El diseño del traspaso incidirá directamente en la calidad de servicio ofrecida, así como en el dimensionamiento de la capacidad y cobertura del sistema. Los tres tipos de traspasos con los que se trabaja y que son descritos detalladamente en el Capítulo 4, son:
  - a) Traspaso Hard o sin continuidad.
  - b) Traspaso Soft o con continuidad.
  - c) Traspaso Softer.
  
- ✓ Control de Congestión (Congestion Control). El RNC debe tomar medidas drásticas para evitar situaciones de congestión reduciendo la calidad en las conexiones de los usuarios en células sobrecargadas durante el tiempo que tarde en resolverse la situación de congestión. Esto puede obligar, por ejemplo, a reducciones en la velocidad de algunas conexiones, traspaso a otras portadoras o redes, e incluso

liberación de conexiones. Pero también es posible que, ante situaciones de alta disponibilidad, se pueda incrementar la velocidad de una conexión o incluso el paso de canales compartidos a canales dedicados, o viceversa, de acuerdo a los recursos en cada instante. Por tanto, también se verá involucrado en la reconfiguración de los canales de tráfico de acuerdo a los niveles de interferencia y disponibilidad de recursos.

- ✓ Control de Admisión de Llamadas (Call Admission Control). Mediante la medidas que recibe el RNC sobre parámetros de carga se valora el impacto que tendría la inclusión de una nueva llamada, con la calidad de servicio solicitada, sobre las prestaciones del sistema, principalmente en lo que a cobertura se refiere (ya que ésta se verá reducida con el incremento del nivel de interferencia). Si la inclusión no supone un incremento considerable en la degradación del sistema, la llamada es aceptada. También se debe tener en cuenta que los niveles de potencia necesarios no excedan el máximo o que el nivel de interferencia en la célula no se incremente en exceso.

Para cada conexión entre un UE y la UTRAN (UE en modo conectado) se puede identificar un RNC servidor (SRNC, "Serving RNC") y cero o más RNCs auxiliares (DRNC, "Drift RNC").

En el plano de control, el SRNC es, entre otras cosas, la entidad encargada de terminar la conexión de señalización entre el UE y la UTRAN (protocolo RRC). En el plano de usuario, el SNRC es el encargado del procesamiento de los datos a nivel 2 (de los protocolos radio). También realiza la terminación de la interfaz lu para el transporte de los datos que está intercambiando el UE.

Por su parte, un DRNC da soporte al SRNC si es necesario, proporcionando recursos radio cuando la comunicación necesita utilizar células controladas por ese DRNC ([3G TS 25.401]). Se trata por tanto de un elemento que surge cuando se está realizando un traspaso suave en el que entran un juego células de distintos RNCs. Éste es el caso en el que la interfaz lur tiene utilidad, puesto que permite el intercambio de tramas entre el DRNC y el SRNC de la comunicación, donde son procesadas. En el resto del presente trabajo, si no se indica lo contrario, cuando se haga referencia al RNC se supondrá que es el SRNC.

### 1.4.3. Interfaces lógicas.

En la Figura 1.13 se muestra el modelo general para estos protocolos. Los distintos planos y capas de este modelo genérico son lógicamente independientes unos de otros. Lo primero que cabe destacar es la división en dos grandes planos horizontales: capa de red radio y capa de red de transporte. En el primero se incluyen los protocolos que permiten la gestión de recursos de la interfaz radio, y las funciones de establecimiento y liberación de conexiones entre las estaciones móviles y la UTRAN; en el segundo se sitúan todos los protocolos que contienen funciones destinadas a transportar los datos de la capa de red radio en el seno de la UTRAN, que serán dependientes de la tecnología empleada.

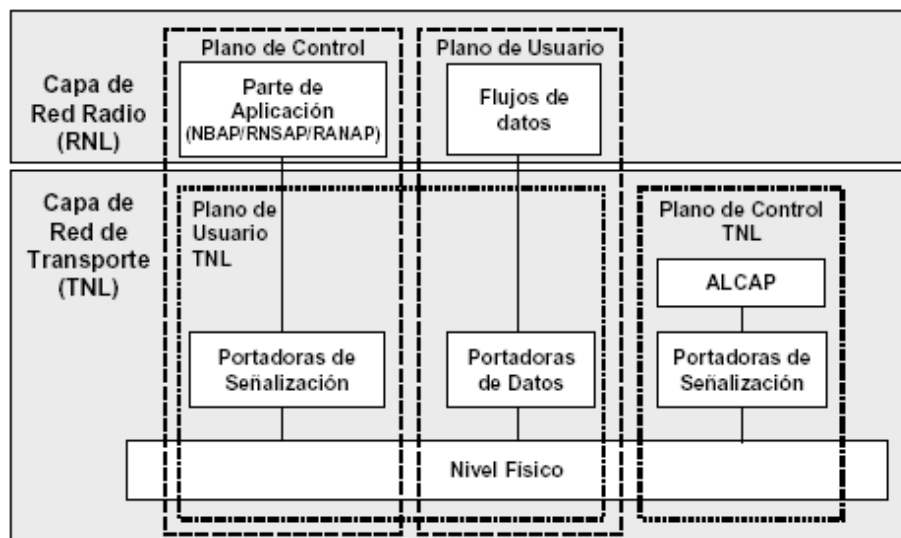


Figura 1.13. Modelo general de los protocolos utilizados en UTRAN.

La división vertical separa las funciones de control de la red del flujo de datos de usuario. En la estructura vertical, se definen tres planos: de control, de usuario y de control de la red de transporte. En el plano de control residen los protocolos de aplicación que gobiernan la señalización y que, por ejemplo, se ocupan de establecer y mantener portadores radio del plano de usuario (esto es, para el transporte de información de tráfico entre usuarios). En este grupo se incluirían protocolos tales como RANAP (Radio Access Network Application Protocol), RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part) o bien NBAP (Node B Application Part). A su vez, en el plano de usuario se encuentran las secuencias de datos de tráfico a transmitir (bien sea

de usuario o información necesaria en mecanismos de sincronización de trama), por lo que se denominan protocolos de trama, junto con los portadores necesarios para transportarlas. Mediando entre ambos (aunque en la figura se encuentra ubicado al lado derecho), se sitúa el plano de control de la red de transporte. Su misión es independizar a los protocolos de aplicación del plano de control de los portadores del plano de usuario. No contiene protocolo de aplicación alguno. En el plano de control, la red de transporte se compone, en su parte superior, del denominado protocolo ALCAP (Access Link Protocol Application Part) -por debajo del cual se encuentran los portadores correspondientes- que es el encargado de establecer los portadores del plano de usuario, a solicitud del protocolo de aplicación del plano de control. Cuando se utiliza este plano vertical, es posible independizar los protocolos de señalización de la tecnología empleada para el transporte de tráfico. [3G TS 25.401]

Tras esta breve descripción de la estructura general de los protocolos que se utilizan en las interfaces de la UTRAN, se describen cada una de estas interfaces, y la función que desempeñan dentro de la red de acceso radio.

#### 1.4.3.1. Interfaz Iub.

La interfaz Iub es el punto de conexión entre un controlador de red y un Nodo B. Se utiliza AAL2 para la transmisión tanto de tráfico en modo circuito como en modo paquete, independientemente del dominio del núcleo de red al que se dirigen. No se hace distinción, por tanto, entre servicio en modo circuito o en modo paquete.

Es la primera vez en los sistemas móviles comerciales que la interfaz con el controlador de red está estandarizado como totalmente abierto.

Otro hecho importante que surge con la aparición de UMTS es que a partir de ahora no se puede considerar la red de transporte como un canal transparente de tráfico sin pérdidas [Val99]. Debido a la complejidad del tráfico que se transporta, con requerimientos de calidad de servicio ampliados, se hace necesario un dimensionamiento apropiado, de manera que la red de transmisión sea siempre virtualmente capaz de transportar el tráfico que es admitido por la interfaz aire [Ene99]. En el Anexo 1 se entra en detalle con la tecnología ATM y, concretamente, en su utilización en la UTRAN. En él se describirán conceptos esenciales que influirán en la

capacidad de enlace necesaria, y en sucesivos capítulos se evaluarán distintas soluciones para conseguir una utilización óptima de dichos enlaces de acuerdo a parámetros de QoS.

La arquitectura de protocolos de la interfaz Iub se ilustra en la Figura 1.14. En los portadores del plano de control se utiliza una pila compuesta por el protocolo SSCF-UNI (Service Specific Coordination Function at the UNI), el SSCOP (Service Specific Connection Oriented Protocol) y AAL5 (ATM Adaptation Level 5). La misma se repite en el plano de control de la red de transporte, en el cual además se incluye el protocolo ALCAP (Access Link Control Application Part), que en este caso se compone de los protocolos Q.2630.2 (conocido como Q.aal2) y Q.2150.2.

En el nivel de aplicación, en el plano de control, se define el protocolo NBAP (Node B Application Part), mientras que en el de usuario se hace lo propio con los protocolos de trama, que establecen las estructuras de las tramas y los procedimientos de señalización en banda para los canales de transporte.

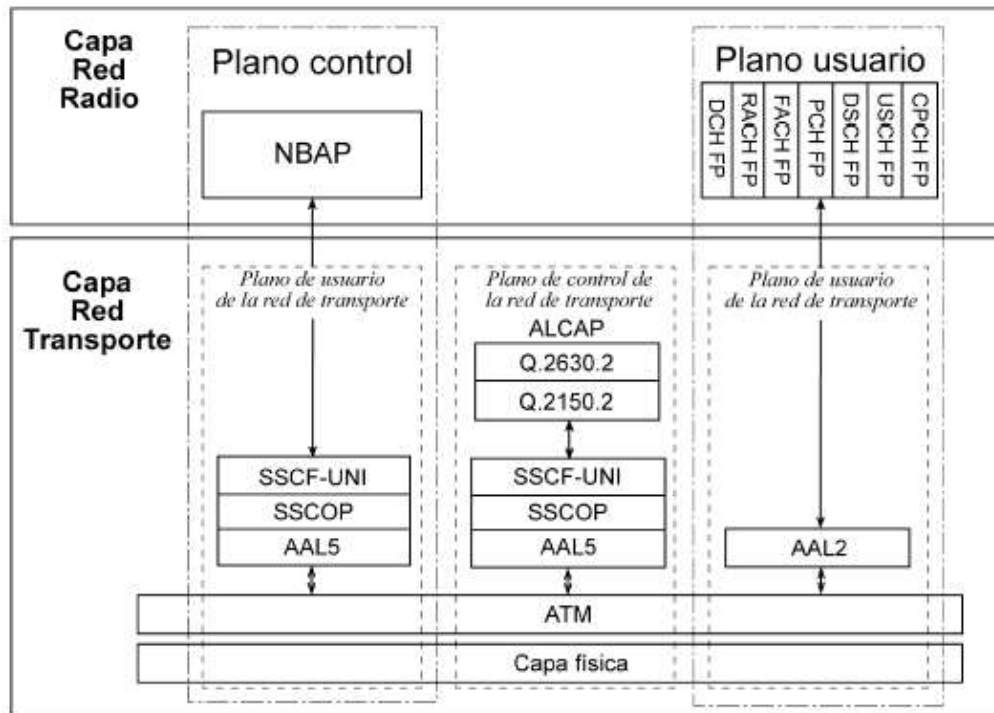


Figura 1.14. Protocolos en la interfaz Iub<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Iub Interface: General Aspects and Principles <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/25430-380.pdf>

#### 1.4.3.2. Interfaz Iur.

La interfaz Iur es el punto de conexión entre dos RNCs que pertenecen a la red de acceso UTRAN. Se trata de una interfaz lógica, lo que implica que no es necesaria la existencia de una conexión física entre los RNCs que comunica. En su lugar, se aprovecha la conexión física que une el RNC con el núcleo de red, enviando la información de forma separada a las otras interfaces.

Esta interfaz no tiene equivalente en el sistema GSM. Dado que conecta dos RNCs distintos, la interfaz Iur permite descargar al núcleo de red de las funciones de gestión de trasposos entre células pertenecientes a RNSs distintos, que en los anteriores sistemas no podía desempeñar la red de acceso. Por tanto, en los Sistemas de Tercera Generación la red de acceso tiene la capacidad de gestionar autónomamente los recursos radio, liberando al núcleo de red de esta función.

Durante un traspaso con continuidad en la que se encuentren involucrados diferentes RNSs, cada uno de los RNCs desempeñará funciones distintas (como Serving RNC), cuyas funciones ya se han comentado en párrafos anteriores; y será la interfaz Iur el que permita el intercambio de información entre ellos, independientemente de que los RNCs involucrados sean de distintos fabricantes.

En la siguiente página se muestra la Figura 1.15 que representa la estructura de protocolos para la interfaz Iur.



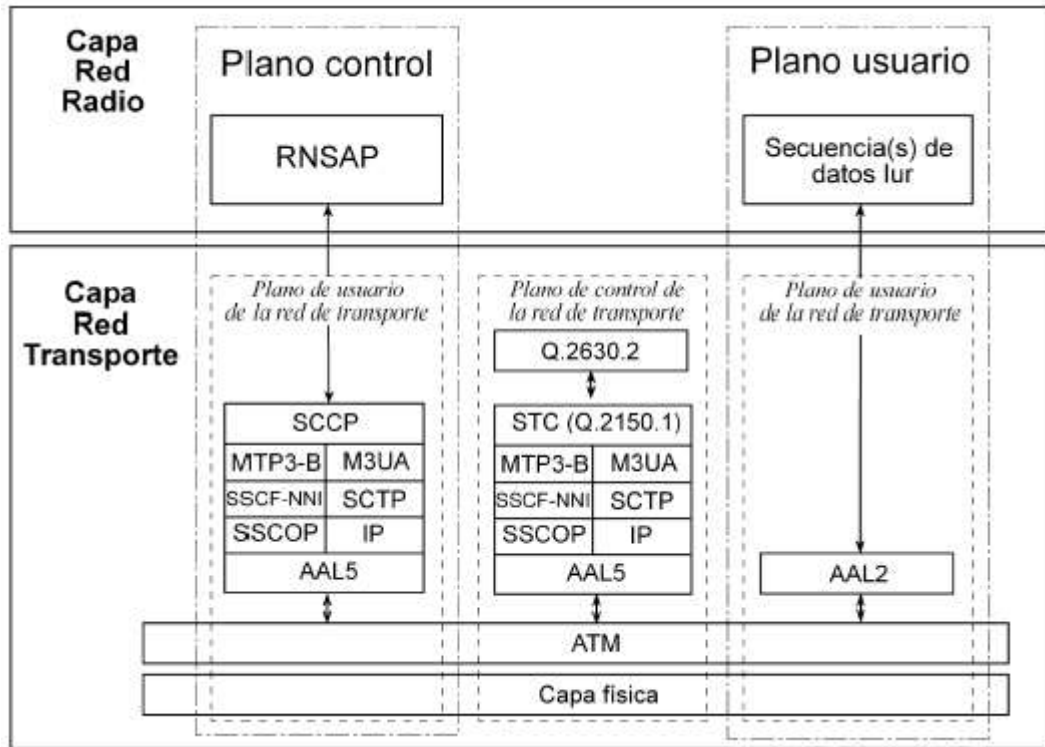


Figura 1.15. Protocolos en la interfaz Iur<sup>9</sup>.

A nivel ATM, la interfaz Iur es una interfaz NNI (Network-to-Network Interface). Por tanto, la mayor diferencia con la estructura de protocolos de la interfaz Iub se encuentra en el soporte para enviar la señalización AAL2. En este caso, la señalización descansa sobre la capa MTP3b (definido en la recomendación ITU-T Q.704) y en NNI-SAAL, constituido por SSCF-NNI (ITU-T Q.2140) y SSCOP (ITU-T Q.2110). El protocolo especificado en la recomendación ITU-T Q.2150.1 permite adaptar las primitivas de MTP3b en primitivas Q.2630.2, y viceversa.

Respecto al plano de usuario, su funcionamiento es exactamente igual de la interfaz Iub: permite el envío de tramas FP, empleando el protocolo de adaptación AAL2, entre el Nodo B y el RNC.

<sup>9</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Iur Interface General Aspects and Principles <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/25420-350.pdf>

#### 1.4.3.3. Conexión de la UTRAN con el resto de la red: interfaces Uu e Iu.

La UTRAN se comunica a través de las interfaces Uu e Iu con el terminal móvil y el núcleo de red, respectivamente. Son, pues, interfaces de la UTRAN con entidades externas a la misma. A continuación se describirán brevemente con el fin de tener una idea general de éstos, ya que condicionarán el funcionamiento de la red de acceso.

##### a) Interfaz radio Uu.

En la interfaz radio (Uu) nos encontramos ante una ruptura prácticamente total con la tecnología que se ha venido utilizando en los sistemas móviles actuales, específicamente en Europa. Se ha pasado del sistema TDMA al sistema de acceso múltiple DS-SS-SSA, que ya se utilizaba en América y Japón. En concreto, se ha adoptado como tecnología de acceso radio WCDMA.

Los protocolos que integran la interfaz Uu se estructuran de la siguiente forma:

- ◆ Capa Física se basa en el modo de acceso múltiple empleado, bien FDD (Frequency Division Duplex) bien TDD (Time Division Duplex). Para cada modo se ha reservado una parte de espectro: para FDD existen dos bandas de 60 MHz (1920-1980 MHz y 2110-2170 MHz); para TDD, en Europa, se han reservado las bandas 1900-1920 MHz y 2010-2025 MHz
- ◆ Capa de Enlace, que está dividida en dos subcapas: MAC (Medium Access Control) y RLC (Radio Link Control); y en otras dos subcapas, que sólo afectan al plano de usuario: PDCP (Packet Data Convergence Protocol) y BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol).
- ◆ Capa de Red, que se divide en otras tres: RRC (Radio Resource Control) -que se ocupa de la gestión de los recursos radio-, MM (Mobility Management) -encargado de la gestión de la movilidad-, y CC (Call Control) -encargado del control de llamadas [Her00-a]. Estas dos últimas pertenecen al estrato de no acceso, externo a UTRAN.

##### b) Interfaz Iu.

La interfaz Iu es el punto de conexión entre el subsistema RNS y el núcleo de red. Se trata de una interfaz lógica que podrá ser implementado como una o varias interfaces físicas [3G TS 23.930]. Esta interfaz permite a la red de acceso ocultar al núcleo de red todas las funciones dependientes de la tecnología radio y la movilidad.

Se estructura en tres componentes separadas, cada una destinada a un dominio concreto del núcleo de red (según las características del servicio transportado). De acuerdo al dominio destino, las tres componentes en que se divide son: dominio de conmutación en modo circuito lu-CS (típicamente entre un RNC y una MSC), dominio de conmutación en modo paquete lu-PS (entre un RNC y un GSN, que será el SGSN) y el dominio de difusión lu-BC<sup>10</sup>. Cada uno de estos dominios ofrece servicio al plano de usuario de la red radio, y poseen una estructura de protocolos distinta. Lo anterior se muestra en la Figura 1.16.

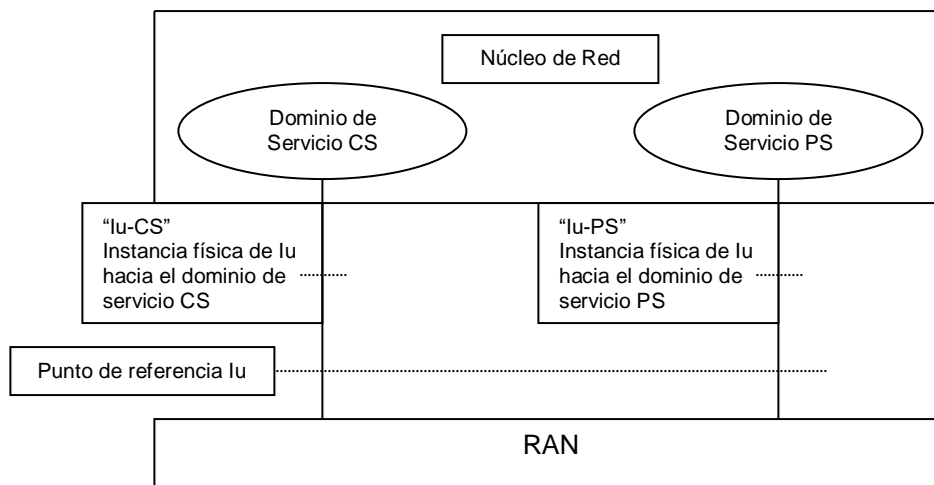


Figura 1.16. Punto de referencia lu y las instancias físicas lu-CS y lu-PS

Desde la perspectiva de la interfaz lu, el punto de acceso a la UTRAN es un RNC. En sentido opuesto, el punto de acceso al núcleo de red, así como su número, dependerá del dominio al que se accede. Mientras que en el caso BC se puede admitir que el RNC se conecte a través de más de un punto de acceso, en el caso de los dominios PS y CS sólo se admite uno.

El plano de usuario de la interfaz lu-PS está basado en el protocolo GTP-U para la transmisión de datos en modo paquete con origen o destino el núcleo de red. Este protocolo es una evolución del protocolo GTP (GPRS Tunnelling Protocol). La recomendación 3G TS 29.060 define el protocolo GTP-U encima de los protocolos UDP e IP. Los paquetes IP son transportados por la red ATM gracias al protocolo AAL5. Para

<sup>10</sup> Descrito en [3G TS 25.410]. Esta interfaz no está considerada en el texto puesto que los aspectos de difusión no son tenidos en cuenta en presente trabajo de grado.

ello se utiliza CLIP (Classical IP over ATM). El plano de usuario de la interfaz lu-CS está basado, al igual que lub e lur, en el protocolo de adaptación AAL2. A través de él se dará servicio a aplicaciones de datos en modo circuito y a servicios de voz. En la Figura 1.17 se muestra la distribución de protocolos para los dominios que se han mencionado.

## **1.5. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE UTRAN**

La Figura 1.18, en la que no se ha representado por claridad la opcional presencia de la interfaz lur, muestra la estructura genérica de protocolos de la UTRAN.

En el marco de los flujos de información que atraviesan la red de acceso, los protocolos se agrupan de manera lógica en dos estratos o niveles: el estrato de acceso (AS – Access Stratum) y el estrato no ligado al acceso (NAS – Non-Access Stratum) [3G TS 25.301]. Un estrato es una agrupación de protocolos (flujos de comunicación) asociados a uno o más aspectos de servicio.

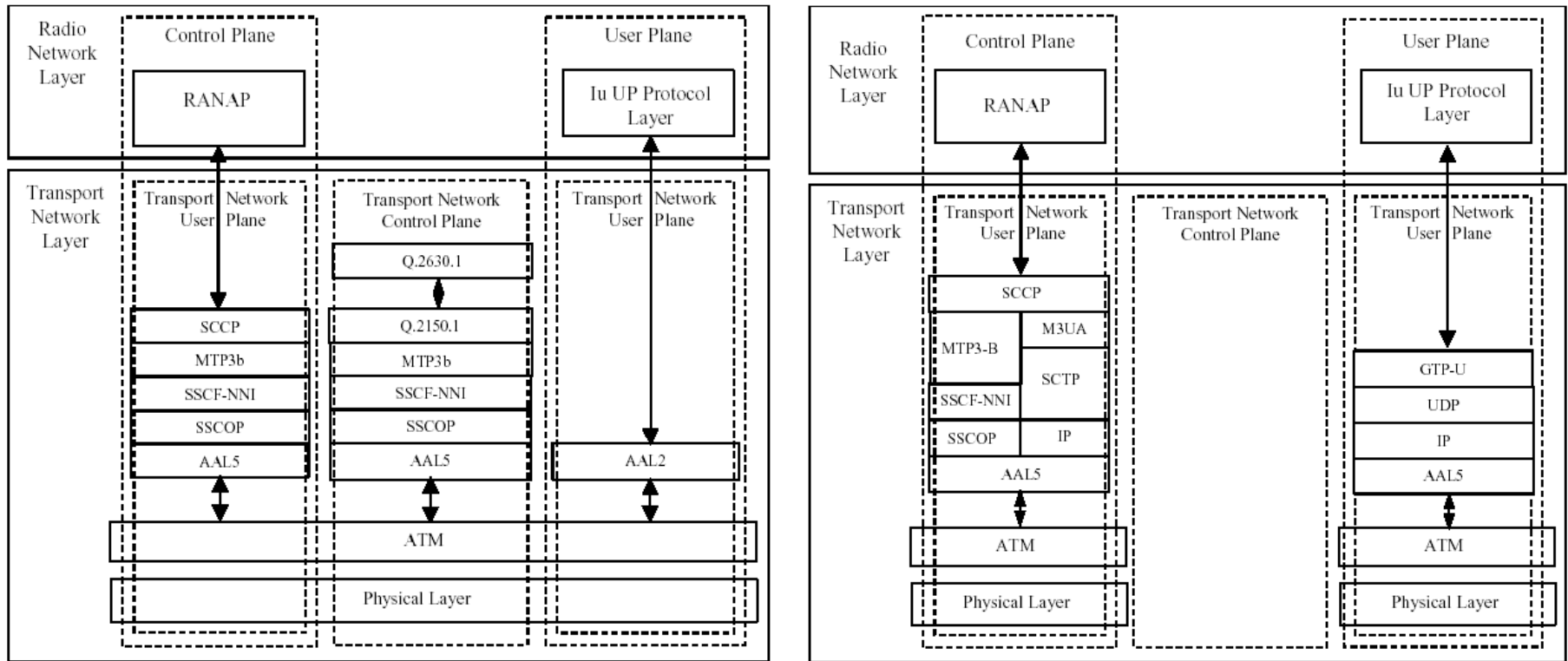


Figura 1.17. Protocolos en las interfaces Iu-CS e Iu-PS<sup>11</sup>

<sup>11</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Iu Interface: General Aspects and Principles  
<http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/25410-380.pdf>

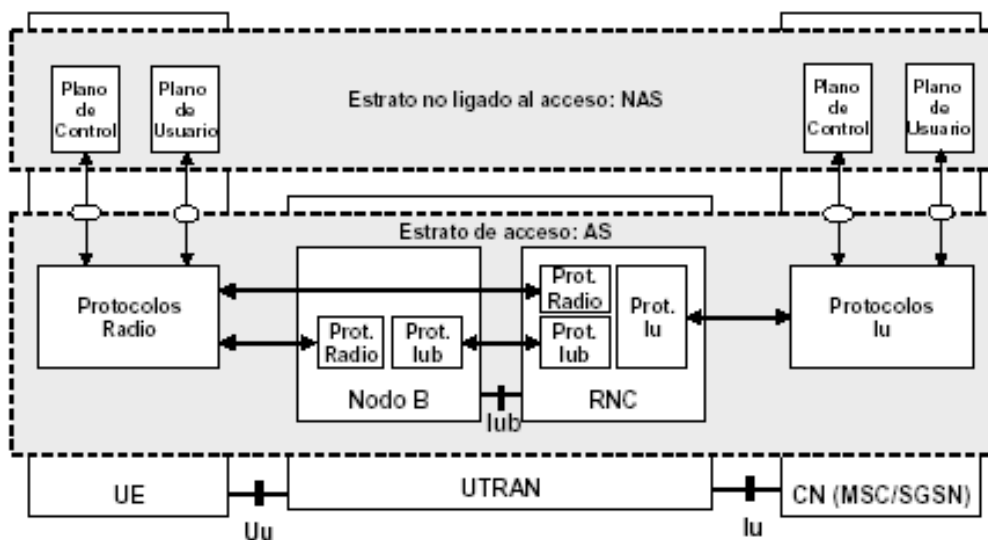


Figura 1.18. Arquitectura general de protocolos de la UTRAN

El AS ofrece servicios al NAS tanto en el plano de usuario como en el plano de control. En el plano de usuario se ofrece el servicio denominado portadora de acceso radio (RAB – Radio Access Bearer), que permite el transporte de datos de usuario entre UE y CN. Este tipo debe ser lo suficientemente flexible como para soportar diferentes tipos de tráfico, velocidades y requisitos de QoS, ocultando al NAS los parámetros dependientes de la configuración concreta de la red de acceso. Tal y como se indica en [3G TS 23.107], puede haber un conjunto de subflujos como parte de una misma RAB, correspondientes a distintos flujos de datos del NAS con requisitos de QoS diferenciados ([3G TS 25.415]). Por otro lado, los servicios ofrecidos por el AS en el plano de control incluyen procedimientos como avisos a estaciones móviles (“paging”) y establecimiento/liberación de portadoras de acceso radio, así como el transporte de la señalización del NAS.

Dentro del AS, los datos del NAS son transportados entre UE y CN en dos etapas: los protocolos radio se encargan del tramo entre UE y el RNC (que será el SRNC si se supone el móvil en estado conectado y utilizando una comunicación dedicada), mientras que los protocolos lu completan el trayecto entre el RNC y el nodo de acceso al CN (MSC o SGSN).

Entre el Nodo B y el SRNC los datos de los protocolos radio deben atravesar la interfaz Iub y, posiblemente, la interfaz Iur (esta última posibilidad no está contemplada en la Figura 1.18). De ello se encargan protocolos específicos para estas interfaces.

La frontera entre uno y otro nivel se produce a través de tres puntos de acceso al servicio SAP (Service Access Point), que son (ver Figura 1.19):

- ✓ Control General (General Control; GC). Permite el acceso a servicios de radiodifusión de información a todos los terminales móviles presentes en un área geográfica determinada.
- ✓ Notificación (Nt). Permite el acceso a servicios de aviso de terminales móviles y de notificación de estos (difusión en una zona de información dirigida a unos terminales específicamente).
- ✓ Control Dedicado (Dedicated Control, DC). Permite el acceso a servicios de establecimiento o liberación de una conexión radio, así como la transferencia de información mediante dicha conexión.

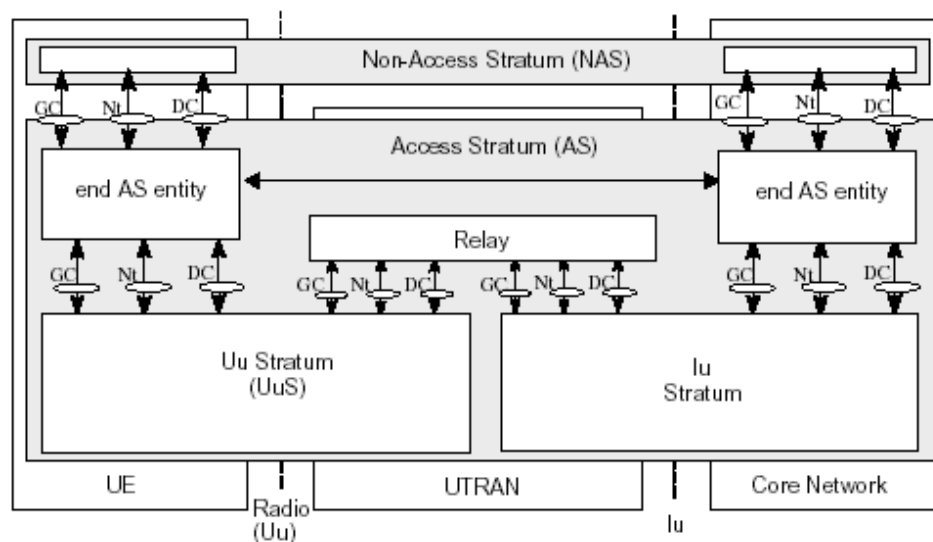


Figura 1.19. Estratificación del sistema UMTS

## CAPITULO 2. ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ RADIO

### 2.1. INTRODUCCION

Este capítulo describe la arquitectura de protocolos para la interfaz radio en UMTS. En primer lugar se presenta brevemente, la estructura de capas utilizadas para definir la interfaz radio. Finalmente, se describen los protocolos utilizados en la interfaz radio, analizando su arquitectura, servicio y funciones a cada nivel. Es importante tener en cuenta las propiedades de estos protocolos que intervienen a nivel radio dado que el tráfico que se transporta en la red ATM viene determinado por el funcionamiento de estos protocolos.

La Figura 2.1 ilustra la torre de protocolos que intervienen en la comunicación entre el equipo terminal y la UTRAN.

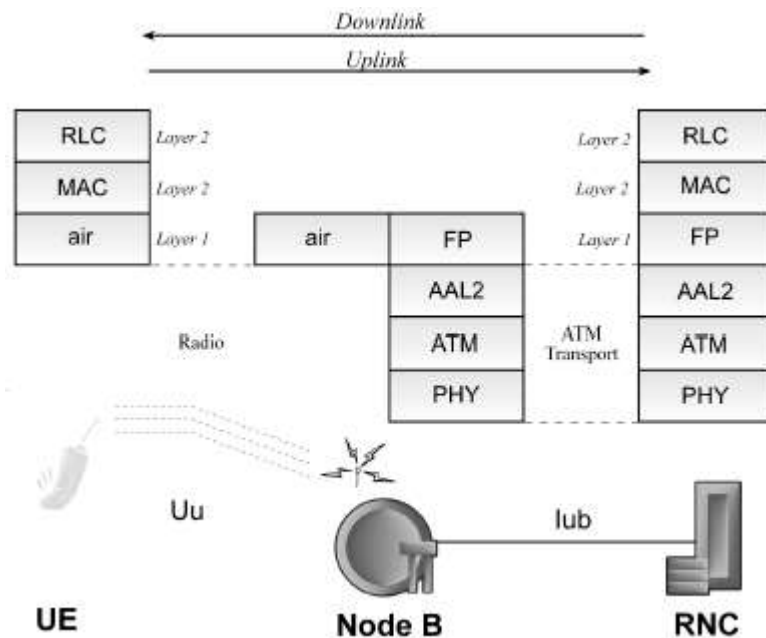


Figura 2.1. Protocolos entre UE y RNC



Como se puede observar en la figura anterior, los protocolos radio MAC y RLC terminan en un RNC. Hay que tener en cuenta, además, que sobre la interfaz lu los datos de usuario ya no son transportados sobre canales radio. A continuación se introducirá brevemente las principales características de cada uno.

## **2.2. ARQUITECTURA GENERAL DEL PROTOCOLO RADIO**

La red de acceso radio para UMTS se ha definido siguiendo un modelo de capas OSI<sup>12</sup>. Este modelo es igual para los dos modos FDD y TDD. Los niveles más bajos se representan en la Figura 2.2.

Del total de capas OSI, son tres las que intervienen en el protocolo radio: La capa física (L1), la de enlace de datos (L2) y la de red (L3). Además, la estructura se complementa con una división vertical en dos planos, denominados respectivamente de control (C) y de usuario (U).

La Capa de Enlace L2 se compone de 4 subcapas: MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), PDCP (Packet Data Control Protocol) y BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol). Estas dos últimas subcapas sólo afectan al plano de datos de usuario. El PDCP existe para el dominio de paquetes y su función es de compresión de cabeceras. El BMC se utiliza para difundir sobre la interfaz radio mensajes provenientes del centro de Difusión.

La Capa L3 se divide en dos partes: access stratum y non access stratum. La parte de acceso al estrato está formada por la entidad RRC (Radio Resource Control) y la entidad "duplication avoidance". La parte del no acceso está formada por las partes de control de llamadas CC (Call Control), gestión de recursos radio RRM (Radio Resource Management) y gestión de la movilidad MM (Mobile Management). De las tres, tan sólo la primera es la que maneja los elementos de la red de acceso (RNC, Nodo B), ya que las otras dos son transparentes para ellos. Todos los mensajes de señalización de las capas superiores (señalización de Non Access Stratum) y de la propia capa son encapsulados en los mensajes RRC para su transmisión sobre la interfaz radio.

---

<sup>12</sup> Para una descripción completa de este modelo, se recomienda consultar la referencia [Tan96]

La entidad “duplication avoidance” se encarga de garantizar la protección de los datos cuando cambia el punto de conexión en la Interfaz lu.

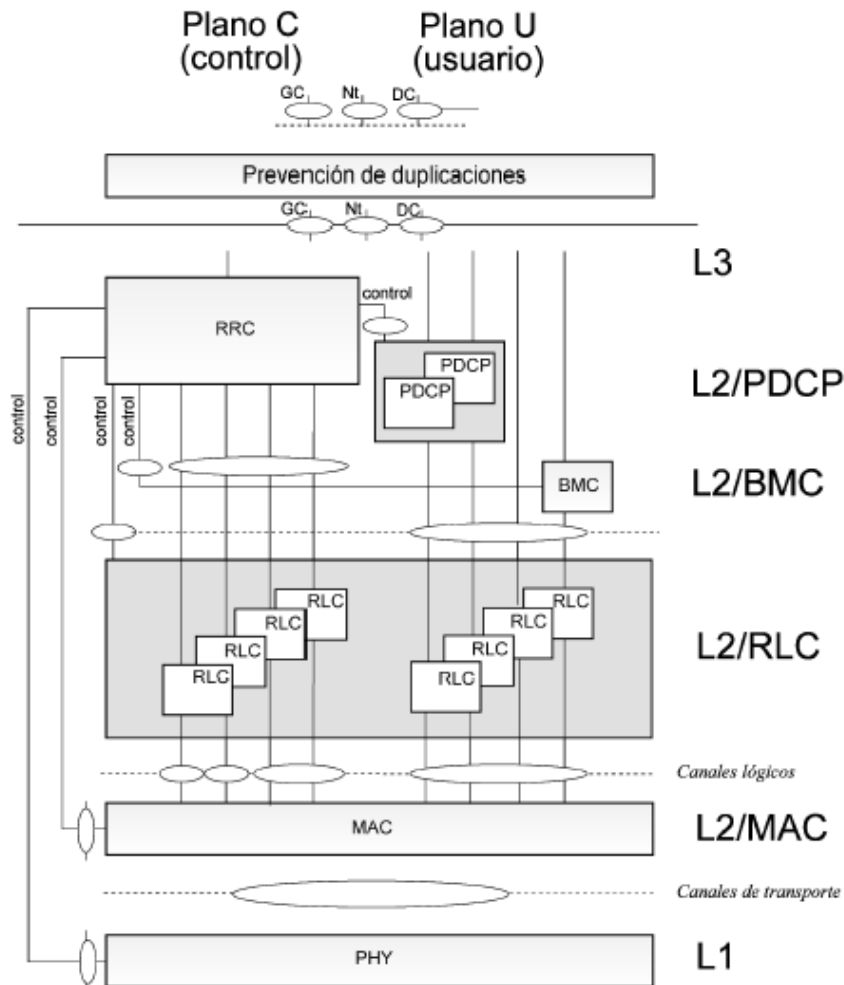


Figura 2.2. Arquitectura de Protocolos de la interfaz radio<sup>13</sup>

En la Figura 2.2 cada bloque representa una instancia del protocolo y los círculos los puntos de acceso al servicio (SAP, Service Access Point). Las capas del modelo se relacionan entre sí a través de enlaces de control que son dependientes de la implementación (en los estándares no están descritos). Estos enlaces de control permiten a la capa RRC configurar las capas bajas del modelo:

<sup>13</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Radio Interface Protocol Architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/25301-3b0.pdf>

- ✓ Configuración de la Capa 1 para una reconfiguración de una portadora radio y envío de comandos para realizar medidas.
- ✓ Intercambio de información sobre volumen de tráfico entre la MAC y RRC lo que permite conmutar entre canales de transporte.
- ✓ Reporte de medidas de la capa 1 a la RRC.
- ✓ Reporte de estadísticas de errores de transmisión de la capa RLC a la RRC lo que da lugar a cambios de formatos de transporte.
- ✓ Configurar la capa PDCP para realizar la compresión de cabeceras.

Cada capa ofrece servicios en los SAPs y cada servicio viene definido por un conjunto de operaciones (primitivas) que una capa proporciona a las superiores. Para las primitivas se sigue el siguiente convenio:

- ✓ Las primitivas proporcionadas por SAPs entre capas adyacentes se nombran con el prefijo de la capa que proporciona el servicio PHY, MAC, RLC, PDCP, BMC o UUS.
- ✓ Las primitivas proporcionadas por un SAP a una aplicación se nombran con el prefijo de la capa que proporciona el servicio RRC.

Las primitivas proporcionadas por un SAP de control añaden al nombre de la capa que proporciona el servicio el prefijo C, CPHY, CMAC, CRLC, CPDCP o CBMC.

La capa física trabaja con canales físicos y ofrece servicios en los SAPs denominados canales de transporte al subnivel más bajo de la capa de enlace (MAC). A su vez el subnivel inferior (MAC) de la capa de enlace ofrece servicios en los canales lógicos al superior (RLC). La capa RLC proporciona tres tipos de SAPs dependiendo del modo de operación del protocolo RLC (UM, AM o TM)<sup>14</sup>. El servicio que proporciona la capa 2 se conoce con el nombre de Portador Radio (Radio Bearer). Las proporcionadas por el plano de control se les conocen con el nombre de portadoras de señalización radio.

---

<sup>14</sup> UM (Unacknowledged Mode, modo sin acuse de recibo), AM (Acknowledged Mode, modo con acuse de recibo) y TM (Transparent Mode, modo transparente).

## 2.3. CAPA FÍSICA

### 2.3.1. Arquitectura de la capa física

La capa física L1 se divide en dos subcapas: la de transporte y la física. La capa de transporte se encarga de todo el procesado para proporcionar diferentes servicios con diferentes calidades de servicio (QoS), sus funciones son:

- ✓ Ejecución del soft handover (traspaso con continuidad) y distribución o combinación de las señales involucradas en los procesos de macrodiversidad<sup>15</sup>.
- ✓ Detección de errores en los canales de transporte e indicación de los mismos a las capas superiores.
- ✓ Codificación/decodificación con procedimientos FEC<sup>16</sup> contra errores en los canales de transporte.
- ✓ Interleaving<sup>17</sup>/desinterleaving de canales de transporte.
- ✓ Multiplexación de canales compuestos de transporte y demultiplexación de los canales compuestos codificados de transporte. Estos canales compuestos son el resultado de la multiplexación de varios canales individuales de transporte y,
- ✓ Proyección (mapping) de canales de transporte en canales físicos de transmisión.

La capa física se encarga del mapeado (mapping) de los bits procedentes de la subcapa de transporte a señales eléctricas que puedan ser transmitidas sobre la interfaz aire, sus funciones son:

- ✓ Multiplexación de datos y control.
- ✓ Modulación y ensanchamiento del espectro o demodulación y recuperación de la señal de banda base de los canales físicos.
- ✓ Conversión serie-paralelo.
- ✓ Sincronización en frecuencia y tiempo de las señales.

---

<sup>15</sup> Macrodiversidad, Combinar señales. Seleccionar la mejor señal entre las que provienen de las diferentes estaciones base en caso de macrodiversidad.

<sup>16</sup> FEC (*Forward Error Correction*): Corrección de errores a posteriori. Cuando se detecta un error, el receptor intenta por sí solo recuperar la información original. Por tanto sólo es necesario un enlace unidireccional. Se contraponen al ARQ (*Automatic Repeat Request*) donde cuando se detecta un error, el receptor pide al transmisor que repita de nuevo la información enviada y necesita de un enlace bidireccional.

<sup>17</sup> Interleaving. Proceso de envío de caracteres, bloques, mensajes, etc., alternadamente en un sistema que utiliza la técnica de multiplexaje.

- ✓ Medición de las características de la señal radio, incluyendo la tasa de tramas erróneas, la relación señal/interferencia, el nivel de potencia interferente, etc., así como notificación de los resultados a las capas superiores.

Estas dos subcapas están manejadas por la entidad de control L1M. Está formada por varias unidades localizadas en el móvil y en el Nodo B. La capa L1 ofrece servicios de transporte de datos a las capas superiores mediante los canales de transporte. Estos servicios se ofrecen a través de enlaces radio formados por uno o varios canales de transporte y un canal físico que se establecen mediante enlaces de señalización. Estos enlaces radio son manejados por la entidad de control de la capa física L1M. Las funciones de la capa física son realizadas por el móvil y por el Nodo B (excepto la macrodiversidad que es realizada por el RNC). Ver Figura 2.3.

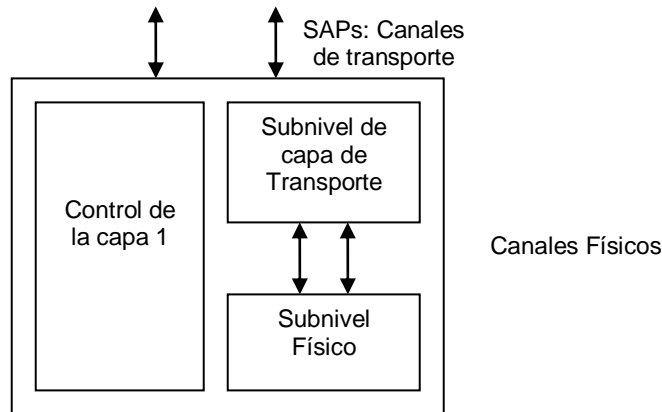


Figura 2.3. Arquitectura de la Capa Física

### 2.3.2. Servicios de la capa física

#### 2.3.2.1. Servicios del subnivel físico

Puede considerarse los servicios de este subnivel los canales físicos que se definen en UTRA (Universal Terrest Radio Access) mediante una frecuencia, un código de scrambling y la fase relativa ( $0$  o  $\pi/2$ ).

Este nivel trabaja también con señales físicas que son entidades con los mismos atributos de los canales físicos salvo que no llevan mapeados indicadores ni canales de transporte.

### 2.3.2.2. Servicios del subnivel transporte

#### 2.3.2.2.1. Servicios de los servicios

La capa física ofrece servicios de transporte de datos a las capas superiores. El acceso a estos servicios se realiza a través de los canales de transporte por medio de la subcapa MAC. Los servicios de transporte de la capa física son descritos en cómo y con qué cadencia el nivel MAC entrega al nivel inferior las unidades de datos que se intercambian entre UE y RNC (interfaz aire). La descripción completa de este servicio se encuentra en [TS 25.302].

La unidad de datos que se intercambia entre la capa L1 y la MAC se denomina bloque de transporte. Típicamente un bloque de transporte se corresponde con una PDU<sup>18</sup> de la capa MAC.

Un UE puede establecer varios canales de transporte simultáneamente, cada uno teniendo sus propias características de transporte (diferentes capacidades de corrección de errores). Cada canal de transporte puede ser usado para transmitir información de una portadora radio o información de señalización de la capa 2 o de capas superiores.

La multiplexación de los canales de transporte en el mismo o diferentes canales físicos lo realiza la capa física.

Todos los canales de transporte son unidireccionales (uplink o downlink). Esto implica que un UE puede tener simultáneamente uno o varios canales de transporte en el downlink y uno o más canales de transporte en el uplink.

De manera resumida, para cada canal de transporte utilizado, MAC entrega al nivel inferior conjuntos de bloques de datos con una periodicidad determinada. Las definiciones más relevantes a este respecto son:

- ✓ Bloque de Transporte (TB – Transport Block). Unidad de datos que se intercambia entre la capa MAC y la capa L1 para el procesado de ésta (añade el CRC, Cyclic

---

<sup>18</sup> PDU (Protocol Data Unit) es una unidad de datos de protocolo. SDU (Service Data Unit) es una unidad de datos de servicio (unidad de datos que el nivel superior al considerado entrega para su transporte). Se seguirá la notación de anteponer el nombre de un protocolo a la sigla “PDU” o “SDU” para indicar una unidad de datos de protocolo o una unidad de datos de servicio (respectivamente) de ese protocolo.

Redundancy Check, a cada bloque). Típicamente se corresponde con una PDU de la capa RLC. De hecho es igual a una PDU de la capa MAC.

- ✓ Conjunto de Bloques de Transporte (TBS – Transport Block Set). Conjunto de bloques de transporte que se intercambian durante el mismo intervalo de tiempo de transmisión (TTI) usando el mismo canal de transporte. Cuando se utiliza segmentación en la capa RLC corresponden a las diferentes PDUs de una SDU de la capa RLC. Los bloques de transporte son transmitidos en el mismo orden en el que fueron recibidos de la capa RLC (si vienen del mismo canal lógico). Los bloques de transporte de un mismo TBS tienen todos el mismo tamaño. El tamaño del TBS se denomina Transport Block Set Size y se define como el número de bits que hay en un TBS.
- ✓ Intervalo de Tiempo de Transmisión (TTI – Transmisión Timing Interval). Corresponde al tiempo que transcurre entre dos transmisiones consecutivas de dos conjuntos de bloques de transporte. Es el período de interleaving para el TBS siendo un múltiplo del período mínimo de interleaving. Puede ser 10, 20, 40 o 80 ms (múltiplos de la duración de una trama radio) dependiendo del servicio (20 ms para la voz). La capa MAC entrega un conjunto de bloques de transporte a la capa física cada TTI.
- ✓ Formato de Transporte (TF – Transport Format). Se define como el formato ofrecido por la capa L1 a la MAC (y viceversa) para la transmisión de un TBS durante el TTI para un canal de transporte. El formato de transporte está constituido por una parte dinámica y una estática.
- ✓ Conjunto de Formatos de Transporte (TFS – Transport Format Set). Es el conjunto de formatos que se definen para un canal de transporte permitiendo la posibilidad de cambiar la tasa de bits.
- ✓ Combinación de Formatos de Transporte (TFC – Transport Format Combination). La capa 1 multiplexa uno o varios canales de transporte y para cada canal de transporte existe una lista de conjunto de formatos de canales de transporte que son aplicables. En un determinado instante de tiempo no pueden usarse todas las combinaciones en la capa física, sólo un subconjunto denominado combinación de formatos de transporte. Se define como una combinación autorizada de formatos de transporte válidos que pueden ser enviados simultáneamente a la capa física para la transmisión de un canal de transporte compuesto codificado (CCtrCH – Coded

Composite Transport Channel) de un UE conteniendo un formato de transporte para cada canal.

- ✓ Conjunto de Combinaciones de Formatos de Transporte (TFCS – Transport Format Combination Set). Se define como un conjunto de combinaciones de formatos de transporte en un canal de transporte compuesto codificado y son producidos por un algoritmo propietario en el RNC.

La asignación de los TFCS la lleva a cabo la capa 3. Cuando la capa MAC mapea los datos en la capa física elige entre las configuraciones de formatos de transporte dadas en el conjunto proporcionado por la capa 3. El valor objetivo para el control de potencia en bucle cerrado viene dado por los atributos del servicio (calidad BER y retraso) y es establecido por el algoritmo de control de admisión en el RNC. La selección del TFCS por parte de la capa MAC puede verse como una parte del RRM que permite variar la tasa de bits de forma muy rápida sin necesidad de señalización por parte de la capa L3. Un TFCS solo contiene aquellas TCSs que son permitidas.

En la siguiente Figura 2.4 se resumen los conceptos anteriores:

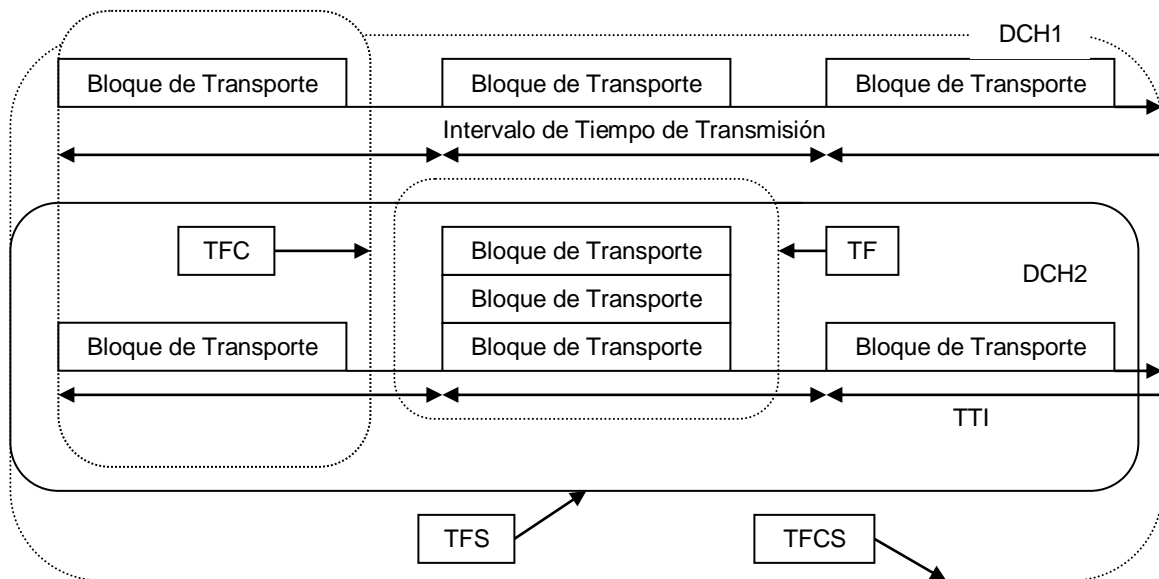


Figura 2.4. Definición de Conceptos de Canales de Transporte



- ✓ Indicador de Formato de Transporte (Transport Format Indicator, TFI). Es una etiqueta para un formato de transporte específico dentro de un conjunto. Se utiliza en la comunicación entre las capas MAC y física cada vez que se intercambia un TBS. Cuando se asocia el canal DSCH (Downlink Shared Channel) con un DCH (Dedicated Channel) el TFI del primero indica también el canal físico (código de canalización) del DSCH que tiene que escuchar el UE.
- ✓ Indicador de la Combinación de Formatos de Transporte (Transport Format Combination Indicator, TFCI). Se utiliza para informar de qué combinaciones de formatos de transporte son válidas e indicar al receptor como decodificar, demultiplexar y traspasar los datos a los correspondientes canales de transporte. La capa MAC indica el TFI a la capa 1 en cada transmisión de un TBS. La capa 1 construye el TFCI a partir de los TFIs de los canales, procesa los bloques de transporte y añade el TFCI a la señalización de control (canal físico DPCH). Puede utilizarse detección ciega (omitir la señalización TFCI) para algunas combinaciones de formatos de transporte. En la Figura 2.5 se muestra un esquema de cómo funciona la construcción del TFC.

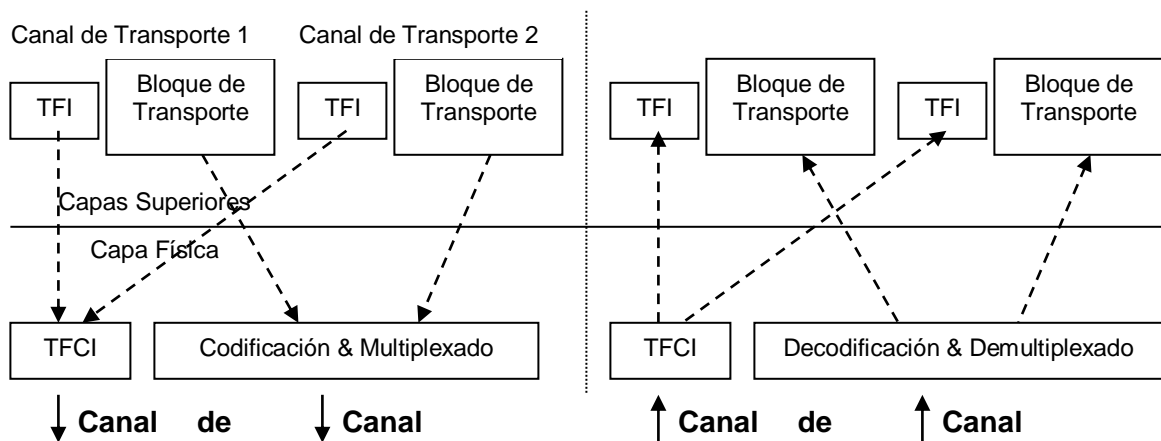


Figura 2.5. Canales de Transporte y Mapeado a Canales Físicos

Cuando el significado del TFCI necesita ser reconfigurado hay dos procedimientos para ello que son:

- ◆ Reconfiguración completa del TFCI. Todos los valores del TFCI son reinicializados y nuevos valores son definidos en su lugar. Necesita una sincronización explícita entre la UTRAN y el UE.

- ◆ Reconfiguración incremental. Una parte de los valores de TFCI antes y después de la reconfiguración permanecen igual. Este procedimiento soporta añadir, quitar o redefinir valores de TFCI. No requiere un tiempo explícito de ejecución y puede implicar la pérdida de datos de usuario.

#### 2.3.2.2.2. Tipos de canales de transporte

Existen dos tipos de canales de transporte: comunes y dedicados. La diferencia entre ellos se encuentra en que los primeros se caracterizan por ser un recurso repartido entre un grupo de usuarios en una celda (usan direccionamiento explícito) mientras que los dedicados son recursos dedicados, identificados por un código y una cierta frecuencia (direccionamiento inherente al UE).

##### Canales Dedicados de Transporte

Sólo existe un canal dedicado de transporte denominado DCH (Dedicated Channel). Se utiliza para transportar toda la información relacionada con las capas superiores (datos y señalización de las capas superiores) en modo circuito (para paquetes pueden usarse varios). Se caracteriza por:

- ◆ Canal Bidireccional (UL y DL).
- ◆ Puede ser transmitido sobre toda o parte de una célula usando antenas adaptativas.
- ◆ Admite control de potencia rápido en bucle cerrado (1500 Hz de frecuencia máxima de órdenes de control de potencia, resultante de enviar un comando por intervalo).
- ◆ Soporta soft-handover (traspaso con continuidad).
- ◆ Posibilidad de usar sincronización en el uplink.
- ◆ Posibilidad de cambiar la tasa de bits de forma rápida de una trama a otra (cada 10 ms).

##### Canales Comunes de Transporte

Hay seis canales de transporte comunes definidos para la UTRA que son: BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH y DSCH. No soportan soft-handover aunque algunos de ellos pueden tener control de potencia rápido.

- ◆ Canal de Difusión (BCH – Broadcast Channel). Canal de transporte descendente (DL) que se usa para difundir información del sistema UTRA y de la célula concreta. La información más típica que se transmite por este canal son los códigos y slots de acceso en la celda, los tipos de métodos de diversidad de transmisión usados por

los canales en la celda, etc. Como los terminales no pueden registrarse en la red si no pueden decodificar este canal, debe de transmitirse con una potencia elevada en toda la celda para alcanzar toda la zona de cobertura. La tasa de bits de este canal está limitada por la capacidad de terminales de baja velocidad de decodificarlo lo que resulta en un canal de tasa baja y fija. Tiene un formato de transporte simple.

- ◆ Canal de Paging (PCH – Paging Channel). Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transmitir toda la información relacionada con el procedimiento de paging (cuando la red desea establecer una comunicación con el terminal). Los terminales deben de recibir la información de paging en toda la celda. El diseño del canal de paging afecta el consumo de potencia del terminal en el modo standby (cuanto menos escuche el terminal este canal más durará su batería). La transmisión del PCH se asocia a un canal de la capa física PICH (Page Indicador Channel) que transporta los PI (Paging Indicators) para soportar procedimientos mode-sleep.
- ◆ Canal FACH (FACH – Forward Access Channel). Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transportar información de control a los terminales localizados en una celda dada (se transmite pequeñas cantidades de datos y se usa entre otras cuestiones para responder por ejemplo a un acceso aleatorio, dar información relativa a un servicio y de un canal físico). Se transmite en toda la celda o parte de ella utilizando antenas adaptativas. Su tasa de bits es baja para que pueda ser decodificado por todos los terminales en la celda. Puede usarse un control de potencia lento en este canal aunque no es posible utilizar el rápido. Puede cambiarse su tasa de una trama a otra y puede haber más de un canal FACH en la celda (en este caso los sucesivos canales FACH pueden tener una tasa de bits mayor). Los mensajes transmitidos en este canal deben usar identificación en banda para permitir su recepción correcta.
- ◆ Canal DSCH (DSCH – Downlink Shared Channel). Es un canal de transporte descendente (DL) que se utiliza para transportar datos de usuario dedicados e información de control que puede ser compartido por varios usuarios. Este canal se asocia a uno o varios DCHs en el modo FDD (en TDD es posible asociarlo al FACH). Soporta el control de potencia lento y rápido cuando está asociado a un canal dedicado. Se puede transmitir sobre toda la celda o parte de ella usando antenas adaptativas. Presenta la posibilidad de variar su tasa de bits de una trama a otra.

- ◆ Canal de Acceso Aleatorio (RACH – Random Access Channel). Es un canal de transporte ascendente (UL) que se utiliza para transportar información de control desde el terminal (solicitar el establecimiento de una conexión). Puede usarse para enviar pequeñas cantidades de paquetes de datos desde el terminal a la red. Este canal debe ser escuchado por la estación base desde cualquier punto del área de cobertura por lo que la tasa de datos deben ser bajas. El campo datos está limitado y se caracteriza por soportar control de potencia en bucle abierto y estar sometido a colisiones.
- ◆ Canal de Paquetes Uplink Común (CPCH – Common Packet Channel). Es un canal de transporte ascendente basado en contienda (UL) que se utiliza para transportar ráfagas de tráfico. Este canal se asocia a un canal dedicado en el downlink que proporciona el control de potencia y los comandos de control para este canal. Se caracteriza por una colisión inicial y puede ser transmitido con el control de potencia rápido en el mensaje. En el preámbulo y su incremento puede utilizarse el control de potencia en bucle abierto. Se transmite en toda la celda o en parte de ella utilizando antenas adaptativas. Presenta la posibilidad de cambiar la tasa de bits de una trama a otra.

Los canales RACH, FACH, BCH y PCH son obligatorios para el funcionamiento de la red mientras que el DSCH y el CPCH son opcionales.

### **2.3.3. Funciones de la capa física**

#### 2.3.3.1. Funciones del subnivel físico

- a) *Procesado de los canales físicos*
- b) *Medidas.* Se encarga de realizar medidas y dar una indicación de las mismas a las capas superiores. Entre estas medidas cabe resaltar la tasa de error de bloques (BLER – Block Error Rate) del canal de transporte, la potencia recibida en un código CPICH<sup>19</sup> RSCP (Received Signal Code Power) y la SIR (Signal Interference Ratio).
- c) *Control de potencia en Bucle Cerrado.* En la Figura 2.6 se observa que los usuarios que están situados a diferentes distancias de la estación base, tienen por lo tanto unas pérdidas de propagación distintas. Si todos emiten con la misma potencia, las

---

<sup>19</sup> CPICH (Common Pilot Channel)

señales de los emisores más cercanos llegarían a la estación base con más potencia que las de los lejanos, quedando estas últimas enmascaradas, es decir, empeoraría su recepción aunque no serían eliminadas. Este efecto se le conoce con el nombre de efecto cerca-lejos.

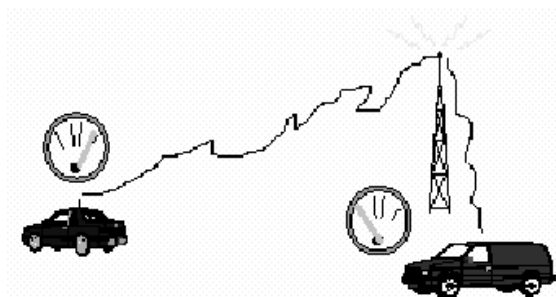


Figura 2.6. Efecto cerca-lejos

Para resolver este problema es preciso utilizar técnicas de control de potencia, de forma que todas las señales lleguen a la estación base con el mismo nivel de potencia. Esto se consigue haciendo que cada usuario emita con una potencia distinta en función de su distancia, condiciones de propagación y carga del sistema. Al utilizar control de potencia, se reduce la interferencia y por lo tanto se maximiza la capacidad total del sistema y además se reduce el consumo de los terminales móviles que se encuentren más cerca de la estación base. El control de potencia debe tener tres características: exactitud (del orden de 1 dB), rapidez para compensar los desvanecimientos, y un gran rango dinámico para controlar móviles cercanos y alejados.

Hay dos tipos de algoritmos de control de potencia en UMTS:

- ◆ Bucle Abierto (Open Loop Power Control). Se produce cuando un usuario decide acceder al sistema. Inicialmente, este nuevo usuario no estará controlado en potencia, con lo cual accederá al sistema con un nivel de potencia inicial que será una variable aleatoria. Si esta potencia inicial no es suficiente para ser atendido, la incrementará a intervalos constantes en dB, hasta que reciba confirmación de la estación base de que su señal ha sido recibida. Si desde un primer momento la potencia hubiera sido excesiva, habría entrado directamente a ejecutar los algoritmos de control de potencia.
- ◆ Bucle Cerrado (Closed Loop). Se realiza en los dos enlaces. En el uplink el RNC establece la BER para el servicio solicitado y a partir de ella calcula la SIR objetivo

enviándosela al Nodo B. El Nodo B estima la SIR en el UL y la compara con la recibida determinando si la potencia del móvil debe ser incrementada o decrementada (esto lo hace con los bits de TPC). Esta operación se realiza 1500 veces por segundo y recibe el nombre de Inner Loop. Por otro lado cada 10 ms el RNC calcula la SIR y ajusta la SIR objetivo. A este proceso se le conoce con el nombre de Outer Loop y es controlado por la capa RRC. En el downlink los usuarios reciben distinta interferencia de las demás células en función de su posición, y por lo tanto hay que variar las potencias para tener una relación señal interferencia (S/I ó SIR) fija (esta situación se da por ejemplo en el borde celular). En este caso el UE manda los bits TPC (Transmit Power Commands) al Nodo B en función de la SIR estimada y de la que tiene como objetivo.

d) *Sincronización de trama y frecuencia*

La sincronización se logra “enganchándose” a los bits de sincronismo que emite el sistema a través del canal SCH. Además el sistema puede permanecer sincronizado gracias a la realimentación que se realiza para no perder el sincronismo. En el enlace descendente se puede enviar una señal para que los receptores móviles estén sincronizados en recepción.

2.3.3.2. Funciones del subnivel de transporte

- a) *Procesado de los canales de transporte.* Los datos llegan al subnivel de transporte en forma de bloques de transporte una vez por cada intervalo de transmisión. Éste depende del canal de transporte específico y puede tomar valores de 10, 20, 40 u 80 ms.
- b) *Ejecución del soft-handover y macrodiversidad.* El traspaso con continuidad o soft handover permite realizar un traspaso de una célula a otra sin cambiar de modo (FDD/TDD) ni de portadora de tal manera que la llamada no se corta. El traspaso se hace antes de que esto ocurra y como además se trabaja en la misma banda de frecuencias no se producen microcortes. Esto es así gracias a que se establece una conexión en paralelo. Otra modalidad de traspaso con continuidad es el softer handover, que consiste en el traspaso entre sectores pertenecientes a una misma estación base. Los dos sectores utilizan las mismas frecuencias y el traspaso con continuidad se realiza en la frontera entre dos sectores adyacentes. Por último cabe

decir que cuando se produce un traspaso de una celda da otra y se cambia la portadora, el modo (FDD/TDD), el operador, el sistema (GSM) o no hay lur entre los RNCs que la controlan se produce un traspaso sin continuidad que se conoce con el nombre de hard handover.

Para llevar a cabo el traspaso con continuidad se emplean técnicas de macrodiversidad/microdiversidad que permiten la comunicación simultánea de un móvil con varios Nodos B o bien con varios sectores de un Nodo B. Cuando se utiliza la técnica de macrodiversidad los RNCs involucrados tienen funciones distintas hablándose de:

- ✓ SRNC (Serving RNC): es el que termina el lu para un UE. Un UE conectado a la UTRAN solo tiene un SRNC. Realiza las funciones de la gestión de los recursos radio.
- ✓ DRNC (Drift RNC): es cualquier RNC utilizado por el UE distinto al SRNC. No realiza el procesado de la capa 2 y transporta los datos de forma transparente en el lub e lur. Un UE puede tener uno, varios o ningún DRNC.
- ✓ CRNC (Controlling RNC): es el RNC que controla al Nodo B.

La Macrodiversidad/Microdiversidad se realiza mediante dos funciones:

- ✓ Combinación (Combinig): Consiste en combinar los bloques de transporte recibidos de las celdas que forman el active set en un solo flujo simple de bloques de transporte.
- ✓ División (Splitting): Consiste en duplicar los bloques de transporte recibidos y difundirlos por los Nodos B que forman el active set (ver Capítulo 4).

## **2.4. CAPA MAC (MEDIUM ACCESS CONTROL)**

### **2.4.1. Arquitectura del subnivel MAC**

La arquitectura lógica del subnivel MAC es común para los modos FDD y TDD, aunque existen algunas diferencias de detalle. El subnivel MAC se describe a partir de las entidades MAC. La descripción del protocolo MAC se encuentra en [TS 25.321]. Las entidades son las siguientes:

- ✓ MAC-b. Entidad que maneja el canal de transporte BCH. Hay una entidad en el UE y una por cada celda de la UTRAN (se encuentra localizada en el Nodo B). El punto de acceso al servicio de control de la capa MAC se utiliza para transferir información de control a la MAC-b.
- ✓ MSC-c/sh. Entidad que maneja los siguientes canales de transporte comunes PCH, FACH, RACH, y los compartidos CPCH (sólo FDD), DSCH (FDD y TDD) y USCH (sólo TDD). Hay una sola entidad MAC-c/sh en cada terminal, y una sola entidad MAC-c/sh en cada celda de la UTRAN (localizada en el RNC de control).
- ✓ MAC-d. Maneja los canales de transporte DCH. Hay una sola entidad MAC-d en cada terminal y una sola entidad MAC-d en la UTRAN (localizada en el RNC de servicio) por cada UE que tiene uno o más canales lógicos dedicados hacia o desde la UTRAN.

En las Figuras 2.7 y 2.8 se presentan las entidades MAC-c/sh y MAC-d desde el punto de vista del UE y la UTRAN, respectivamente.

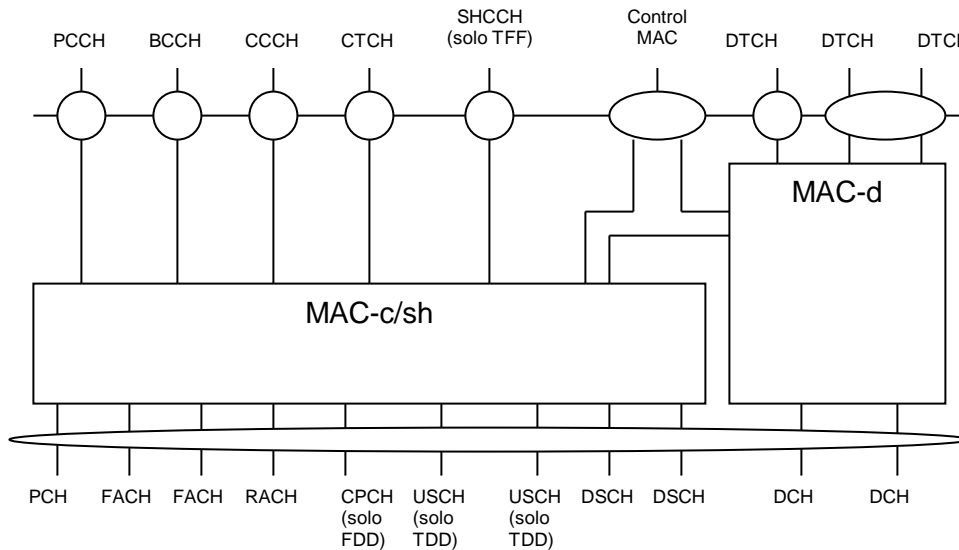


Figura 2.7. Entidades MAC-c/sh y MAC-d lado UE



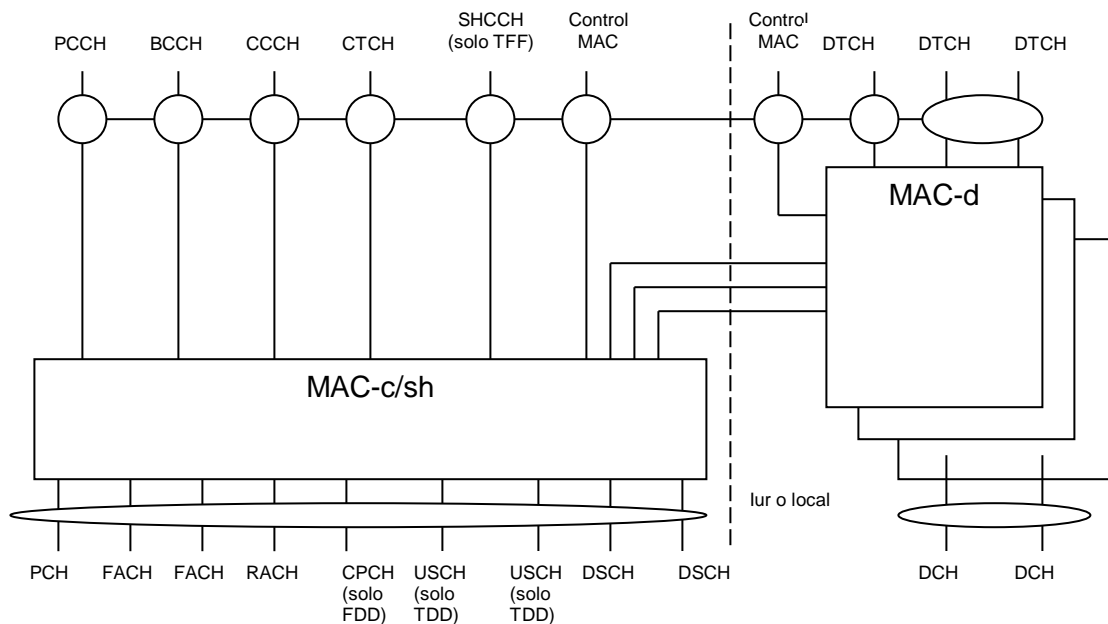


Figura 2.8. Entidades MAC-c/sh y MAC-d lado UTRAN

En la Figura 2.9 se presenta la entidad MAC-b desde el punto de vista del UE y la UTRAN.

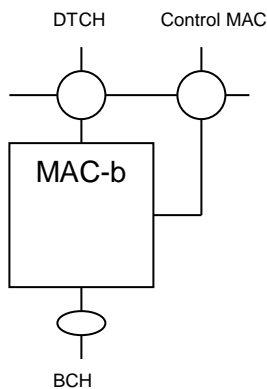


Figura 2.9. Entidad MAC-b

Cada una de estas tres entidades es accedida desde la capa RLC usando los canales lógicos e intercambian los datos con la capa física mediante los canales de transporte. Esta subcapa está conectada a la capa RRC mediante los SAPs de control. Estos puntos de acceso al servicio son utilizados por la capa RRC para configurar la MAC para los procedimientos de transferencia de datos y medidas.

Las funciones exactas que realizan las diferentes entidades son ligeramente diferentes en el UE que en la UTRAN.

#### **2.4.2. Servicios del subnivel MAC**

Los servicios que ofrece la capa MAC a las superiores son los siguientes:

##### Servicios proporcionados a través de los SAPs de control

- ✓ Reasignación de recursos radio y parámetros MAC. Realiza la reasignación de los recursos radio y cambios de los parámetros de la MAC a petición de la capa RRC (cambio de la identidad del UE, cambio del formato de transporte, tipo de canal de transporte).
- ✓ Informe de medidas. Medidas locales como el volumen de tráfico y la calidad son reportados a la capa RRC para la gestión de los recursos radio.

##### Servicios proporcionados a través de los SAPs de datos

- ✓ Transferencia de datos. Proporciona una transferencia de SDUs entre capas MACs de entidades parejas sin ninguna confirmación ni segmentación. Las funciones de segmentación/reensamblado deben ser llevadas a cabo por las capas superiores. La capa MAC ofrece estos servicios a las capas superiores a través de los canales lógicos. Cada tipo de canal lógico se define en función del tipo de información que transfieren. Se definen dos tipos de canales lógicos en función de los servicios de transferencia de datos que se ofrecen. Los canales lógicos se clasifican en canales de control y tráfico.

Los canales de control para la transferencia de información en el plano de control son los siguientes:

- ◆ Broadcast Control Channel (BCCH). Es un canal descendente que difunde todos los mensajes de información del sistema (excepto el 14 que se utiliza sólo en el modo TDD). En los mensajes de información del sistema se transmiten todos los parámetros del mismo como la identidad de la red y de la celda, la máxima potencia para acceder al sistema, información de la frecuencia, etc.
- ◆ Paging Control Channel (PCCH). Es un canal descendente que transfiere información de paging. Este canal lo utiliza la red para alcanzar uno o varios UEs

cuando no conoce su localización o bien se encuentra en los estados Cell\_FACH y URA\_PCH del modo conectado.

- ◆ Common Control Channel (CCCH). Canal bidireccional para la transmisión de información de control entre la red y los UEs. Se utiliza para enviar mensajes de peticiones de conexiones RRC y de actualización de URA (Unidad Remota Autónoma) y celda. El móvil lo utiliza siempre que no es conocido por la red o por la celda.
- ◆ Dedicated Control Channel (DCCH). Canal bidireccional que transmite información de señalización dedicada de control entre un UE y la red. Este canal se utiliza después de establecer una conexión RRC (el móvil ha recibido una identificación temporal). Se utiliza en procedimientos de handovers inter-frecuencia, pagings dedicados, actualización del active-set y control y reporte de medidas.
- ◆ Shared Channel Control Channel (SHCCH). Canal bidireccional que transmite información de control para los canales compartidos en el UL y DL entre la red y los UEs. Este canal es sólo para el modo TDD.

Los canales de tráfico para la transferencia de información en el plano de usuario son los siguientes:

- ◆ Dedicated Traffic Channel (DTCH). Canal punto-punto dedicado UL/DL para la transferencia de información de usuario (voz, datos por conmutación de circuitos o paquetes) entre un UE y la red.
- ◆ Common Traffic Channel (CTCH). Es un canal unidireccional punto-multipunto para la transferencia de información para todos o un grupo de UE específicos. Se utiliza para transmitir los mensajes BMC (servicios ofrecidos por el operador como la información del tiempo, tráfico, localización, etc.).

### **2.4.3. Funciones del subnivel MAC**

Puede dividirse las funciones de la capa MAC en dos tipos: las relacionadas con el formateo de los datos y aquellas relacionadas con procesos específicos de la misma como la monitorización del volumen de tráfico y el procedimiento de acceso.

#### Funciones relacionadas con el formateo de los datos

- ◆ Mapeado entre los canales lógicos y canales de transporte.

En la Tabla 2.1 siguiente se muestra el mapeado entre los canales lógicos y de transporte.

Canal	Conectado a
BCCH	BCH, puede al FACH
PCCH	PCH
CCCH	RACH y FACH
SHCCH	RACH, USCH/FACH y DSCH
DTCH	RACH y FACH, CPCH y FACH, RACH y DSCH, DCH t DSCH, o DCH y DCH
CTCH	FACH
DCCH	RACH y FACH, CPCH y FACH, RACH y DSCH, DCH y DSCH, o DCH y DCH

Tabla 2.1. Relación canales lógico y canales de transporte

- ◆ Selección del formato de transporte adecuado del conjunto de combinaciones (TFCS) para cada canal de transporte dependiendo de su velocidad instantánea.
- ◆ Manejo de la prioridad entre flujos de datos de un UE. Las prioridades vienen dadas por los atributos de los servicios de las portadoras radio y por el estado del buffer del RLC. Se consigue seleccionando formatos de transporte en los que datos de alta prioridad se mapean en la capa física en un formato de alta velocidad mientras que para datos de baja prioridad se utilizan formatos de baja velocidad.
- ◆ Manejo de la prioridad entre terminales móviles utilizando una programación dinámica. Puede utilizarse una programación dinámica para los canales comunes y compartidos FACH y DSCH. Para los canales dedicados esta función se incluye como una parte de la función de reconfiguración de la capa RRC.
- ◆ Identificación de los terminales móviles en los canales comunes de transporte. Cuando un canal de transporte FACH, RACH o CPCH transporta datos de canales lógicos dedicados es necesario identificar a los UEs lo que se consigue mediante el C-RNTI<sup>20</sup> (Control RNTI) o el U-RNTI (User RNTI) en la cabecera de las MAC-PDUs (campos UE-id y UE-type).
- ◆ Multiplexación/Demultiplexación de PDUs de las capas superiores en/desde bloques de transporte entregados a/desde la capa física en los canales comunes de transporte. La capa MAC maneja la multiplexación de servicios para los canales comunes RACH/FACH/CPCH. Esto es necesario ya que la capa física no puede llevar a cabo esta multiplexación. Se consigue mediante el campo C/T y TCTF de la cabecera.

<sup>20</sup> RNTI (Radio Network Temporal Identity): Identidad Temporal de la Red Radio

- ◆ Conmutación dinámica entre canales de transporte. A partir de la decisión tomada por la capa RRC conmuta entre canales comunes y dedicados de transporte.
- ◆ Cifrado. Si un canal lógico está utilizando el modo transparente RLC el cifrado se realiza en la subcapa MAC (entidad MAC-d). La unidad de datos que es cifrada es la MAC SDU. El algoritmo de cifrado y la clave es configurado por la capa RRC.

#### Funciones relacionadas con los procedimientos de la MAC

- ◆ Monitorización del volumen de tráfico. La capa MAC mide el volumen de tráfico de información y reporta el resultado a la capa RRC. Para ello compara la cantidad de datos correspondiente a un canal de transporte con los umbrales establecidos por la capa RRC y si es demasiado alto o bajo envía el reporte a la capa RRC. Estos reportes pueden ser enviados periódicamente a petición de la capa RRC.
- ◆ Control de las transmisiones en el RACH. La capa MAC se encarga de las retransmisiones en el RACH basadas en el TTI (a nivel de trama radio están controladas por la capa física). Se encarga también de seleccionar la clase de servicio de acceso ASC para proporcionar diferentes prioridades en la utilización del RACH.

## **2.5. CAPA RLC (RADIO LINK CONTROL)**

### **2.5.1. Arquitectura de la capa RLC**

El protocolo de control del enlace radio (Radio Link Control, RLC) se caracteriza, principalmente, porque ofrece la funcionalidad de retransmisión ARQ (Automatic Repeat Request) para conseguir una transmisión libre de errores en el enlace lógico, así como mecanismos de segmentación y concatenación. Este protocolo se describe en [TS 25.322].

En la Figura 2.10 se muestra la arquitectura de la capa RLC. Está formada por tres entidades: modo transparente TM, modo sin confirmación UM y modo con confirmación AM. Puede verse esta capa como formada por dos partes: una transmisora y otra receptora que se encuentran en los planos de control y usuario. En los modos TM y UM hay una entidad transmisora y otra receptora mientras que

en la AM hay una sola entidad que es transmisora y receptora. En este último caso pueden enviarse las unidades de protocolo PDU con información de control y datos en canales lógicos separados. Los servicios que ofrece la capa RLC a las superiores se les conoce con el nombre de portadora radio (señalización o datos). La capa RLC notifica los errores irre recuperables, para lo que en todos los modos la capa física calcula el CRC y notifica al RLC el resultado de la comprobación.

### **2.5.2. Servicios y funciones del modo transparente TM de la capa RLC**

En este modo se proporciona un servicio de transferencia de datos en el que se transmiten las PDUs de las capas superiores sin añadirles ninguna cabecera. A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente Tr-SAP. Opcionalmente se proporcionan las funciones de segmentación y reensamblado que deben ser negociadas en el establecimiento del portador radio. La función de segmentación divide una RLC SDU en varias que encajan en el tamaño de las TMD PDU (Unidad de Datos del Protocolo RLC en Modo Transparente). Todas las TMD PDUs pertenecientes a una RLC SDU son enviadas en el mismo TTI y ningún segmento de otra SDU RLC es enviada. Si no se utiliza segmentación entonces pueden enviarse varias RLC SDUs en un TTI colocándolas cada una en una TMD PDU. Todas las TMD PDUs deben ser del mismo tamaño. La concatenación consiste en reensamblar todas las TMD PDUs recibidas en un mismo TTI. Las RLC PDUs son enviadas a la capa MAC a través de los canales BCCH, CCCH (sólo UL), DCCH, PCCH y SCCH en el plano de control y por el DTCH en el plano de usuario. Suele usarse este modo de funcionamiento con servicios de tipo streaming como la voz.

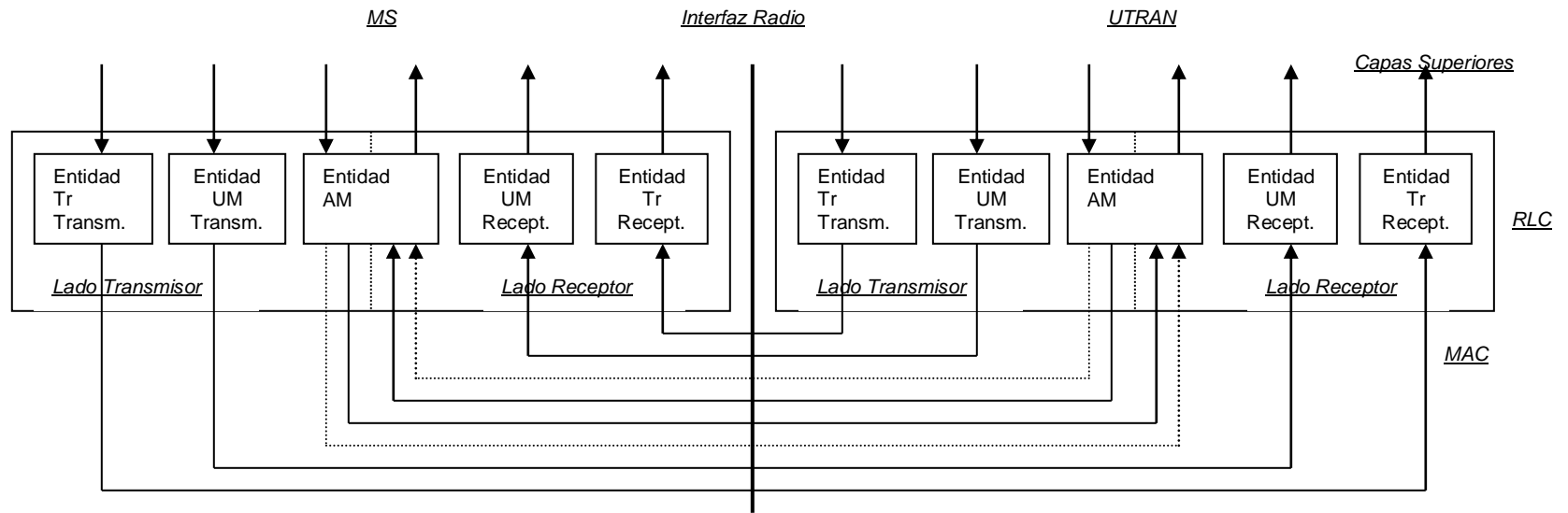


Figura 2.10. Arquitectura de la capa RLC

En este modo se realiza también la función de descarte de SDUs cuando expira un timer. En la Figura 2.11 se muestra las funciones para proporcionar este servicio.

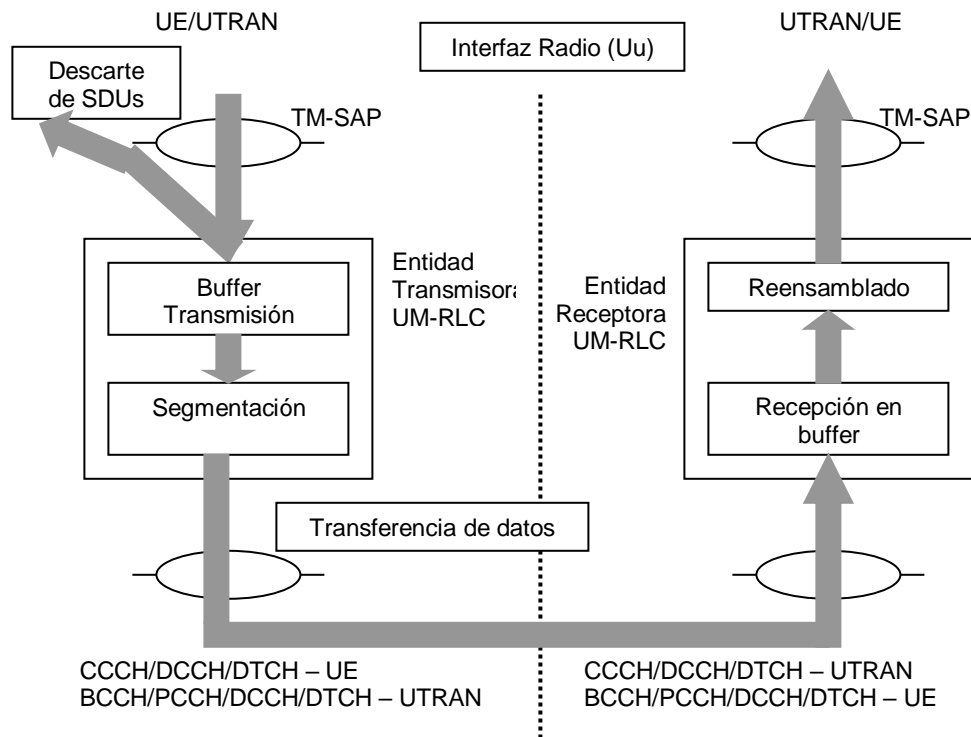


Figura 2.11. Servicios y funciones del modo transparente TM de la capa RLC

### 2.5.3. Servicios y funciones del modo sin confirmación UM de la capa RLC

A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente UM-SAP. Este servicio es similar al anterior ya que no se dispone de ningún protocolo de retransmisión por lo que la entrega de los datos no está garantizada. La función de segmentación va acompañada de otras funciones que son la concatenación y el padding. Si el tamaño de la RLC SDU no se ajusta a un número entero de UMD PDUs (Unidad de Datos del Protocolo RLC en Modo Sin Confirmación) puede concatenarse el último segmento de una PDU RLC con el primer segmento de la siguiente. Si no puede aplicarse la concatenación y el tamaño de la RLC SDU no se ajusta a la de la PDU entonces puede insertarse bits de relleno. Para proporcionar esta funcionalidad se utiliza un campo en la cabecera de la UMD PDU denominado indicador de longitud. Otra función que se aplica en este modo es la detección de errores mediante la comprobación de otro campo que se incluye en la cabecera denominado número de



secuencia. Si una PDU es errónea se descartan todas aquellas SDUs incluidas en la misma. Se proporciona también una función de cifrado y descifrado de los datos (se quita la cabecera). Las RLC PDUs son enviadas a la capa MAC a través de los canales CCCH (sólo DL), DCCH y SCCH en el plano de control y por el DTCH y CTCH en el plano de usuario. Suele usarse este modo de funcionamiento con servicios de tipo difusión en celdas y Voz/IP. En la Figura 2.12 se muestra las funciones para proporcionar este servicio.

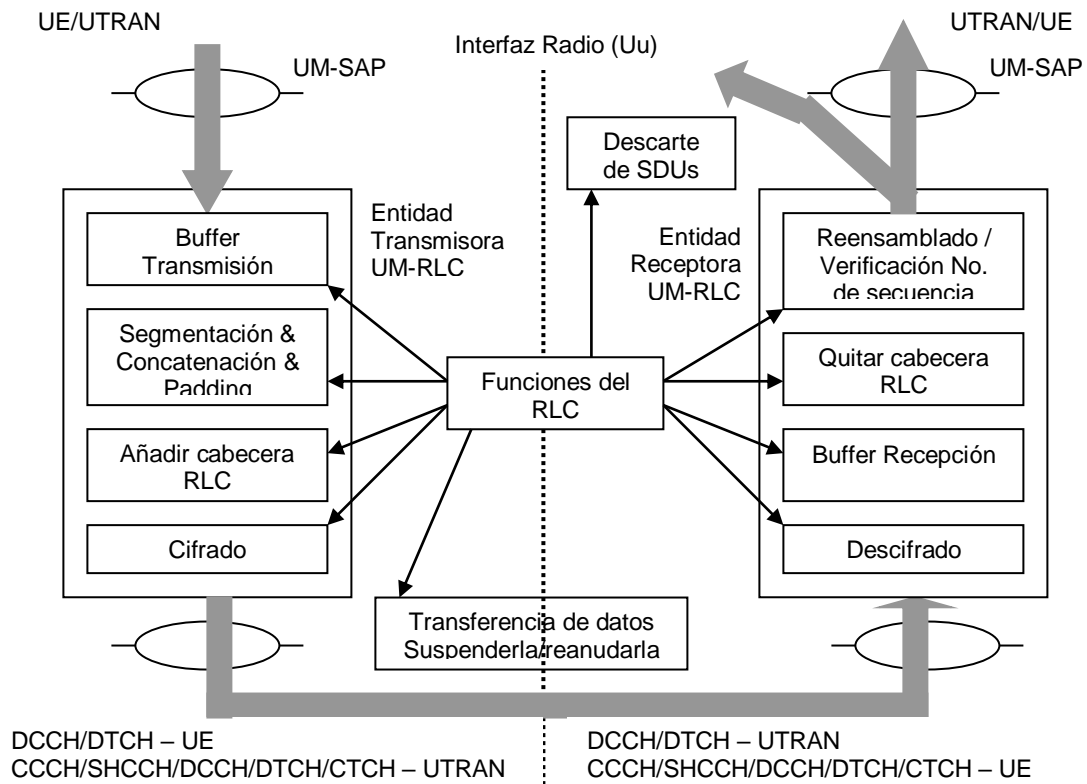


Figura 2.12. Servicios y funciones del modo transparente UM de la capa RLC

#### 2.5.4. Servicios y funciones del modo con confirmación AM de la capa RLC

A este servicio se accede a través del punto de acceso al servicio transparente AM-SAP. Utiliza un mecanismo de petición de retransmisión automática ARQ donde el número de retransmisiones es controlado por el nivel superior RRC. Si el subnivel RLC no puede asegurar la llegada correcta de los datos se le notifica al subnivel RLC del lado transmisor.

Este modo opera con unidades de carga (Payload Unit, PU) que son las mínimas unidades direccionales que pueden ser retransmitidas.

El modo de transferencia de datos con confirmación se caracteriza por:

- ◆ Reparto libre de errores mediante un esquema de retransmisión. La entidad receptora del subnivel RLC únicamente entre al nivel superior las SDUs libres de errores.
- ◆ Reparto único.
- ◆ Reparto en secuencia. Se reparten las SDUs a la entidad receptora del nivel superior manteniendo el mismo orden en el que la entidad trasmisora del nivel superior las entrega al subnivel RLC. Si esta función no se utiliza el reparto se utilizará fuera de secuencia.

El esquema de funcionamiento del subnivel RLC en el modo con confirmación se muestra en la Figura 2.13. La entidad transmisora recibe SDUs del nivel superior que segmenta en PUs y almacena en el buffer transmisor y en el buffer de retransmisión. La longitud de la PU es un valor semiestático que se negocia en el establecimiento de un servicio portador y únicamente puede modificarse en la reconfiguración del mismo en el nivel RRC. La PDU del RLC se genera a partir de una PU a la que se le añade una cabecera y se rellena con ceros hasta completar la longitud de la PDU. El campo de relleno de las PDUs de datos puede utilizarse de forma opcional para transmitir información de control sobre el estado de la PDU (STATUS PDU) a la entidad receptora del RLC, y opcionalmente un indicador de longitud para informar sobre el final de una SDU en una PU.

El multiplexador decide qué PDUs y cuando se deben repartir al subnivel MAC. Previa a su transmisión, la PDU se cifra excluyendo de la cabecera el campo de número de secuencia y el bit de petición de información de control.

La parte receptora recibe los PDUs a través de uno de los canales lógicos del subnivel MAC. Se obtienen las PUs de las PDUs, aplicando un algoritmo de descifrado y extrayendo la cabecera y la información de estado. La parte transmisora recibe confirmaciones del lado receptor que indican qué Pus se deben retransmitir o eliminar

del buffer de retransmisión. Las PUs se almacenan en el buffer receptor hasta recibir una SDU completa que posteriormente se envía al nivel superior.

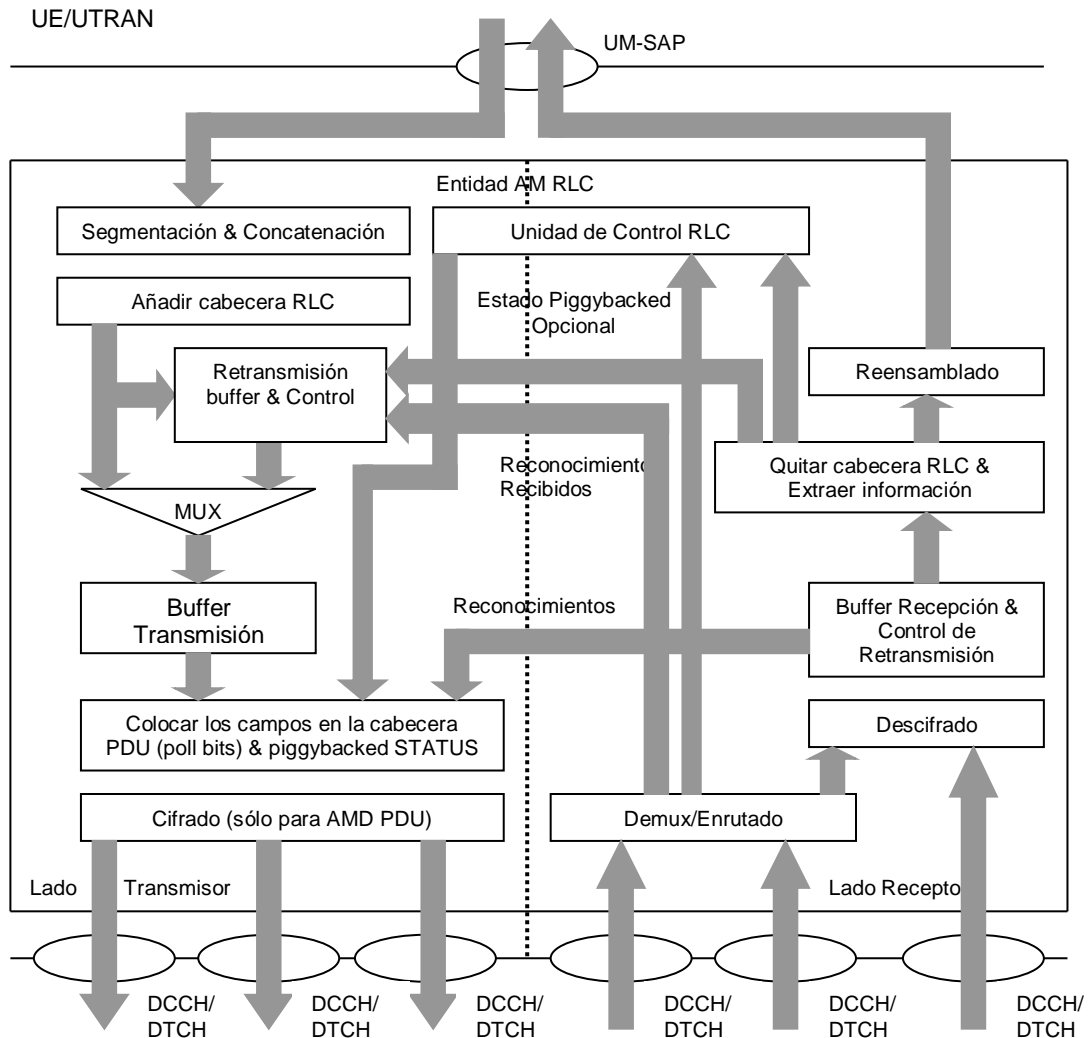


Figura 2.13. Servicios y funciones del modo transparente AM de la capa RLC

### 2.5.5. Otros servicios de la capa RLC

- ◆ Establecimiento/liberación de conexiones.
- ◆ Transferencia de datos en modo transparente.
- ◆ Transferencia de datos sin confirmación.
- ◆ Transferencia de datos con confirmación.
- ◆ Establecimiento de la calidad del servicio. El RRC configura el protocolo de retransmisión para proporcionar diferentes niveles de calidad de servicio.

- ◆ Suspensión/reanudación de transferencias de datos. Se realiza a través de los SAPs de control por el RRC y permite la suspensión/reanudación de transferencias de datos durante el procedimiento de control de la seguridad de forma que la misma llave sea utilizada por las dos entidades pares.
- ◆ Notificación al nivel superior de los errores no recuperables.

## 2.6. CAPA BMC (BROADCAST/MULTICAST CONTROL PROTOCOL)

### 2.6.1. Arquitectura de la capa BCM

En la Figura 2.14 se muestra la arquitectura de la capa BMC. El protocolo BMC existe sólo en el plano de usuario. Se localiza sobre la capa RLC pero se considera parte del nivel 2. Utiliza el servicio UM del RLC para la transferencia de los mensajes de difusión de celda (CB, Cell Broadcast). El RLC transfiere estos mensajes utilizando la combinación CTCH/FACH. Hay una entidad BMC en el UE y una en el RNC por cada celda lo que permite la programación de los mensajes de forma separada en cada una de ellas.

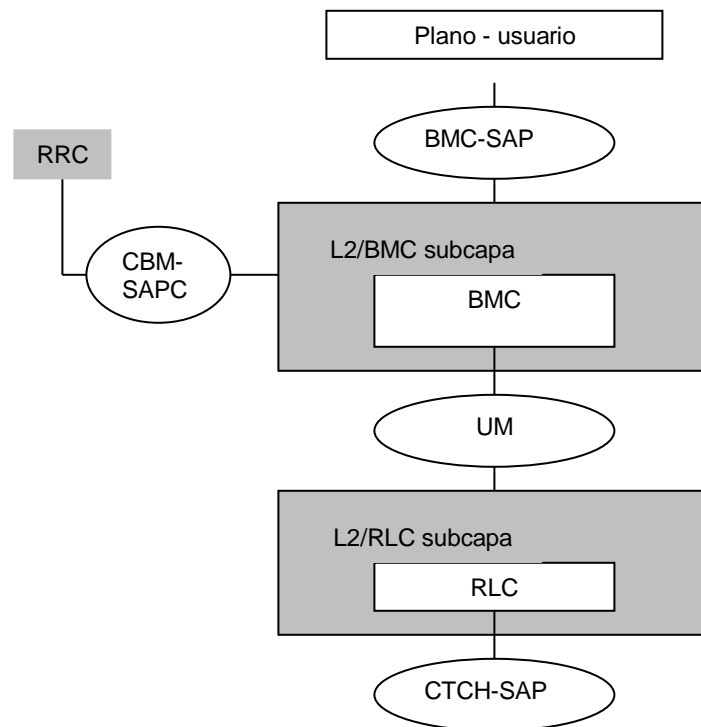


Figura 2.14. Arquitectura de la capa BMC

### **2.6.2. Servicios de la capa BMC**

La capa BMC proporciona un servicio de transmisión difusión/multicast de datos comunes en el plano de usuario de la interfaz radio en un modo sin confirmación.

### **2.6.3. Funciones de la capa BMC**

Las funciones son las siguientes:

- ◆ Almacenamiento de los mensajes de difusión en las celdas: el BMC en el RNC almacena los mensajes recibidos a través de la interfaz CBC<sup>21</sup>-RNC para su difusión programada.
- ◆ Monitorización del volumen de tráfico y petición de recursos para el CBS (Cell Broadcast Service, Servicio de Difusión de Celda): se calcula la tasa de transmisión necesaria para el CBS y realiza la petición de los recursos CTCH/FACH necesarios al RNC.
- ◆ Programación de los mensajes BMC: de acuerdo con la información de programación recibida con los mensajes en la interfaz CBC-RNC se generan mensajes de programación y la secuencia de mensajes para su transmisión. En el UE estos mensajes de programación sirven para que el RRC determine los parámetros de programación y configure las capas inferiores.
- ◆ Transmisión de los mensajes BMC al UE
- ◆ Entrega de los mensajes BMC a las capas superiores: entrega los mensajes BMC no corruptos a las capas superiores.

## **2.7. CAPA PDCP (PACKET DATA CONVERGENCE PROTOCOL)**

### **2.7.1. Arquitectura de la capa PDCP**

En la Figura 2.15 se muestra la arquitectura de la capa PDCP. El protocolo PDCP existe sólo en el plano de usuario para los servicios en modo paquete. Se encuentra especificado en el documento [TS 25.323]. El PDCP tiene acceso a los servicios en los tres modos del RLC: TM, UM y AM. Para la release 99 hay una correspondencia uno a

---

<sup>21</sup> CBC (Cell Broadcast Center). Este nodo es el encargado de difundir en la celda información de apoyo a los sistemas de localización.

uno entre los PDCP-SAPs y los RLC-SAPs. Para posteriores releases se espera incluir multiplexado de las portadoras radio. Cada entidad PDCP usa uno o varios tipos de algoritmos de compresión de cabeceras con parámetros configurables que se negocian durante el establecimiento o reconfiguración de una portadora radio por medio del SAP de control. Para la release 99 sólo se soporta el algoritmo de compresión de cabeceras de la RFC2507 [Web2507].

En general una PDCP PDU consta de una cabecera y unos datos. Estos últimos consisten en la PDCP SDU, con las cabeceras comprimidas en su caso, o bien en información de control del propio protocolo de compresión enviada en banda. En cuanto a la cabecera de las PDCP PDUs, puede no existir, puede ser de 1 octeto (indicando básicamente el tipo de compresión utilizada), o de 3 octetos (si también se incluye el número de secuencia).

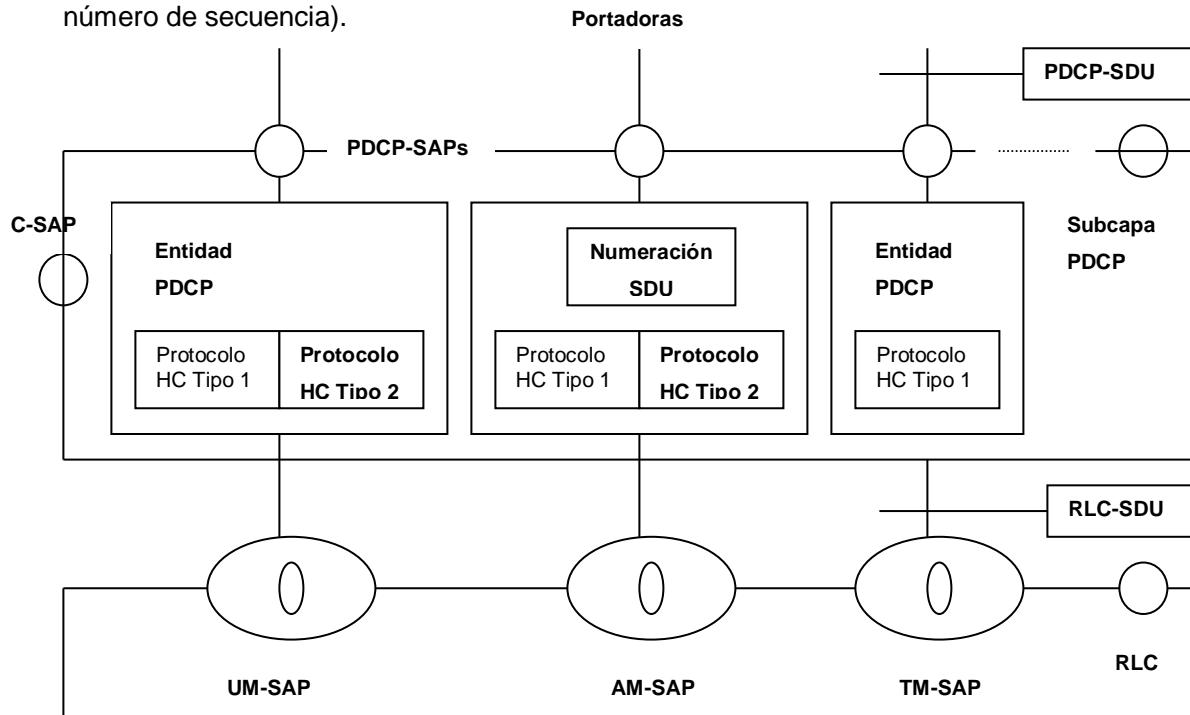


Figura 2.15. Arquitectura de la capa PDCP

### 2.7.2. Servicios de la capa PDCP

Proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario usando compresión de cabeceras para mejorar la eficiencia en el canal radio.

### **2.7.3. Funciones de la capa PCPC**

- ◆ Compresión (en emisión)/descompresión (en recepción) de cabeceras de flujos IP.
- ◆ Transferencia de datos de usuario.
- ◆ Mantenimiento de los números de secuencia PDCP para las portadoras radio que estén configuradas para soportar pérdidas en un cambio de SRNS (Serving RNS).

## **2.8. CAPA RRC (RADIO RESOURCE CONTROL)**

### **2.8.1. Arquitectura de la capa RRC**

El RRC transporta toda la señalización de las capas superiores control de movilidad (MM, Mobility Management), control de llamadas (CC, Call Control) y control de sesiones (SM, Session Management); así como la movilidad del UE en modo conectado (handovers, medidas, etc.). En la Figura 2.16 se muestra la arquitectura de la capa RRC en el lado del UE.

Las entidades que forman parte de la arquitectura de la capa RRC son:

- ◆ Entidad Funcional de Enrutado (RFE, Routing Functional Entity). Asegura el enrutamiento correcto de la información desde/hacia el NAS (non Access Stratum, Estrato no ligado al acceso). De esta forma los mensajes de diferentes entidades de la capa superior o diferentes dominios de Núcleo de red son enrutadas correctamente.
- ◆ Entidad Funcional de Control de la Difusión (BCFE, Broadcast Control Functional Entity). Maneja la difusión de la información del sistema. Hay al menos una BCFE por cada celda en el RNC. Utiliza los canales lógicos BCCH y FACH a través de los SAPs transparentes.
- ◆ Entidad Funcional de Control del Paging (PNFE, Paging and Notification Functional Entity). Maneja los pagings y las notificaciones cuando los UEs se encuentran en modo idle (sin tener una conexión RRC con la red). En la UTRAN hay una PNFE por cada celda en el RNC. Usa el canal lógico PCCH a través de un SAP transparente de la capa RLC.
- ◆ Entidad Funcional de Control Dedicado (DCFE, Dedicated Control Functional Entity). Maneja todas las funciones y señalización específica de un UE cuando está en

modo conectado. En el SRNC existe una DCFE por cada UE que tiene una conexión con este RNC. Usa habitualmente el servicio AM de la capa RLC aunque algunos mensajes son enviados en modo AM (RRC Connection Release) o transparente (Cell Update, etc.).

Los servicios que ofrece el RRC a las capas superiores lo hace a través de tres tipos de SAPs: SAP de Control General (GC-SAP), SAP de Notificación (Nt-SAP) y SAP de Control dedicado (DC-SAP). El GC-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad BCFE. El Nt-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad PNFE. El DC-SAP proporciona acceso a los servicios ofrecidos por la entidad DCFE.

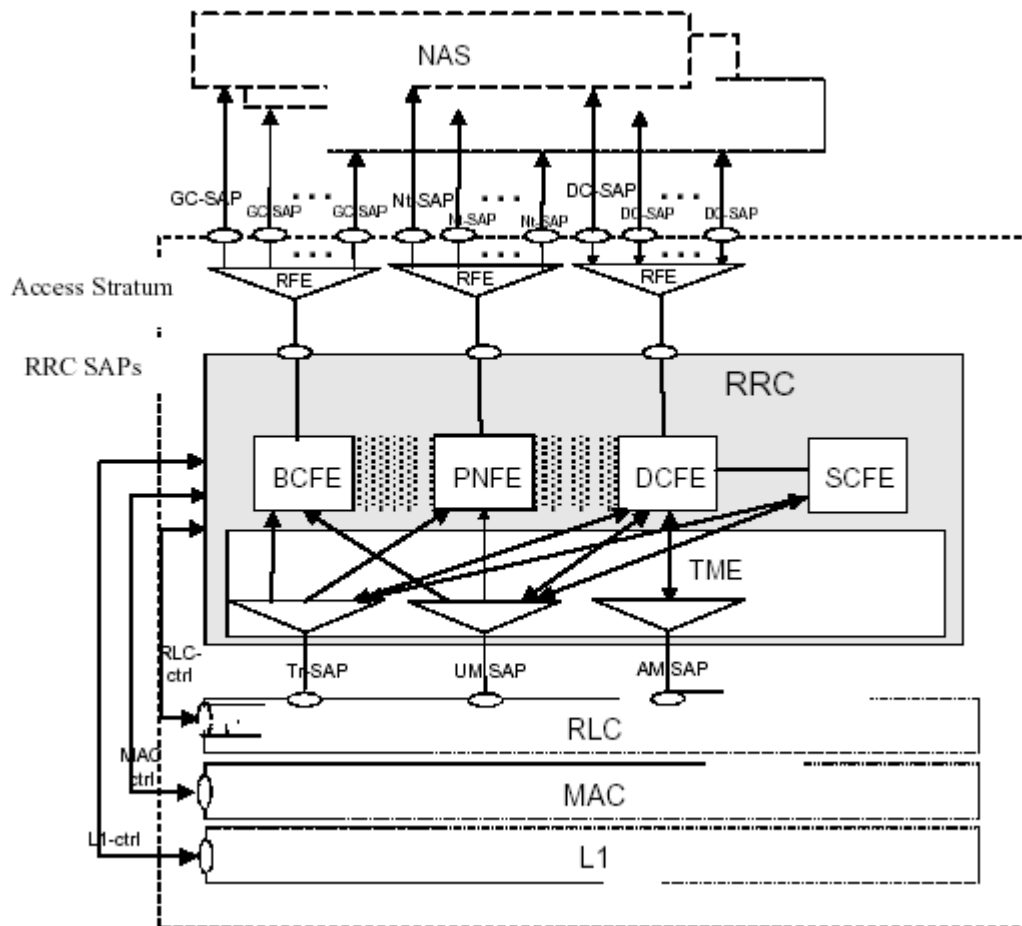


Figura 2.16. Arquitectura de la capa RRC lado UE<sup>22</sup>

<sup>22</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Radio Resource Control (RRC) protocol specification <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/25331-3f0.pdf>



### **2.8.2. Funciones de la capa RRC**

Las funciones de la capa RRC pueden agruparse en procedimientos que se clasifican en:

- ✓ Procedimientos de Control de la Conexión RRC
- ✓ Procedimientos de Control de las Portadoras Radio
- ✓ Procedimientos de Control de la Movilidad de Conexión RRC
- ✓ Procedimientos de Medida
- ✓ Procedimientos Generales

## **CAPITULO 3. CALIDAD DE SERVICIO EN UMTS**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Una de las principales aportaciones de UMTS a nivel de usuario es la gran variedad de servicios disponibles para el usuario final. Pero al mismo tiempo, las nuevas oportunidades que también se ofrecen a los operadores móviles se convierten en un desafío, pues deben proporcionar tales servicios con unos niveles de calidad aceptables extremo a extremo. Se hace necesaria la introducción de mecanismos que gestionen la calidad de servicio (QoS, Quality of Service), dada la gran variedad de servicios con requisitos diferentes, y un más que previsible aumento en la capacidad necesaria del sistema.

El concepto de QoS para UMTS ha sido recientemente estandarizado, aunque existen ciertos aspectos que están todavía siendo debatidos en el seno del 3GPP.

En los siguientes apartados se presenta la arquitectura de calidad de servicio propuesta por el 3GPP y los elementos claves en dicha estructura.

### **3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

Las características de la calidad de servicio se pueden definir en base a los siguientes enfoques:

- ◆ QoS basada en tecnología. Dentro de este apartado se incluyen los valores relativos a retardos, ancho de banda y fiabilidad. El retardo en la obtención de la información deseada, debido a la presencia de colas en el sistema y la velocidad de transmisión permitida, es el elemento más característico.
- ◆ QoS basada en la percepción del usuario. Dentro de este apartado cabe incluir: carácter más o menos crítico de la información (prioridad), calidad percibida en imágenes y sonidos, costo del servicio y seguridad de la comunicación.

- ◆ QoS basada en la gestión estática de recursos. En este nivel se comienza por la tipificación de QoS que el operador debe previamente establecer, se continúa con el control de admisión al sistema y una vez aceptado el servicio, se prosigue con la reserva de recursos que el sistema internamente debe gestionar. Finalmente, será necesaria una negociación entre el servicio demandado y el que se puede ofrecer, en la medida que lo requiera el entorno cambiante de un móvil, por ejemplo, de un escenario macrocelular a otro microcelular o picocelular.
- ◆ QoS basada en la gestión dinámica de recursos. Se incluyen en este apartado la gestión de monitorización, seguimiento de los parámetros de acceso al sistema (policing), renegociación y adaptación de éstos y sincronización entre los distintos servicios que fluyen simultáneamente en la comunicación (por ejemplo, voz y vídeo).

### **3.3. ARQUITECTURA DE CALIDAD DE SERVICIO**

Para poder proporcionar cierto nivel de calidad de servicio, debe establecerse un servicio portador entre los extremos involucrados, el cual deberá tener unas características bien definidas en términos de parámetros de tráfico y QoS, y deberá aportar un conjunto de funcionalidades adicionales que le permitan proporcionar la calidad de servicio contratada.

Estas funciones que debe incorporar son: protocolo de señalización, transporte en el plano de usuario y funciones de gestión de calidad de servicio.

En UMTS se define una arquitectura por niveles como se muestra en la Figura 3.1. En cada uno de estos niveles se definen distintos servicios portadores que ofrecen un servicio individual apoyándose, a su vez, en los servicios ofrecidos por los niveles inferiores, con el fin de proporcionar el nivel de calidad de servicio requerido. Esto puede involucrar a diferentes redes, por lo que el servicio portador extremo a extremo será una composición de los servicios que ofrecen la redes implicadas.

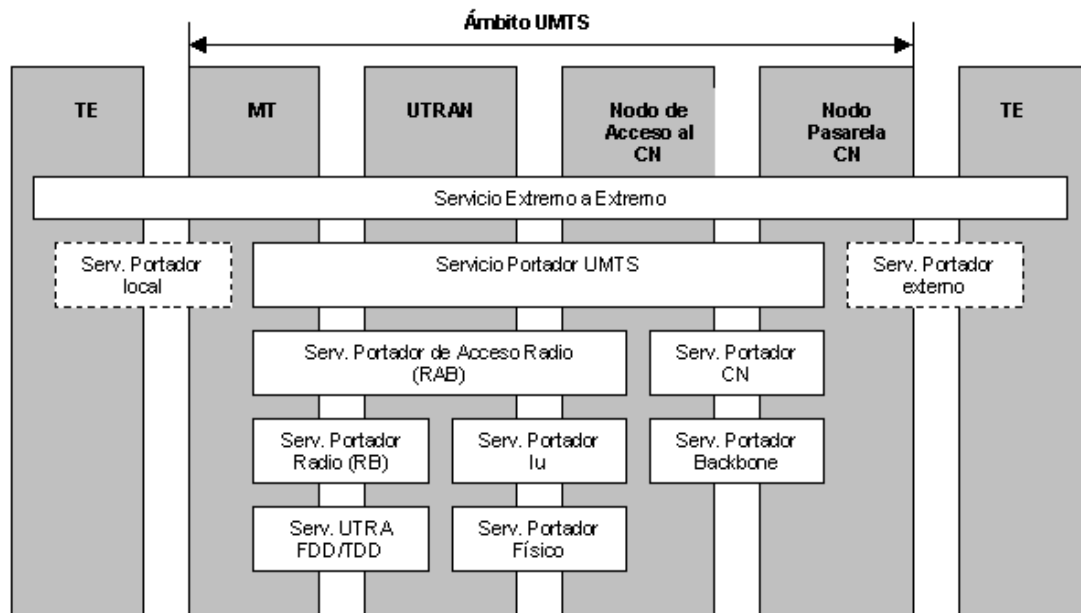


Figura 3.1. Arquitectura e QoS en UMTS<sup>23</sup>.

Nota: UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) hace referencia a la tecnología de acceso radio empleada.

En la arquitectura propuesta, el portador extremo a extremo se compone de tres elementos:

- ◆ Servicio portador local.
- ◆ Servicio portador UMTS.
- ◆ Servicio portador externo.

El servicio portador local permite la comunicación entre los diversos componentes de la estación móvil: un MT, responsable principalmente de la conexión física a la UTRAN a través de la interfaz radio, y uno o varios equipos de usuarios (TE, Terminal Equipment) entre los que se pueden encontrar computadores portátiles o móviles tradicionales. Esta primera descomposición tiene como objetivo no limitar innecesariamente los equipos terminales a emplear (ej., un computador personal) y las posibles redes destino (ej., Internet) a comunicarse. Por este motivo la especificación deja fuera del ámbito de la

<sup>23</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23107-390.pdf>

calidad de servicio de UMTS a los servicios portadores local y externo, centrándose exclusivamente en la normalización del servicio portador UMTS.

El portador UMTS se compone de un servicio portador de acceso radio (RAB, Radio Access Bearer) y de un servicio portador de núcleo de red.

El primero de ellos proporciona transporte de datos de usuario (con la QoS negociada) entre el MT (el terminal radio del usuario) y el nodo frontera del núcleo de red (un MSC o un SGSN, según se trate de una comunicación modo circuito o modo paquete) conectado a la interfaz Iu. Se basa en las características de la interfaz radio y se mantiene para un MT. Es un servicio determinante en la provisión de calidad de servicio en UMTS puesto que es en el tramo de acceso a la red donde se presentan las mayores limitaciones de recursos.

El segundo de los elementos del portador UMTS conecta la interfaz Iu con el nodo frontera a redes externas a UMTS. A su vez el portador de acceso radio hace uso de los servicios que ofrecen el portador radio (que cubre los aspectos de transporte sobre la interfaz radio) y el portador Iu (que proporciona transporte entre la UTRAN y el núcleo de red). Se debe tener en cuenta que el servicio RB no sólo incluye la interfaz aire, sino también el tramo entre el Nodo B y el RNC (por tanto contiene la interfaz Iub).

Por último, el servicio portador externo conecta el núcleo de red con el nodo destino localizado en una red externa.

Cada uno de estos servicios tendrá unos requisitos en términos de QoS que cumplir, con el fin de que el nivel de QoS global para el portador extremo a extremo satisfaga los valores acordados.

### **3.4. FUNCIONES DE GESTIÓN DE CALIDAD DE SERVICIO**

En el marco del trabajo propuesto anteriormente, se define un conjunto de funciones separadas para el plano de control y usuario cuya finalidad es la de permitir a los servicios portadores proporcionar el nivel de QoS deseado. A continuación se describen brevemente las funciones principales propuestas por el 3GPP.

### 3.4.1. Elementos funcionales de gestión en el plano de control.

Las funciones de gestión de la calidad de servicio en el plano de control mantienen información de la red para asignación de recursos, y controlan dichos recursos para mantener el servicio portador [Her00-b].

- ◆ **Gestor de servicio.** Coordina las funciones de establecimiento, modificación y mantenimiento del servicio del que es responsable. Además proporciona todas las funciones de gestión de calidad de servicio del plano de usuario con sus atributos relevantes. Puede realizar traducción de atributos para la petición de servicios de niveles inferiores.
- ◆ **Traductor.** Convierte las primitivas internas del servicio portador UMTS en los diversos protocolos para el control de este servicio a través de interfaces externas, y viceversa.
- ◆ **Control de admisión.** Mantiene información sobre todos los recursos disponibles en la entidad de red en que se encuentra y sobre todos los recursos asignados a servicios portadores UMTS. Para cada petición de establecimiento o modificación, determina si la entidad en cuestión puede ofrecer los recursos requeridos y si los hay los asigna al servicio portador que los solicita. Sólo los gestores de portador UMTS y RAB pueden interactuar con el control de admisión. Este elemento también comprueba que el servicio específico está implementado y no bloqueado por razones administrativas.
- ◆ **Control de suscripción.** Comprueba que el usuario del servicio portador UMTS tiene derechos administrativos para usar el servicio solicitado con los atributos de QoS facilitados.

En la Figura 3.2 se muestra los elementos funcionales que se han descrito y cómo se interrelacionan entre ellos.

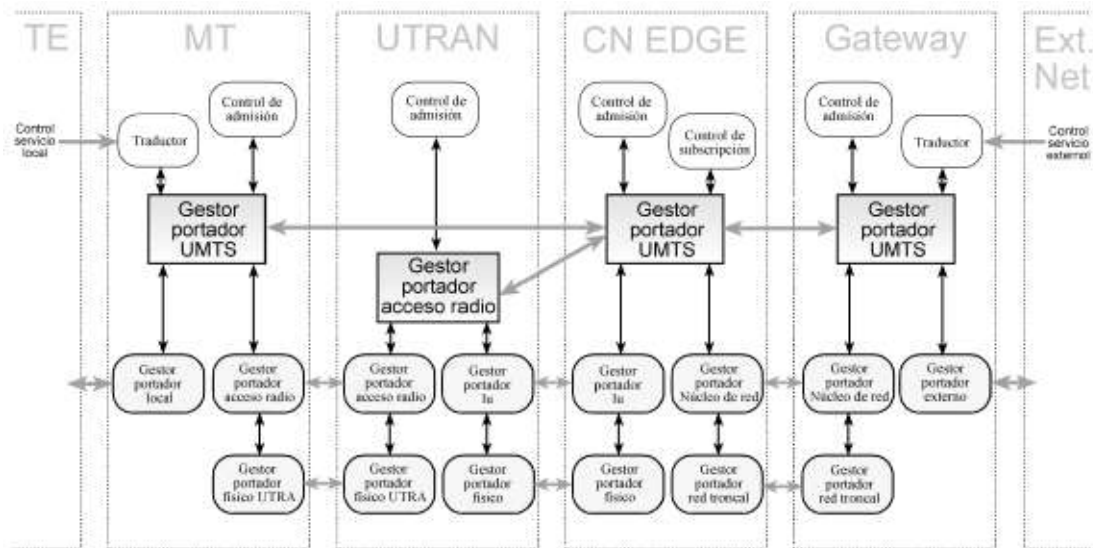


Figura 3.2 Funciones de gestión de calidad de servicio en el plano de control<sup>24</sup>.

Los gestores del servicio portador UMTS en el MT, en el nodo frontera en la interfaz Lu del núcleo de red y en el gateway se comunican entre ellos y con entidades externas (a través del elemento traductor) para establecer o modificar un servicio portador UMTS. Cada uno de los gestores interroga al control de admisión que tienen asociado si la entidad de red puede soportar el servicio que se solicita y si hay recursos disponibles para ello. Además, el gestor localizado en el nodo frontera del núcleo de red verifica, consultando al control de suscripción, si el usuario tiene derechos administrativos para utilizar el servicio.

Después, el gestor del servicio UMTS de cada entidad traduce los atributos del servicio portador UMTS en los atributos requeridos por los servicios portadores inferiores que van a ser utilizados en el transporte y solicita dichos servicios a los gestores del servicio portador correspondiente. Así, para el establecimiento del portador de acceso radio, el gestor UMTS del nodo frontera en la interfaz Lu solicita al gestor del servicio RAB localizado en la UTRAN la utilización de un servicio portador de acceso radio con los atributos de QoS que se han traducido previamente. El gestor RAB de la UTRAN verifica, mediante el control de admisión, si la UTRAN puede soportar el servicio solicitado y si los recursos necesarios están disponibles. A continuación, traduce los

<sup>24</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23107-390.pdf>

atributos del servicio RAB en los atributos de los servicios portadores radio e lu, y solicita a los gestores inferiores correspondientes un servicio portador con esos atributos. La decisión de admisión está basada, principalmente, en la carga estimada en el sistema. Si se admite la sesión, se debe garantizar que los requisitos del servicio sean satisfechos por el sistema. Los encargados de esta función serán los gestores de recursos, que se encargarán de distribuir los recursos disponibles entre todas las sesiones aceptadas. Estos elementos trabajarían en el plano de usuario, como se explica en el siguiente apartado.

Existe también la posibilidad de que, a pesar de que no existan recursos disponibles, se pueda establecer la llamada. Pero en este caso sería necesaria la implementación de un proceso de negociación durante la fase de establecimiento del servicio portador de acceso radio (RAB). Este concepto se basaría en el hecho de que muchas de las aplicaciones que se espera sean usadas en 3G fueran capaces de trabajar con parámetros de QoS alternativos. La opción de negociar la QoS del RAB revertiría en beneficio del operador, como se menciona en la especificación [3G TR 25.946] del 3GPP, ya que en muchas ocasiones el usuario puede decidir no reintentar establecer la conexión, si las condiciones de falta de recursos persiste. Pero no todos los parámetros de QoS son negociables y, por el momento, sólo se contempla la posibilidad de negociar la velocidad máxima y la velocidad garantizada, que se explican más adelante. La posibilidad de incluir otros parámetros se encuentra todavía en fase de estudio. En este punto se introduce el concepto de perfil de QoS en la información de suscripción, donde se incluirían información relacionada con valores aceptables de QoS, en caso de que el valor preferido no pudiera ser concedido, y la prioridad del usuario. Este perfil estaría almacenado junto con la información de cada suscriptor dentro del HLR.

Puede darse la situación en que, dada la naturaleza dinámica del comportamiento de la interfaz radio y la movilidad de que disfrutan los usuarios, durante el curso de una sesión o llamada, la red no pueda proporcionar el nivel de QoS que se acordó durante la fase de establecimiento. Se introduce entonces el concepto de renegociación. El proceso de renegociación puede ser iniciado tanto por el UE como por el núcleo de red y la UTRAN. En este último caso, el gestor de recursos en la UTRAN (localizado en el RNC) informa al control de admisión de que el portador RAB debe ser renegociado. Si la fase de renegociación falla o no está implementada, se termina la llamada. En el caso



de que sea el RNC el que decida que la renegociación es necesaria, ésta afectaría en primer lugar a los RAB's con menor prioridad.

### **3.4.2. Elementos funcionales de gestión en el plano de usuario**

Las funciones de gestión de QoS en el plano de usuario mantienen el tráfico de señalización y de usuario dentro de ciertos límites, definidos por atributos de QoS específicos. Estas funciones aseguran que la QoS proporcionada está de acuerdo con la QoS negociada.

- ◆ **Asignador.** Proporciona a cada unidad de datos la marca específica necesaria para obtener la QoS pretendida en su transporte a través del servicio portador.
- ◆ **Clasificador.** Asigna las unidades de datos al servicio establecido adecuado, de acuerdo a los atributos de calidad de servicio.
- ◆ **Gestor de recursos.** Distribuye, de acuerdo al nivel de QoS requerido, los recursos disponibles entre todos los servicios que comparten los mismos recursos. Para ello utiliza funciones tales como la planificación de envíos (scheduling), la gestión del ancho de banda y el control de potencia.
- ◆ **Acondicionador de tráfico.** Permite que el tráfico enviado sea conforme con la QoS negociada. Para realizar esta función, el elemento acondicionador se apoya en una función policía y en un conformador de tráfico. La función policía compara el tráfico con los atributos de QoS relacionados. Aquellas unidades que no coincidan con los atributos pertinentes son descartadas o marcadas como no cumplidoras para, en caso de congestión, ser descartadas de forma preferente. El conformador forma las unidades de datos de modo que satisfagan el valor de QoS del servicio. El algoritmo de referencia utilizado es Token Bucket, aunque no es obligatoria su implementación.

Los elementos funcionales que intervienen en la gestión de la calidad de servicio en el plano de usuario se muestran en la Figura 3.3.

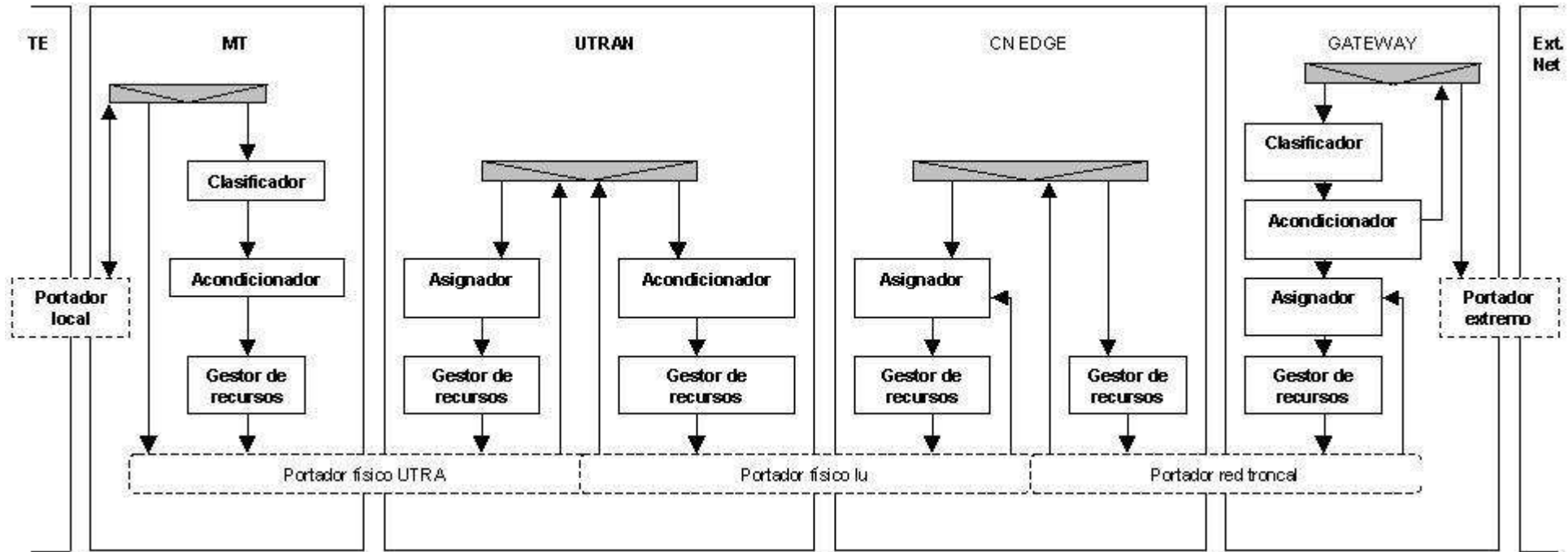


Figura 3.3. Funciones de gestión de calidad de servicio en el plano de usuario<sup>25</sup>.

Los datos que se reciben procedentes de un servicio portador externo son asignados, por el clasificador que se encuentra en el MT y el gateway, a un servicio portador UMTS de acuerdo a los requerimientos de QoS que se solicitan.

<sup>25</sup> 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23107-390.pdf>

La información que es transportada por el servicio portador UMTS debe ser conforme con los atributos negociados, por lo que debe atravesar el elemento acondicionador del MT (sentido ascendente) o del gateway (sentido descendente) para asegurar que esto sucede. Pero además, se necesita que este elemento acondicionador se encuentre localizado también en la UTRAN ya que en sentido descendente se puede dar un comportamiento a ráfagas en unidades de datos procedentes de redes externas, de modo que no se cumpla con los atributos de QoS [3G TS 23.107].

Por último, el gestor de recursos tratará de proporcionar los atributos de QoS requeridos a cada servicio portador individual. Cada gestor de recursos se responsabiliza de un recurso específico. El gestor distribuirá sus recursos entre todos los servicios portadores que solicitan la transferencia de datos sobre esos recursos.

### **3.5. CLASES DE SERVICIO**

Hay cuatro clases de QoS diferentes, cuyo parámetro diferenciador es la sensibilidad al retardo. Estas cuatro clases se denominan: clase conversacional, clase streaming, clase interactiva y clase background. En los próximos apartados se describe cada una de ellas, así como los parámetros de calidad de servicio que las definen.

#### **3.5.1. Clase conversacional**

Esta clase de tráfico corresponde a aplicaciones de audio y vídeo que involucran comunicación bidireccional entre personas en tiempo real.

Las transmisiones de este tipo se caracterizan por ser prácticamente simétricas y requerir unos retardo de transmisión extremo a extremo muy pequeños. El valor de este retardo máximo viene limitado por la percepción humana. Evaluaciones subjetivas indican que para que se pueda llevar una conversación de un modo aceptable el retardo extremo a extremo no debe ser mayor de 400 ms. El no cumplimiento de esta estricta condición implica que la calidad de la transmisión no es suficiente para cumplir el cometido de la aplicación. Ejemplos de servicios pertenecientes a esta clase son los servicios de voz, tanto telefonía como voz sobre IP (VoIP), y los servicios de videoconferencia.

### 3.5.2. Clase afluyente (streaming)

Bajo esta clase de tráfico se encuadran las aplicaciones que permiten a los usuarios la descarga bajo demanda de información multimedia con una sensación que, sin serlo, se aproxima a la de tiempo real. El incremento de la demanda de este tipo de servicios, como los de descarga de ficheros multimedia para ser vistos en tiempo real, está ocasionando que cada vez más usuarios no dispongan de capacidad de transmisión suficiente para alcanzar la calidad final mínima requerida. Por tanto, cada vez se hace más necesario arbitrar mecanismos que permitan asegurar a un usuario la calidad de transmisión necesaria para este cometido.

Las transmisiones de flujo continuo o *streaming* son aquellas en las que se transfiere información multimedia de modo unidireccional y de manera que pueda ser procesada como un flujo estable de datos.

El objetivo de las transmisiones debe ser que el programa encargado de recibir y presentar la información multimedia pueda comenzar antes de recibir toda la información que desea el usuario final. Básicamente este tipo de aplicaciones implican la transmisión de secuencias de vídeo y audio en tiempo real.

Las transmisiones son marcadamente asimétricas y ello condiciona en gran medida el diseño de las comunicaciones. Otra característica importante de este tipo de servicios es que toleran en mayor medida las variaciones del retardo de transmisión (*jitter*) que las conversacionales. Esto es gracias a que puede resultar sencillo suavizar estos cambios usando técnicas de almacenado o *buffering*.

De igual forma esta clase se caracteriza por una variación del retardo entre entidades de información dentro del flujo reducida. En cambio, el retardo de transferencia no está restringido por ningún requisito estricto [3G TS 23.107]. Es importante tener en cuenta que las exigencias en términos de variación del retardo pueden ser menos restrictivas ya que en muchos casos los terminales de usuario realizan algún tipo de alineamiento temporal en recepción que pueden hacer mayor el nivel de variación de retardo que puede considerarse aceptable, a pesar de estar por encima de los límites impuestos por la percepción humana.

### **3.5.3. Clase interactiva**

Esta categoría de tráfico engloba las aplicaciones de acceso remoto a datos en la modalidad "online", donde el usuario (o una máquina) envía peticiones hacia el equipo remoto esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido. Por lo que a requisitos de calidad se refiere, el objetivo fundamental es mantener el retardo de ida y vuelta razonablemente pequeño (sin llegar a ser tan estrictos como en los servicios conversacionales, y sin proporcionar garantías absolutas), al mismo tiempo que se garantiza una probabilidad de pérdida reducida. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son la navegación web, las consultas con bases de datos, controles de acceso, banca electrónica, etc.

### **3.5.4. Clase diferida (background)**

Esta clase se aplica a servicios en los que el usuario envía datos en modo diferido, esto es, el destino no espera esta información en un tiempo determinado. Está orientado, por tanto, a servicios insensibles al tiempo de entrega; aunque sí se exige que la información llegue sin errores. El retardo de transmisión de los datos puede ser del orden de segundos, decenas de segundos o incluso minutos. De hecho, en realidad todo el tráfico de Internet actual funciona con esta filosofía, llamada *best effort*, que quiere decir que el sistema hace lo que puede para transmitir la información con el menor retardo posible, pero sin garantizar ningún valor acotado. Aunque el retardo no es una restricción en estos casos, la fiabilidad e integridad de los datos siguen siendo un requisito necesario del sistema para estas conexiones. Ejemplos de servicios que se pueden englobar en esta clase son: envío de e-mails (correo electrónico), mensajes cortos (SMS), postales electrónicas, la descarga de bases de datos o la lectura de medidas remotas, etc.

## **3.6. ATRIBUTOS DE CALIDAD DE SERVICIO**

En este apartado se tratan los atributos definidos por el 3GPP para dos tipos de portadores: el portador UMTS y el portador de acceso radio (RAB, Radio Access Bearer). Los atributos definidos, que se describen a continuación, están todavía siendo debatidos. La inclusión de cada uno de los parámetros que se definen dependerá de la

clase de servicio de que se trate, de modo que para ciertas clases no es necesario que se especifiquen todos los atributos de acuerdo a las características que lo definen. Por tanto, un servicio portador vendrá definido por una combinación de los atributos siguientes:

- ◆ Clase de servicio. Define una de las cuatros clases de servicio.
- ◆ Velocidad máxima. Se define como el número máximo de bits entregados y recibidos en un punto de acceso (SAP) en un periodo de tiempo, dividido por la duración de este periodo. En el caso del portador UMTS, se trataría del número de bits recibidos de la red UMTS y enviados a ésta, mientras que para el portador de acceso radio se trataría de bits dirigidos hacia la UTRAN y recibidos de ésta.

En ambos casos, la conformidad del tráfico con este parámetro puede ser analizada mediante un algoritmo token bucket, donde la tasa del token es igual a la velocidad máxima y el tamaño del bucket es igual al máximo tamaño de SDU. El uso de este algoritmo no debe ser interpretado como requisito indispensable.

Este atributo puede ser utilizado para:

- 1) Limitar la velocidad de envío a aplicaciones o redes externas con limitaciones,
  - 2) Definir la velocidad máxima a la que pueden transmitir aplicaciones con capacidad de operar a distintas velocidades.
- ◆ Velocidad garantizada. Se define como el número garantizado de bits entregados a un SAP, bien por la red UMTS o por la UTRAN (según el tipo de portador del que se trate), en un periodo de tiempo, dividido por la duración de dicho periodo.

La conformidad del tráfico con este atributo también se analiza, como sucedía antes, con un algoritmo token bucket, donde la velocidad del tokens la velocidad garantizada y el tamaño del bucketes  $k$  veces el tamaño máximo de SDU. En la release1999,  $k$  vale 1; pero se ha estado valorando la posibilidad de que su valor pueda ser distinto y que pueda ser negociado mediante señalización.

Este atributo puede usarse para facilitar control de admisión basado en los recursos disponibles, y para la asignación de recursos dentro de la red UMTS (portador UMTS) o en la UTRAN (portador de acceso radio). Los requisitos de calidad sólo se aplican al tráfico entrante con una velocidad inferior o igual a la garantizada. Para el caso del

portador de acceso radio, la velocidad garantizada puede ser diferente a la del portador UMTS, por ejemplo, debido a la compresión de cabeceras.

- ◆ Orden de entrega. Indica si para el portador en cuestión (UMTS o RAB) la entrega desordenada de SDUs es aceptable o no. Se puede optar por descartar o reordenar las SDUs desordenadas, dependiendo del nivel de fiabilidad.
- ◆ Tamaño máximo de SDU. Este atributo recoge el número máximo de bytes permitidos para una SDU. Este atributo puede ser utilizado durante el control de admisión y en funciones de vigilancia.
- ◆ Información del formato de SDU. Este atributo consiste en una lista de posibles tamaños exactos de las SDUs. El objetivo es que la UTRAN exija información sobre el tamaño de la SDU para que el protocolo RLC pueda funcionar en modo transparente, ventajoso para la eficiencia espectral, y para el retardo cuando no se usa RLC con retransmisión. En el caso del portador de acceso radio, la UTRAN puede necesitar conocer la composición exacta de la SDU ya que puede llevar multiplexada información con diferentes requisitos de protección frente a errores, como es el caso del tráfico de voz, y así, de este modo, puede demultiplexarla en diferentes servicios portadores.
- ◆ Tasa de error de SDU. Indica la fracción de SDUs perdidas o detectadas como erróneas. Este parámetro sólo se define para tráfico conforme. En el caso del servicio portador de acceso radio, la tasa de errores de SDU se fija por subflujos<sup>26</sup>, y se aplica sólo a aquellos subflujos en que se solicita detección de errores. Mediante la reserva de recursos, la tasa de errores es independiente de las condiciones de carga, mientras que si no se reservan, el valor de este parámetro se toma como valor objetivo. Este parámetro se utiliza en la configuración de protocolos, algoritmos y esquemas de detección de errores, principalmente dentro de la UTRAN.
- ◆ Tasa de error de bit residual. Indica la tasa de bit erróneos no detectados en las SDUs entregadas. Para el portador de acceso radio, y al igual que en casos anteriores, este valor se especifica para cada subflujo. En el caso de que todos los subflujos tengan la misma protección frente a errores, sólo se especificará un valor. Se utiliza en la configuración de protocolos de la interfaz radio, algoritmos y códigos de detección de errores.

---

<sup>26</sup> Un subflujo se define dentro de un portador de acceso radio y corresponde a cada flujo de datos que posee características de QoS diferentes, de acuerdo a un modo predefinido para el RAB.

- ◆ Entrega de SDUs erróneas. Este atributo indica si las SDUs detectadas como erróneas deben ser entregadas o descartadas. Los valores que puede tomar, así como las acciones que se deben seguir en cada uno de los casos, se especifican a continuación:

SI: implica que se emplea detección de errores y que las SDUs erróneas son entregadas junto con una indicación de error.

NO: implica que se emplea detección de errores y que las SDUs erróneas son descartadas.

'-': implica que las SDUs son entregadas sin considerar detección de errores.

Para el servicio portador de acceso radio, este parámetro se especifica por subflujo (en el caso de que cada uno tenga un nivel de protección frente a errores distinto). En este caso, cada flujo puede tener distintas configuraciones. Si se detecta un error en un subflujo con el valor NO, la SDU entera es descartada, independientemente del valor que tenga este atributo en los demás subflujos.

- ◆ Retardo de transferencia. Representa el percentil 95 de la distribución de retardos para todas las SDUs enviadas durante el tiempo de vida del servicio portador, donde el retardo se define como el tiempo entre la petición para transmitir una SDU en un SAP y su entrega en el SAP destino. En el caso del servicio portador de acceso radio, este retardo corresponde a la parte de UTRAN del servicio portador UMTS. Se emplea para especificar el retardo tolerado por la aplicación. Este atributo permite a la UTRAN establecer los formatos de transporte y parámetros de ARQ adecuados.
- ◆ Prioridad de manejo de tráfico. Especifica la importancia relativa de todas las SDUs pertenecientes a un servicio portador en relación con las SDUs de otros servicios portadores. Este atributo es una alternativa a la garantía absoluta, por lo que no pueden usarse al mismo tiempo para un mismo portador.
- ◆ Prioridad de asignación y retención. Especifica la importancia relativa comparada con otros servicios portadores del mismo tipo, en la asignación y retención del portador. Su valor está típicamente relacionado con la suscripción. En situaciones donde los recursos son escasos, los elementos de red involucrados en el control de admisión pueden usar este atributo para priorizar aquellos portadores con mayor prioridad.



- ◆ Descriptor estadístico de fuente. En [3G TS 23.107], este atributo sólo se define para el servicio portador de acceso radio y especifica las características de la fuente emisora de SDUs. Los valores permitidos para este atributo son “speech” y “unknown”. El comportamiento estadístico bien conocido del tráfico de voz permite calcular la ganancia por multiplexación estadística que puede ser utilizada en el control de admisión en las interfaces radio e lu.

Como ya se ha comentado al principio de este apartado, no todos los atributos son aplicables a todas las clases de servicios. En la siguiente tabla se recogen los atributos que definen a cada una de las clases de servicios definidas por el 3GPP.

CLASE DE TRÁFICO	CLASE CONVERSACIONAL	CLASE AFLUENTE	CLASE INTERACTIVA	CLASE DIFERIDA
Velocidad máxima	X	X	X	X
Orden de entrega	X	X	X	X
Tamaño de SDU máximo	X	X	X	X
Información del formato SDU	X	X		
Tasa de error de SDU	X	X	X	X
VER residual	X	X	X	X
Entrega de SDUs erróneas	X	X	X	X
Retardo de transferencia	X	X		
Velocidad garantizada	X	X		
Prioridad de manejo de tráfico			X	
Asignación/retención de prioridades	X	X	X	X
Descriptor estadístico de fuente	X	X		

Tabla 3.1. Atributos definidos para cada clase de servicio.

A continuación se incluye una tabla que recoge el rango de valores permitidos para los atributos del servicio portador UMTS. Para el caso del servicio portador de acceso radio, los valores son los mismos con la excepción del retardo en la clase conversacional, cuyo valor requerido debe ser inferior a 80 ms, como valor máximo, y de que se incluye el atributo “descriptor estadístico de la fuente”. Hay que considerar también que al definirse rangos, es posible, dependiendo del servicio, imponer limitaciones más estrictas.

CLASE DE TRÁFICO	CLASE CONVERSACIONAL	CLASE AFLUENTE	CLASE INTERACTIVA	CLASE DIFERIDA
Velocidad máxima	<2.048	<2.048	<2.048 -	<2.048 -

(kbps)	Máximo alcanzado con RLC en modo transparente. El número de posibles valores está limitado	Máximo alcanzado con RLC en modo transparente. El número de posibles valores está limitado	overhead El número de posibles valores está limitado	overhead El número de posibles valores está limitado
Orden de entrega	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Tamaño de SDU máximo (octetos)	$\leq 1.500$ (ó 1.502, en el caso de utilizar PPP)	$\leq 1.500$ (ó 1.502, en el caso de utilizar PPP)	$\leq 1.500$ (ó 1.502, en el caso de utilizar PPP)	$\leq 1.500$ (ó 1.502, en el caso de utilizar PPP)
Formato de información de SDU	La definición de posibles tamaños de SDUs exactos para RLC en modo transparente es tarea de RAN WG3	La definición de posibles tamaños de SDUs exactos para RLC en modo transparente es tarea de RAN WG3		
Tasa de error de SDU	$10^{-2}$ , $7 \cdot 10^{-3}$ , $10^{-3}$ , $10^{-4}$ , $10^{-5}$	$10^{-1}$ , $10^{-2}$ , $7 \cdot 10^{-3}$ , $10^{-3}$ , $10^{-4}$ , $10^{-5}$	$10^{-3}$ , $10^{-4}$ , $10^{-5}$	$10^{-3}$ , $10^{-4}$ , $10^{-5}$
BER residual	X	X	X	X
Entrega de SDUs erróneas	X	X	X	X
Retardo de transferencia (ms)	100 – valor máximo	250 – valor máximo		
Velocidad garantizada (kbps)	$< 2.048$ Máximo alcanzado con RLC en modo transparente. El número de posibles valores está limitado	$< 2.048$ Máximo alcanzado con RLC en modo transparente. El número de posibles valores está limitado		
Prioridad de manejo de tráfico			1,2,3	
Asignación/retención de prioridades	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3

Tabla 3.2. Valores permitidos para cada atributo definido por clase de servicio.

## **CAPÍTULO 4. GESTION DE LOS RECURSOS RADIO**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Las múltiples posibilidades que brinda la tecnología de multiacceso WCDMA elegida para UMTS, requieren para su correcto y eficaz aprovechamiento el concurso de un potente sistema de gestión de los parámetros que intervienen en la capa física, como son la potencia de transmisión, la velocidad y configuración de la información. Deben armonizarse una buena eficiencia espectral con una calidad de servicio QoS (Quality of Service) adecuada para cada aplicación. Uno de los rasgos característicos de la competitividad entre los futuros operadores de sistemas móviles 3G será, sin duda, la gama de servicios ofrecidos a sus clientes junto con la calidad asociada a los mismos.

Uno de los principales objetivos de la gestión de los recursos será asegurar el mantenimiento de la calidad de servicio de extremo a extremo de una conexión, mediante el concurso de algoritmos de control del acceso de los usuarios a los servicios. Como se ha visto en el capítulo 2, UMTS dispone de protocolos del nivel 3 RRC para el control de los parámetros de acceso necesario para la obtención de la QoS demandada. La subcapa RRC tiene interacciones con la capa física, la cual le notifica el resultado de un conjunto de medidas efectuadas por los terminales móviles (niveles y calidad de señal, interferencias, etc.). Esta información es necesaria para la gestión adecuada de los recursos.

Como el control de la potencia y la distribución eficaz de este recurso son primordiales para el correcto funcionamiento del UMTS, se expone este tema con suficiente detalle. Otro aspecto característico de UMTS, y muy importante, es el relativo al traspaso, que se describe también con amplitud en el presente capítulo.

Por último, se tratan los aspectos de gestión de los usuarios y la regulación de su acceso a los recursos UMTS.

### **4.2. CONTROL DE PARÁMETROS DE RED: POTENCIA**

El control de potencia es consustancial al acceso CDMA por dos razones: como mecanismo para asegurar la calidad de un enlace y como componente básico en la gestión de los recursos radio.

#### **4.2.1. Control de potencia rápido**

El control de potencia evita el efecto cerca-lejos que se produce en cualquier enlace radio en un entorno móvil. Sin embargo, siendo CDMA un método de acceso cuya calidad la fija el nivel de interferencias generadas por otros usuarios que comparten los recursos y la banda de frecuencias asignada, la acción correcta del control de potencia adquiere un carácter crítico.

El control de potencia tiene por objeto que la calidad de un enlace, especificada mediante una relación SIR o  $E_b/N_0$  objetivo, sea independiente de las condiciones de propagación de la propia señal útil y de las interferencias. Su velocidad de actuación deber lo suficientemente alta para contrarrestar los desvanecimientos rápidos asociados básicamente a vehículos en movimiento. La interfaz aire está diseñada para hacer actualizaciones en el valor de la potencia transmitida cada 666 microsegundos o a razón de 1500 Hz. Por ello se le denomina control de potencia rápido. Su funcionamiento permite unas prestaciones satisfactorias hasta velocidades del móvil de 70-80 km/h. Para velocidades superiores el control de potencia deja de ser efectivo, por lo que para mejorar la calidad hay que recurrir a estrategias combinadas de codificación y entrelazado [Vit95]. El mecanismo de funcionamiento de control rápido de potencia pretende convertir un entorno de propagación enormemente fluctuante, típicamente de naturaleza Rayleigh (Desvanecimientos rápidos multicamino), en otro de carácter Gaussiano, al contrarrestar los desvanecimientos en la señal útil. Debe observarse que el control de potencia rápido se aplica tanto al enlace ascendente como al descendente, pero sólo a los canales dedicados en modo circuito y a los canales comunes que habilitan reserva (CPCH) en el modo paquete. En la Figura 4.1 se ilustra esquemáticamente su comportamiento para el enlace ascendente. El valor de  $\Delta$  especificado como usual es de 0.5 dB y puede ser de 1 dB, lo que permitirá en este caso la corrección de hasta 30 dB durante los 10 ms de duración de la trama.

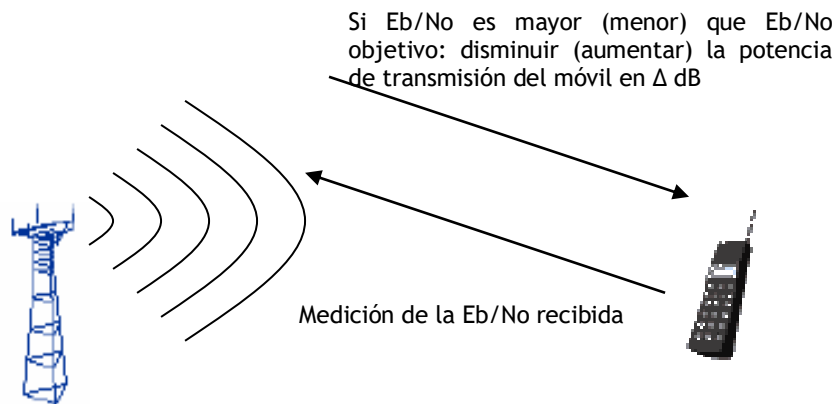


Figura 4.1. Control de potencia en UL para mantener una Eb/No objetivo

#### 4.2.2. Control de potencia lento

El control de potencia lento permite, a través de la medida de un piloto o señal en el enlace descendente, estimar el valor medio de la atenuación de propagación y, en consecuencia, utilizar este valor para intentar compensar las fluctuaciones medias en el enlace ascendente. En esencia, el control de potencia medio trata de compensar las variaciones lentas de las pérdidas por propagación.

En UTRAN el control de potencia lento se utiliza en el RACH y CPCH con anterioridad al inicio de la comunicación. A diferencia de lo que ocurre en los sistemas CDMA de 2G, como el IS-95<sup>27</sup> (Digital Cellular Standard IS-95, Estándar Digital Celular IS-95) donde el control de potencia lento se usa en conjunción con el control de potencia rápido, en UTRAN esto no es así, ya que los 30 dB de compensación de fluctuaciones de canal que se pueden alcanzar hacen innecesario el uso conjunto de ambos control de potencia.

#### 4.2.3. Influencia de la velocidad y de la diversidad

El control de potencia rápido se comporta muy bien a velocidades bajas, al hacer 1.500 actuaciones por segundo. Sin embargo, para velocidades altas, por ejemplo 120 km/h,

<sup>27</sup> Tecnología de transmisión digital que utiliza el sistema CDMA y maneja un espaciado de portadora de 1.25 MHz para servicios de voz y datos. Se conoce como DS-SS (Direct Sequence CDMA)

el efecto de estas actuaciones es prácticamente nulo, e incluso negativo, ya que los retardos asociados a la señalización del control de potencia rápido son mayores que los tiempos de coherencia del canal. La solución de aumentar la velocidad de actuación no es adecuada, ya que se traduciría en un incremento de señalización, que ya no compensaría la posible ganancia de capacidad derivada. En estas circunstancias, se debe recurrir al empleo de técnicas de codificación de canal con entrelazado [Vit95], que explotan la diversidad temporal derivada de las variaciones rápidas del canal y que consiguen en la práctica alcanzar las mismas prestaciones en términos de BER (Bit Error Rate) objetivo que las obtenidas con vehículos a baja velocidad.

#### **4.2.4. Gestión de la potencia**

En UMTS, los recursos a asignar son las potencias que cada emisor debe transmitir tanto para el enlace ascendente como descendente o, lo que es equivalente, las potencias recibidas en los extremos receptores correspondientes. Tal como se ha mencionado anteriormente, es el RRC quien se encarga de esta función, además de establecer la algorítmica necesaria para la obtención de la relación  $E_b/N_0$  objetivo para una determinada QoS. Debe resaltarse que tales procedimientos no tienen por qué estar estandarizados en UMTS, como tampoco lo están, por ejemplo los algoritmos detallados de gestión del traspaso. En este sentido, la consecución del objetivo de  $E_b/N_0$  puede efectuarse de diversos modos, según cada fabricante.

Una gestión optimizada de las potencias de transmisión de cada móvil requiere el cálculo y consiguiente asignación de los niveles de potencia a transmitir en cada enlace para cada nueva situación de usuarios o servicios demandados en la célula. Naturalmente, el cómputo anterior se complica en escenarios reales en presencia de propagación multitrayecto e interferencias provenientes de otras células. De aquí se concluye que deben elegirse diferentes estrategias de resolución para poder gestionar de modo satisfactorio los recursos radioeléctricos o potencias necesarias para un conjunto de QoS requeridas. En la práctica, esta gestión de potencias se lleva a cabo en fases separadas que corresponden, en primer lugar, al control de admisión al sistema y en segundo término, a la gestión de estrategias de asignación dinámica de recursos a los distintos enlaces aceptados (cronoejecución).

#### 4.2.5. Control de potencia externo

Como se acaba de ver, los algoritmos de gestión de potencia implantados en el RRC deciden los niveles de potencia que debe recibir la estación de base desde cada uno de los móviles con el fin de que se cumpla el criterio de Eb/No en función de los requisitos de QoS. Fijado este objetivo, a mantener en toda una trama, será el control de potencia rápido el que efectuará los ajustes necesarios para lograrlo, frente a las variaciones del canal que se produzcan durante la trama.

No obstante lo anterior, el establecimiento de un umbral de Eb/No debe entenderse de forma eminentemente dinámica, ya que un mismo valor de la Eb/No objetivo puede conducir a diferentes calidades de comunicación en función de las condiciones del canal radioeléctrico y carga del sistema. En estas circunstancias el control de potencia externo tiene como misión establecer dinámicamente el valor de Eb/No necesario para asegurar el valor previsto de calidad de la comunicación. Es decir, UTRAN es capaz de conocer los valores de calidad obtenidos y contrastarlos con los requeridos. Las posibles desviaciones se corrigen con pequeñas variaciones en el valor de la Eb/No objetivo, tal como se ilustra en la Figura 4.2. [Hol02]. A este efecto, el control de potencia externo posee una constante de tiempo mucho más grande que el control de potencia rápido. Los valores de frecuencia típicos están comprendidos en el intervalo 10 -100 Hz.

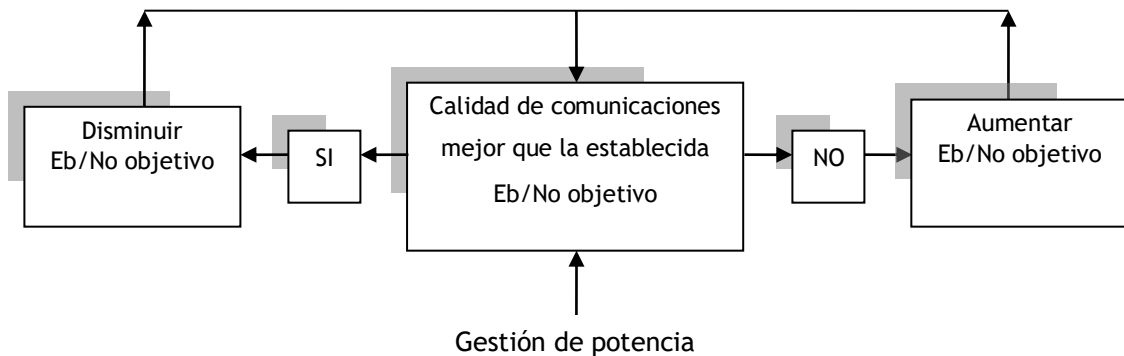


Figura 4.2. Esquema funcional del control de potencia externo

En resumen, el control de potencia externo permite corregir los desajustes que se producen entre la Eb/No necesaria para obtener una calidad determinada y la Eb/No obtenida en el proceso de gestión de potencias, respondiendo a modelos o métodos relacionados con el comportamiento real del sistema UMTS en su globalidad.

Existen diferentes maneras de medir la calidad de la comunicación para el funcionamiento del control de potencia externo. Un método simple y fiable es utilizar el resultado de la detección de errores mediante códigos de redundancia cíclica (CRC). Este método es particularmente adecuado para la transmisión de paquetes no en tiempo real y con los servicios de voz (aproximadamente un paquete cada dos segundos), donde los valores medios de aparición de errores son relativamente frecuentes.

#### **4.3. CONTROL DE PARÁMETROS DE RED: TRASPASOS**

##### **4.3.1. Necesidad del traspaso**

El diseño del mecanismo de traspaso incide directamente en la calidad (QoS) de los servicios ofrecidos, así como en el dimensionamiento de capacidad y cobertura del sistema. Los motivos que pueden activar la ejecución de un traspaso son varios, entre ellos:

- ✓ Contrarrestar el deterioro progresivo de la calidad de una conexión.
- ✓ Reducir la potencia transmitida y, consiguientemente, el nivel de interferencia en el sistema, en aras a optimizar la gestión de recursos.
- ✓ Delimitar el área de cobertura de una célula.
- ✓ Redistribuir el tráfico entre células para evitar situaciones de congestión y aumentar el grado de servicio.
- ✓ Acceder a determinados servicios que puedan ofrecerse bajo diferentes modos de operación (TDD, FDD) e incluso, en diferentes redes de acceso radio.
- ✓ Intervención del subsistema de operación y mantenimiento.

Cuando se plantea la visión de sistema ambicionada para UMTS, los aspectos a tener en cuenta en el diseño de los mecanismos de traspaso son múltiples: acceso a servicios multimedia con requisitos de calidad de servicio y cobertura global con probablemente, sistemas heterogéneos (FDD, TDD, GSM, área local, etc.) y estructuras celulares de varias capas.



### 4.3.2. Tipos de traspaso considerados en UMTS

Los tipos de traspaso considerados en UMTS pueden clasificarse en función del modo de operación del sistema y del modo de ejecución del propio mecanismo de traspaso.

#### 4.3.2.1. Modo de operación del sistema

En este caso puede distinguirse entre:

- ✓ Traspasos intramodo. Traspasos realizados entre dos portadoras FDD o bien entre dos portadoras TDD, pudiendo utilizar ambas portadoras la misma frecuencia.
- ✓ Traspasos intermodo. Traspasos realizados entre los modos de operación FDD y TDD.
- ✓ Traspasos intersistema. UMTS contempla la posibilidad de realizar traspasos entre sistemas diferentes, ya sean del tipo 3G-3G, 3G-2G o viceversa. Dichos traspasos son necesarios para proveer continuidad de servicio durante las primeras implantaciones de sistemas UMTS en áreas específicas.

#### 4.3.2.2. Modo de ejecución del traspaso.

En este caso puede distinguirse entre:

- ✓ Traspasos sin continuidad (hard handover). La conmutación al nuevo canal se hace después de haber liberado los recursos asignados al canal antiguo, de forma que no existe solapamiento temporal entre ambas conexiones (make after break). Hay una breve interrupción o falta de continuidad en la comunicación.
- ✓ Traspasos con continuidad (soft handover). El terminal móvil puede establecer conexiones simultáneas a través de varias estaciones (make before break), a diferencia de lo que ocurre en traspasos hard, donde los terminales móviles activos se encuentran conectados al sistema celular únicamente a través de una estación base. No se interrumpe la comunicación, manteniéndose la continuidad. La recepción de múltiples transmisiones simultáneas requiere el uso de técnicas de combinación de señales a fin de obtener un único flujo de información. En el caso del enlace ascendente, dicha combinación se realiza en el RNC y habitualmente la estrategia empleada consiste en un algoritmo de selección (SC, Selection Combining) en función de un parámetro de calidad insertado por las estaciones base involucradas. En el enlace descendente se recurre a una técnica de máxima ganancia (MRC, Maximal Ratio Combining) para combinar las señales provenientes

de las diferentes estaciones base. Dicha combinación se realiza aprovechando la estructura del receptor RAKE del terminal móvil. En la Figura 4.3 se ilustra la implementación del traspaso soft para los enlaces ascendente y descendente en UMTS. El Active Set es el conjunto de estaciones base que participan en el traspaso soft. Es importante destacar la gran diferencia existente entre ambos enlaces durante la ejecución de traspasos soft; mientras que en el enlace ascendente la potencia transmitida por el móvil es recibida por las dos estaciones base sin necesidad de sacrificar recursos radio (potencia), en el enlace descendente se asignan recursos adicionales en todas las estaciones base involucradas.

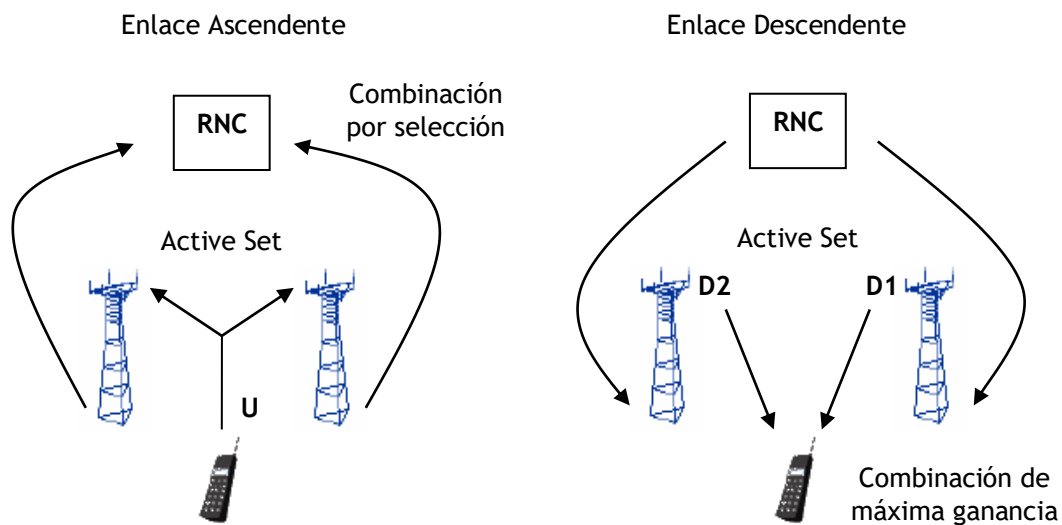


Figura 4.3. Utilización de traspasos soft en UL y DL de UMTS

- ✓ Traspasos softer. Son traspasos de tipo soft entre sectores de la misma estación. La diferencia entre los traspasos soft y softer radica en el mecanismo de combinación utilizado en el enlace ascendente. En caso de traspasos softer, las señales recibidas desde diferentes sectores de la misma estación pueden combinarse siguiendo una técnica MRC (Maximal Radio Combining), de forma similar a como se realiza en el enlace descendente.

En el modo FDD es posible la realización de los traspasos soft y softer cuando las células involucradas funcionan en la misma frecuencia. En caso de tratarse de células FDD operando a frecuencias diferentes, el traspaso realizado es de tipo hard. Este traspaso también se utiliza en el modo TDD, independientemente de las frecuencias de

las células implicadas. Los traspasos entre frecuencias diferentes son necesarios para permitir la conmutación de una comunicación entre células pertenecientes a capas diferentes en estructuras jerárquicas multicapa formadas por macro, micro y/o picocélulas.

Algunas de las ventajas de la utilización de traspasos soft son:

- ✓ Reducción del efecto conocido como party effect debido a inestabilidades del control de potencia en sistemas CDMA. El party effect provoca que, en caso de no encontrarse un terminal móvil conectado a la mejor estación de base en términos de propagación, pueda aparecer con más facilidad un efecto de realimentación positiva en el mecanismo de control de potencia [Won97], produciéndose niveles de interferencia superiores a los esperados. Dicha realimentación positiva se debe al hecho de que el aumento de potencia efectuado por un terminal para combatir las interferencias se traduce también en un aumento de potencia en los terminales colindantes, al experimentar éstos más interferencia, de forma que vuelve a ser necesario incrementar la potencia en el terminal móvil.
- ✓ Reducción del efecto ping-pong (conmutación frecuente e innecesaria del radiocanal) propio de los traspasos hard, y que se combate habitualmente con la utilización de un margen de histéresis de  $\Delta$  dB. Dicho margen implica que no se decidirá el cambio de radiocanal hasta que las condiciones de calidad hacia la estación de base destino superen en  $\Delta$  dB las correspondientes a la estación de base actual.
- ✓ Continuidad del servicio en la capa física de la interfaz radio, de forma que no se produce ninguna interrupción en la comunicación, a diferencia de los sistemas FDMA/TDMA, donde se requiere un tiempo mínimo para reconfigurar el nuevo canal resultante del traspaso.

El mecanismo de traspaso permite reducir el margen de potencia necesario para compensar el efecto de los desvanecimientos lentos propios del entorno de propagación radio, siendo dicha reducción más notable en caso de traspasos soft. Además, el traspaso soft proporciona una ganancia adicional frente a los desvanecimientos rápidos, reduciendo el valor de la relación  $E_b/N_0$  necesaria para asegurar el criterio de calidad utilizado. La consiguiente mejor utilización de la potencia supone una reducción del nivel

de interferencia, que puede ser aprovechada para aumentar el número de conexiones o bien para mejorar la calidad de las existentes.

#### **4.3.3. Traspasos y macrodiversidad**

Se denomina macrodiversidad a la recepción o transmisión de la misma información por múltiples estaciones base. Esta técnica permite aumentar la calidad del servicio aprovechando la existencia de caminos de propagación distintos que representan características de relación señal a interferencia similares. La posibilidad de implantar técnicas de macrodiversidad es una de las principales ventajas de la adopción de traspasos soft.

No obstante, la utilización de macrodiversidad se traduce en un aumento de la complejidad y de los recursos necesarios en las redes de acceso, ya que, entre otros aspectos, se necesita un mayor número de receptores RAKE<sup>28</sup> en las estaciones base y una mayor capacidad en los enlaces entre la estación base y el controlador RNC. Sin embargo, las mejoras aportadas por esta técnica en términos de capacidad y cobertura compensan dicho aumento de complejidad y recursos necesarios del sistema.

La macrodiversidad y los mecanismos de traspaso soft no son exclusivos de los sistemas CDMA, aunque su implementación resulta menos compleja que en TDMA/FDMA. En estos últimos, la posibilidad de mantener varios enlaces simultáneamente debe tener en cuenta aspectos como: realización de transmisiones y/o recepciones simultáneas a diferentes frecuencias; posibles problemas de sincronismo entre las estructuras de trama de las estaciones base involucradas; y, probablemente, reducción de la eficiencia espectral debido a una mayor utilización de los recursos. En los sistemas CDMA, la posibilidad de reutilización de las mismas frecuencias en células adyacentes, y la capacidad inherente para combatir los efectos dispersivos del canal, facilitan la adopción de los traspasos soft y la utilización de macrodiversidad mediante mecanismos de selección y/o combinación.

---

<sup>28</sup> Filtro adaptado a la señal recibida, el cual utiliza constructivamente las señales de cada componente multicamino y combina para efectuar la decisión del símbolo que se haya transmitido.

#### 4.3.4. Etapas de un procedimiento de traspaso

En la realización de un procedimiento de traspaso pueden distinguirse tres etapas o fases: realización de medidas, decisión y ejecución. A continuación se describen brevemente cada una de ellas.

##### 4.3.4.1. Fase de medidas

En el terminal móvil y en las estaciones base deben realizarse las medidas necesarias para poder decidir sobre la necesidad de realizar un traspaso. Además de la especificación del tipo de medidas necesarias, es importante tener en cuenta cómo y cuándo pueden llevarse a cabo las mediciones y también cómo se transmiten dichas medidas al proceso encargado de realizar la decisión del traspaso.

En un sistema UMTS, los parámetros a medir, proporcionados por la capa física, son [3G TS 25.215]:

- ✓ RSCP (Received Signal Code Power). Valor de la potencia recibida en un código.
- ✓ RSSI (Received Signal Strength Indicator). Valor de la potencia total medida en un canal RF.

La elección de las estaciones base que debe monitorizar el terminal se realiza a partir de la información proporcionada desde la propia red sobre los parámetros de operación de las células vecinas. Durante la realización de las medidas, el terminal móvil debe ser capaz de detectar los canales de sincronismo primario y secundario de las células candidatas, lo que permite conocer el código de aleatorización primario utilizado en cada una de ellas y dado que los canales piloto y de difusión están ensanchados por dicho código, el terminal estará en condiciones de medirlos e interpretarlos.

La elección de cuáles son los parámetros medidos que el terminal debe suministrar a la red se realiza mediante el envío de un mensaje de control de medidas desde UTRAN [3G TS 25.331]. A diferencia del sistema GSM, donde existe un canal de señalización asociado (SACCH) dedicado a transmitir periódicamente las medidas realizadas en el terminal, en UTRAN FDD se plantea la transmisión de las medidas cuando se produzcan determinadas condiciones, denominadas eventos en las especificaciones. El

mensaje de control de medidas indica cuáles son los eventos que deben notificarse y, si fuera el caso, con qué periodicidad.

Otro aspecto importante a tener en cuenta dentro de la fase de medidas tiene que ver con el efecto de las fluctuaciones características de los canales de radio. La decisión de realizar un traspaso debe basarse primordialmente en el análisis de las condiciones de propagación e interferencia a largo plazo, es decir, las que puedan afectar durante un intervalo de tiempo considerable a una conexión, pero no debería tener en cuenta fluctuaciones a corto plazo como podría ser la presencia de desvanecimientos rápidos. Debido a la necesidad de realizar medidas de las estaciones base vecinas, las medias locales deben obtenerse a partir de algoritmos de promediado de mediciones instantáneas de la potencia de la señal.

#### 4.3.4.2. Fase de decisión. Algoritmos de traspaso.

En este apartado se describen aspectos generales sobre estrategias de decisión e implicaciones del escenario de aplicación en los algoritmos de traspaso.

##### 4.3.4.2.1. Estrategias de decisión.

Tal como se ha visto en el apartado 3.4.1., los motivos que pueden llevar a la ejecución de un traspaso son varios, abarcando desde criterios propios de la calidad del enlace radio hasta la intervención del operador en actividades de mantenimiento.

Centrándose únicamente en los parámetros propios de una transmisión radio que pueden ser utilizados como criterios de decisión, pueden distinguirse entre estrategias basadas en:

- ✓ El cálculo del nivel de potencia recibido (RSSI). Se utiliza el valor de la potencia recibida de los canales piloto de las estaciones base o bien en el canal dedicado del terminal en cuestión para valorar la necesidad de efectuar un traspaso y, en caso positivo, decidir la mejor célula candidata.
- ✓ Estimadores de calidad, como pueden ser la relación señal/interferencia (SIR) y/o el cálculo de probabilidades de error (BER, BLER). Estas estrategias intentan mantener las prestaciones de calidad del enlace y tienen en cuenta la distribución de interferencias en el sistema para la asignación de las conexiones entre terminales y estaciones base.

- ✓ La definición de una distancia máxima, a partir de la cual debe realizarse un traspaso de la conexión hacia una célula más cercana.

Un algoritmo de traspaso puede incluir una o varias de las estrategias anteriores, estableciendo una prioridad entre ellas. Para implementar las diferentes estrategias suele recurrirse a mecanismos de comparación entre los parámetros de interés medidos, complementados con toda una serie de parámetros adicionales, tales como márgenes de histéresis, contadores temporales para evitar decisiones innecesarias, criterios para penalizar o favorecer el traspaso a una cierta célula, etc. La idea fundamental consiste en considerar que, aun teniendo en cuenta la aleatoriedad del canal radio, es posible disponer de información más o menos fiable que permita prever la ocurrencia de traspasos en determinadas ubicaciones de la zona de cobertura.

En líneas generales, el diseño de un algoritmo de traspaso pretende conseguir básicamente dos objetivos: mantener la calidad de servicio del sistema (probabilidad de bloqueo y pérdida de conexiones, deterioro de los enlaces) y reducir el número de traspasos innecesarios.

Otro aspecto importante a destacar en la etapa de iniciación del traspaso es la ubicación del algoritmo de decisión dentro del sistema móvil. De esta forma se distingue entre:

- ✓ NCHO (Network Controlled Handover). Cuando los procesos encargados de llevar a cabo la decisión están localizados por completo en la red de acceso, incluyendo todos los mecanismos de monitorización de potencia y calidad de los enlaces activos. La información de ocupación de los recursos de las diferentes estaciones base está centralizada en el nodo donde se va a llevar a cabo la gestión del traspaso, pudiéndose, por tanto, realizar una asignación optimizada para la conexión a traspasar. Tal nivel de centralización incide negativamente en el retardo experimentado en el procedimiento de traspaso.
- ✓ MCHO (Mobile Controlled Handover). La estación móvil es la responsable de llevar a cabo todo el control del procedimiento (tomar medidas, procesarlas, implementar el algoritmo de decisión, elegir la estación de base nueva, etc.). No obstante, a efectos de que la red pueda mantener cierto control sobre las tasas de traspaso, las decisiones tomadas en el móvil están supeditadas a una serie de parámetros de control que las estaciones base pueden difundir. La característica principal de este

tipo de traspaso esta en la rapidez con que puede llevarse a cabo la iniciación del proceso y su posterior ejecución.

- ✓ MAHO (Mobile Assisted Handover). Es una variante del traspaso controlado por la red en la que el terminal realiza medidas de calidad de su propio canal y de los pilotos de las estaciones vecinas y los trasmite a la red para que sean consideradas en el proceso de decisión. En este método se mantienen el control del proceso por la red pero se consigue una mayor descentralización y se reduce el retardo del traspaso a tiempo del orden de un segundo.

Respecto a la ubicación del punto de decisión del traspaso puede concluirse que conforme el proceso se va descentralizando, el tiempo necesario para la ejecución se reduce, pero también disminuye la información disponible para optimizar el criterio de decisión de la nueva estación de base [Tri98].

#### 4.3.4.2.2. Escenarios de aplicación.

La planificación y estructura de un sistema celular dependen, entre otras, de las características de tráfico de los servicios ofrecidos (distribución espacial, tasas binarias, calidad de servicio) y de las características de propagación de la zona de cobertura (rural, urbana, interiores de edificios). Tal situación da lugar a multitud de entornos con características completamente diferentes en cuanto a las prestaciones de los procedimientos de traspaso necesarios. En la Figura 4.4 se ilustra la posibilidad de coexistencia de varios niveles de células en una misma zona de cobertura (macro/micro/picocélulas, cobertura por satélite). Una gestión eficiente de los recursos radio pasa por ubicar las diferentes conexiones establecidas en el sistema en la capa de células más idónea, en función del servicio proporcionado y de las condiciones de movilidad de los terminales. Por tanto, el algoritmo de traspaso debe penalizar o favorecer la utilización de las diferentes capas, según se estime conveniente.



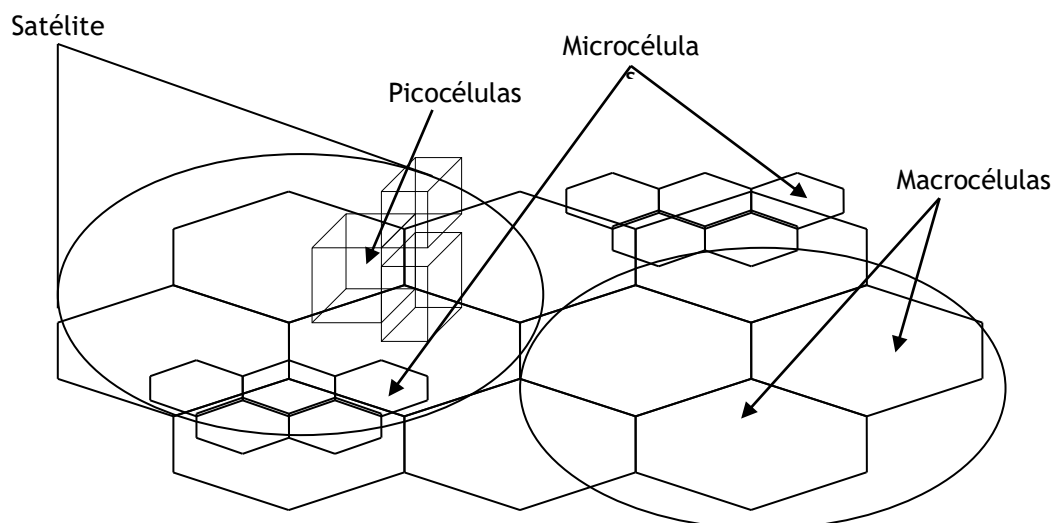


Figura 4.4. Escenario estructurado en diferentes capas de células

En un entorno macrocelular, la característica más relevante en términos de traspaso es la relativamente suave transición de potencia entre células adyacentes, de forma que las áreas de solapamiento son, por lo general, bastante amplias. La mayoría de algoritmos de traspaso propuestos en la literatura para entornos macrocelulares, tienen la peculiaridad de tolerar un cierto retardo en la fase de iniciación del traspaso, a fin de reducir el número de traspasos innecesarios.

En las microcélulas, las condiciones de propagación son muy dispares, porque dependen de las características de los edificios y calles que forman el entorno de implantación. Un problema adicional típico de los entornos microcelulares es el denominado efecto esquina (corner effect), que hace referencia al aumento brusco de la atenuación del enlace radio (20-30 dB) en distancias de pocos metros (10-20 m) debido a la pérdida de visibilidad directa con la estación de base. Las condiciones de propagación dispares en entornos microcelulares, y particularmente el citado efecto, inciden directamente en el diseño de las estrategias de traspaso. Normalmente, para caracterizar los mecanismos de traspaso se recurre a la distinción entre traspasos LOS y traspasos NLOS. En un traspaso LOS las estaciones base involucradas tienen visibilidad directa entre sí, al contrario de lo que ocurre en traspasos NLOS. Por ello, en traspasos LOS puede ser conveniente retardar el instante óptimo de ejecución del traspaso a fin de mitigar las fluctuaciones de los desvanecimientos y así evitar traspasos innecesarios. En cambio, en traspasos NLOS interesa realizar una conmutación rápida a

la nueva estación de base porque el enlace con la estación de base antigua muy probablemente no va a recuperarse [Pol96].

#### 4.3.4.3. Fase de ejecución.

Una vez completadas las fases de media y decisión debe procederse a la ejecución efectiva del traspaso de la comunicación. El modo de ejecución del traspaso puede ser del tipo hard, soft y softer.

Centrándose en la ejecución de un traspaso soft, los procedimientos especificados en UMTS para llevar a cabo su ejecución son los siguientes:

- ✓ Adición de un canal radio (FDD soft-add)
- ✓ Liberación de un canal radio (FDD soft-drop)
- ✓ Adición y liberación combinadas.

Dichos procedimientos se ordenan desde el RRC en el RNC.

#### 4.3.5. Comparación de las ganancias de traspaso

La elección del tipo de traspaso en un sistema CDMA repercute en los niveles de potencia transmitida y, por consiguiente, en el valor de potencia interferente presente en el sistema. El motivo es el diferente grado de protección que ofrece un traspaso soft respecto a uno hard frente a los desvanecimientos propios del canal radio. Dicha protección se traduce en una mejor utilización de la potencia en caso de traspasos soft y en términos de ganancia de capacidad y de cobertura.

A continuación se facilitan valores cuantitativos de la ganancia en capacidad y cobertura resultante de la utilización de traspasos soft frente a la utilización de traspasos hard. Dicha ganancia se analiza bajo dos perspectivas diferentes:

- ✓ Ganancia frente a los desvanecimientos lentos. El concepto de desvanecimiento lento trata de reflejar las condiciones irregulares de propagación propias de un entorno radio. Dichas condiciones deben tenerse en cuenta en el diseño del algoritmo de traspaso en términos de selección de la estación o estaciones base idóneas para cursar una conexión.
- ✓ Ganancia frente a los desvanecimientos rápidos. La utilización de técnicas de macrodiversidad en los traspasos soft constituye una medida adicional de protección contra las fluctuaciones rápidas del canal radio.

#### 4.3.5.1. Ganancia frente a los desvanecimientos lentos

En un sistema CDMA, donde las prestaciones dependen en gran medida de la gestión de potencia, es muy importante que la potencia transmitida por los terminales y estaciones base sea la mínima necesaria para garantizar los criterios de QoS prefijados. En el caso de que un terminal se encuentre conectado, y por tanto controlado en potencia, por una estación de base que no sea la mejor en términos de mínima potencia necesaria, el nivel de interferencia presente en el sistema es superior al que cabría en una situación óptima de asignación de terminales a estaciones. Este tipo de situaciones son más frecuentes en sistemas con traspasos hard debido a la utilización de márgenes de histéresis. El margen de histéresis retarda la decisión del traspaso y, por tanto, aumenta la probabilidad de que el terminal móvil no se encuentre controlado en potencia por la mejor estación base. En la Figura 4.5 se ilustra dicho comportamiento: el terminal permanece conectado a la estación de base BS1, y por tanto controlado en potencia por BS1, aun cuando podría reducir su potencia de transmisión en caso de acceder a través de BS2. La diferencia entre los niveles de potencia necesarios en ambas estaciones para soportar la misma conexión puede entenderse como un exceso de interferencia. En caso de utilizar traspasos soft, es muy probable que la mejor estación de base se encuentre entre las integrante del Active Set, pudiendo por tanto adecuar el nivel de potencia transmitida por el móvil.

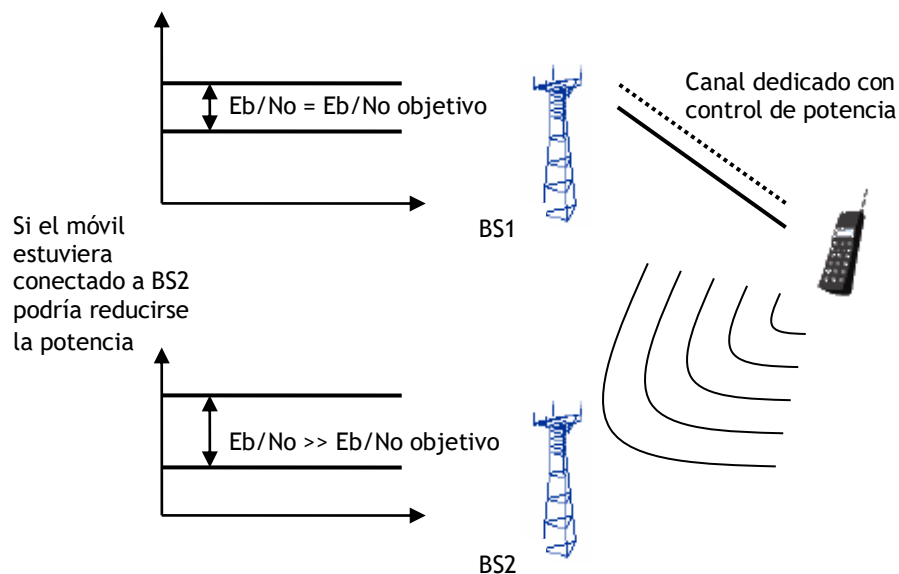


Figura 4.5. Ilustración del incremento de interferencia en caso de no encontrarse el terminal móvil conectado a la mejor estación base.

#### 4.3.5.2. Ganancia frente a los desvanecimientos rápidos

Además de la mejor gestión de potencia en un entorno celular, la utilización de técnicas de macrodiversidad durante la ejecución del traspaso también puede proporcionar un mayor grado de protección frente a los desvanecimientos rápidos en el canal de radio. Dicha protección es consecuencia de la presencia de dos o más caminos de propagación incorrelados, y puede manifestarse en una reducción de la relación  $E_b/N_0$  necesaria para cumplir los requisitos de QoS. Dicha reducción se denomina ganancia de macrodiversidad.

La ganancia de macrodiversidad depende del grado de dispersión temporal del canal y de la rapidez con que varían los desvanecimientos, así como de la utilización conjunta de otras técnicas de diversidad. Por ejemplo, la ganancia de macrodiversidad es mayor en caso de canales poco dispersivos donde la resolución del sistema CDMA puede restringirse únicamente a un solo rayo o trayecto de propagación. Si el canal proporciona un mayor número de componentes multitrayecto la mejora de macrodiversidad conseguida es menor, ya que la robustez frente a los desvanecimientos rápidos se consigue mayormente con el aprovechamiento de la diversidad multitrayecto. Valores típicos de la ganancia de macrodiversidad se sitúan entorno a los 2-3 dB cuando los valores de potencia de cada una de las componentes multitrayecto son similares. En caso contrario, la utilización de macrodiversidad puede incluso generar pérdidas [Hol02] debido a los errores producidos por la componente con peor relación  $E_b/N_0$ .

## 4.4. GESTIÓN DEL SERVICIO

### 4.4.1. Gestión del acceso en entornos multiservicio

La gestión del acceso de usuarios a la red es un tema clave, especialmente en un sistema CDMA con aplicaciones multiservicio, como ocurre en UMTS. Para estudiar esta cuestión deben considerarse los siguientes aspectos:

- ✓ Protocolo de acceso al medio (MAC). Colección de reglas que determinan los procedimientos a seguir por un grupo de terminales para acceder a un conjunto de recursos compartidos. Este acceso se puede efectuar a través de un canal

específico tipo RACH sin ningún tipo de reserva (S-ALOHA<sup>29</sup>), con reserva (ISMA<sup>30</sup> [Zdu97-Per99], PRMA<sup>31</sup> [Nand91], etc.), con mecanismos basados en minislots (DQRUMA<sup>32</sup> [Kar95], DQRAP<sup>33</sup> [Xu92-93], etc.), u otros. Trata de responder a la pregunta: ¿cómo se accede?

- ✓ Algoritmos de cronoejecución (Scheduling). Procedimientos que determinan las transmisiones que pueden ejecutarse y el orden que deben seguir para poder garantizar un cierto nivel de calidad de servicio cuando diferentes terminales hacen uso de un conjunto de recursos compartidos. Para efectuar esta cronoejecución, se debe disponer de información sobre las necesidades de transmisión registrados activos, esto es, que ya han logrado el acceso al sistema según las reglas del protocolo MAC. Trata de responder a las preguntas: ¿quién accede y cuándo accede?
- ✓ Algoritmo DCA (Dynamic Channel Allocation). Algoritmo que permite distribuir los diferentes recursos compartidos entre los terminales de modo que cada uno utilice el más conveniente en función de sus condiciones de canal e interferencia. En particular, afecta al protocolo MAC en dos aspectos: en primer lugar en la decisión del recurso al cual se accede, y en segundo lugar a las posibles reasignaciones que ocurran al evolucionar el sistema. Trata de responder a la pregunta: ¿dónde se accede? En el caso de UTRAN-FDD puede ser a diferentes portadoras de 5 MHz, mientras que en el caso de UTRAN-TDD además, podría ser a diferentes intervalos dentro de la estructura de trama.
- ✓ Esquema de control de admisión. Mecanismo que basándose en el grado de ocupación del sistema y a la calidad de servicio requerida, determina si un nuevo

---

<sup>29</sup> S-ALOHA (Slotted-ALOHA). Constituye uno de los protocolos más utilizados hasta el momento para la transmisión de paquetes por canal común, consiste únicamente en que, cuando un usuario dispone de un conjunto de paquetes para transmitir, selecciona al azar un código de entre los disponibles y transmite su información, repitiéndose este proceso para cada uno de los paquetes que se deben enviar.

<sup>30</sup> ISMA (Inhibit Sense Multiple Access). Permite que los usuarios que seleccionan un código correctamente puedan mantenerlo durante la transmisión del resto de paquetes de que consta su mensaje, gracias a la difusión que la estación base lleva a cabo del estado de dicho código como ocupado. Con este mecanismo se evita que el resto de usuarios puedan seleccionar el mismo código, lo que daría lugar a una colisión.

<sup>31</sup> PRMA (Packet Radio Multiple Access). Basado en Aloha con reservación (R-ALOHA [Lam80]), emplea la técnica de contienda en canal común, permite la transmisión de voz y datos, utiliza la naturaleza discontinua del habla y la voz tiene prioridad sobre los datos.

<sup>32</sup> DQRUMA (Distributed Queue Request Update Multiple Access). Todo el control de acceso lo ejerce de modo centralizado la estación base. De este modo, es posible que puedan modificarse sobre la marcha los criterios de asignación de recursos de transmisión a los usuarios en función de las necesidades del sistema.

<sup>33</sup> DQRAP (Distributed Queueing Random Access Protocol). Se establecen unas mini-ranuras de acceso en las que los usuarios deben indicar que disponen de información lista para ser transmitida.

terminal registrado puede o no ser aceptado por el sistema. Afecta únicamente a los nuevos usuarios, esto es, a los usuarios registrados no activos, que pasarán ser activos una vez hayan superado el control de admisión. Trata de responder a la pregunta: ¿quién puede acceder?

Las relaciones entre los diferentes aspectos asociados a los conceptos anteriores son muy grandes y se hace a menudo difícil distinguir dónde acaban unos y empiezan otros, sobre todo entre el protocolo MAC, la cronojecución y el DCA. De este modo, es preciso realizar un diseño desde una perspectiva suficientemente global que tenga en cuenta los tres conceptos. Además, estos aspectos adquieren especial relevancia en el contexto de los sistemas de 3G, ya que en los de 2G, o no intervienen en absoluto o su intervención es muy básica, puesto que no deben gestionarse entornos multiservicio con diferentes requisitos de calidad de servicio. La Figura 4.6 muestra la relación entre los diferentes conceptos indicados.

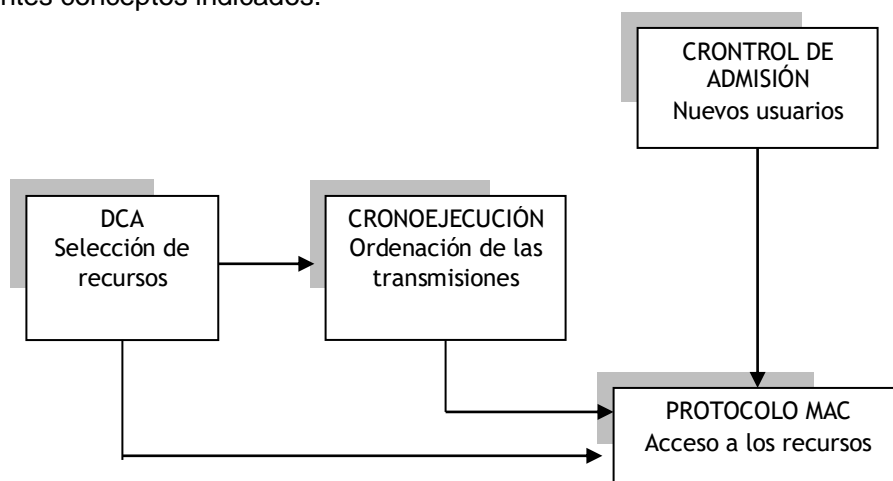


Figura 4.6. Interacciones entre los conceptos asociados al MAC

#### 4.4.2. Concepto de cronojecución

En el contexto de una red de comunicaciones en la que confluyen múltiples usuarios y servicios con diferentes características y requisitos de QoS y que deben compartir un conjunto de recursos, el concepto de cronojecución se refiere a los mecanismos que determinan las trasmisiones que pueden efectuarse, el orden que deben seguir y el formato de dichas trasmisiones para poder satisfacer la QoS contratada.

La cronoexecución de los recursos radio es una tarea complicada ya que intervienen muchos requisitos conflictivos entre sí y que deben ser ponderados antes de implantar una determinada solución. Debe diseñarse una cronoexecución a nivel radio que satisfaga tantas exigencias como sea posible al mismo tiempo, ya que es imposible diseñar una “cronoexecución óptima” que sea justa con todos los terminales de la red en todo momento. La dificultad radica en la enorme variedad de situaciones que pueden presentarse, en un entorno en que aparecen multitud de variables aleatorias e independientes entre sí, tanto en lo que se refiere al proceso de generación de tráfico como a las condiciones de propagación y operación de la red móvil.

El algoritmo de cronoexecución se encarga de garantizar la calidad de servicio en el tramo radio de la conexión. En general, el algoritmo se ubica en el **RNC**, donde dispone de medidas de los Nodos B, y puede plantearse a nivel multicelular. Los parámetros que cuantifican la QoS y que serán considerados por el algoritmo, pueden ser muy variados, siendo típicos el retardo en la transmisión, entendiendo como un valor que no debe superar en el 95% del tiempo, y la calidad de la comunicación, cuantificada a través de una determinada tasa de errores.

El concepto de cronoexecución en el contexto de las comunicaciones móviles celulares aparece con los sistemas de 3G como una gestión dinámica de los recursos a nivel de trama radio y no como una simple asignación de recursos a nivel de llamada o conexión. De hecho, el concepto de cronoexecución está íntimamente ligado con la transmisión en modo paquete, ya que cuando los recursos están compartidos por un conjunto de usuarios se hace necesario que esta concurrencia se realice de forma ordenada y eficiente al mismo tiempo.

La transmisión en modo circuito en el contexto de sistemas de comunicaciones móviles de banda estrecha reduce la cuestión de la QoS a un problema de planificación de la red, con el fin de asegurar que la relación señal a interferencia sea suficientemente buena. En el caso de los sistemas de espectro ensanchado, como UMTS, la situación debe abordarse de manera distinta, incluso para conmutación de circuitos, puesto que el nivel de interferencia del sistema viene condicionado, además de por las condiciones de propagación, por el número de usuarios simultáneos y el formato de transmisión de los mismos en un momento dado, que en último extremo está bajo el control de la

cronoejecución. Por lo tanto, la cronoejecución deberá contemplar tanto los servicios en modo circuito como en modo paquete, los primeros para controlar básicamente el nivel de interferencia que surgen y los segundos para optimizar el uso de los recursos.

#### 4.4.3. Elección del canal de transporte

La primera tarea que debe realizar la cronoejecución es la selección del canal de transporte más adecuado para cada servicio, teniendo en cuenta las restricciones en términos de retardo e integridad de la información, así como la cantidad de información y las características del tráfico generado.

Dadas las características variables del tráfico, tanto en términos de cantidad como de intensidad en el proceso de generación, pueden identificarse diversos esquemas de transmisión especialmente adecuados para transportar distintos servicios con características específicas:

- a) Canal dedicado (Figura 4.7). Se asignan recursos del sistema de manera permanente y exclusiva para el usuario, junto con un canal de señalización para el mantenimiento del enlace a nivel físico. Este tipo de canal resultará adecuado cuando la información se genere en bloques grandes y de manera continua, ya que el grado de ocupación de los recursos asignados será elevado. En definitiva, se trata de una operación en modo circuito.

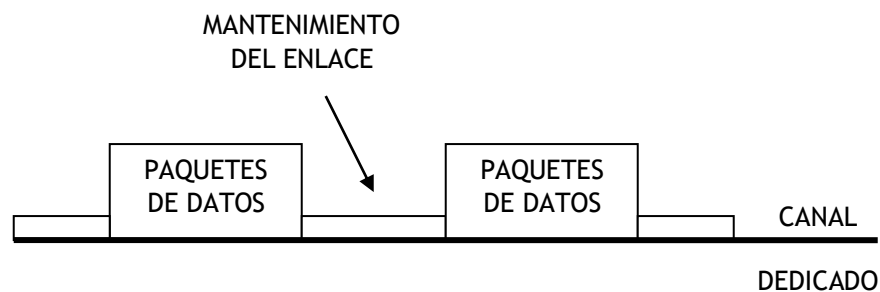


Figura 4.7. Generación de mensajes largos y frecuentes

En el modo FDD, este mecanismo se puede llevar a cabo mediante canales dedicados DCH en los enlaces ascendente y descendente. Sus principales características son: posibilidad de variar la velocidad de transmisión cada 10 ms,



incorporación de control de potencia en bucle cerrado con 1500 actualizaciones por segundo y capacidad para soportar traspaso soft.

- b) Canal común (Figura 4.8). Cuando la información a transmitir se presenta en forma de ráfagas o cuando es comparable a la carga de señalización que supone asignar y des-asignar un recurso, la alternativa más adecuada para transportar esa información es siguiendo un procedimiento aleatorio a través de canales comunes.

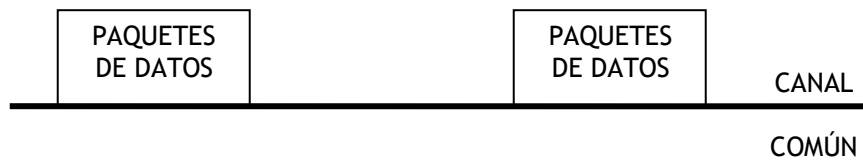


Figura 4.8. Generación de mensajes cortos e infrecuentes

En el modo FDD, este mecanismo se puede llevar a cabo mediante canales RACH en el enlace ascendente y FACH en el enlace descendente. Su característica principal es el control de potencia en bucle abierto.

- c) Canal compartido (Figura 4.9). En el caso intermedio en que la información se genere de forma infrecuente (como en el caso b) pero con volúmenes de información considerables (como en el caso a) se plantea también una solución intermedia, haciendo uso de un procedimiento de acceso con contienda inicial y posterior reserva de recursos. Ante la llegada de información para transmitir se efectuará una petición de recursos por canal común y, posteriormente, se asignará un recurso en exclusiva, dedicado.

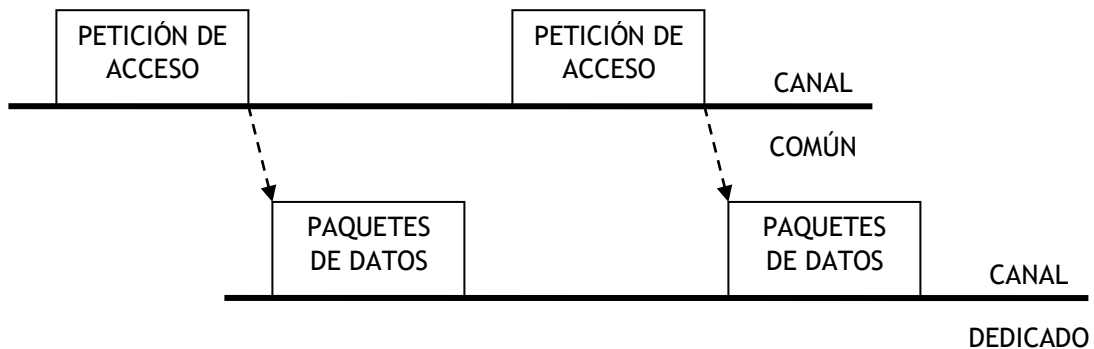


Figura 4.9. Generación de mensajes cortos e infrecuentes

En el modo FDD, este mecanismo se puede llevar a cabo mediante canales CPCH en el enlace ascendente y DSCH, o bien FACH, en el enlace descendente.

#### **4.4.4. Gestión y control de la calidad**

El algoritmo de cronoejecución en el ámbito de los sistemas de 3G es el núcleo del subnivel **RRC** de la capa de red. Una vez implantado un determinado algoritmo, su funcionamiento debe verse de forma eminentemente dinámica, tomando decisiones de reparto de la capacidad del sistema entre los diferentes usuarios a nivel de trama.

En el funcionamiento de un algoritmo de cronoejecución se identifican generalmente dos componentes esenciales: la priorización de servicios y usuarios en un primer paso, y la asignación de capacidad y formatos de transmisión a los usuarios en última instancia. Para poder implantar los distintos criterios de priorización y asignación, es necesario determinar la información que puede estar disponible en el subnivel RRC y que resulte susceptible de ser utilizada por la cronoejecución. Informaciones relevantes de un usuario a nivel de cronoejecución pueden ser el tiempo de llegada de los paquetes de información y la cantidad de información pendiente de ser transmitida. Informaciones relevantes del sistema a efectos de cronoejecución pueden ser el nivel de interferencia observado o los recursos afectados por niveles de interferencia excesivos.

Debe destacarse que el algoritmo de cronoejecución en sí queda fuera del ámbito de las especificaciones del 3GPP, y que cada suministrador ofrecerá una solución particular, dejando, a lo sumo, una serie de parámetros para una posterior optimización por parte del operador de la red.

##### **4.4.4.1. Priorización**

El algoritmo de cronoejecución debe determinar el grado de prioridad que se asigna a cada uno de los flujos de información pendientes de transmisión. La priorización se realizará en función de la monitorización de los parámetros de QoS que cada servicio tenga establecidos y de la evolución propia de cada uno de los usuarios, de manera que se asigne mayor grado de prioridad a situaciones en las que la satisfacción de los requisitos de QoS se encuentre más comprometida, dada la dinámica propia que haya adoptado el sistema en el pasado más reciente [Aky99].

La priorización se lleva a cabo, en primer lugar, entre clases de servicio y, posteriormente, entre usuarios de una misma clase de servicio. A nivel de clases de servicio debe distinguirse entre servicios tolerantes al retardo (UDD) y servicios no tolerantes al retardo (LCD). En cuanto a priorización se refiere, los servicios LCD deberán gozar de un mayor nivel de prioridad que los servicios UDD.

En cuanto a priorización de usuarios pertenecientes a una misma clase de servicio, los criterios de ordenación estarán habitualmente relacionados con el tiempo de espera de la información de usuario en cola antes de ser transmitida. Una vez definida una temporización (time o deadline), cuanto menor sea el tiempo restante hasta que el período de validez para la transmisión de la información expire, mayor deberá ser el nivel de prioridad asociado a dicho flujo.

#### 4.4.4.2. Asignación de capacidad

El resultado del proceso de priorización será una lista ordenada de usuarios con sus propiedades, que se actualizará en cada trama. El algoritmo de cronoejecución deberá tratar uno a uno a los diversos usuarios, de mayor a menor prioridad, determinando, en primer lugar, si se le permite o no transmitir en la siguiente trama y, en caso afirmativo, cuál será el formato de transmisión. Esta segunda etapa puede interpretarse como asignación de capacidad y consistirá, por tanto, en determinar el número de usuarios que van a transmitir en la siguiente trama y la ganancia de procesado que empleará cada uno de ellos.

El nivel de interferencia del sistema será el principal elemento a tener en cuenta a la hora de asignar capacidades. Puesto que el parámetro que, finalmente, determina las prestaciones de un sistema es la relación energía de bit a densidad espectral de ruido, típicamente cada usuario presentará sus requisitos de calidad en términos de Eb/No.

Uno de los aspectos característicos de los algoritmos de cronoejecución es el alto número de factores que inciden en su comportamiento, así como el elevado número de parámetros condicionados por los criterios del algoritmo de cronoejecución, produciéndose una serie de efectos cruzados y realimentaciones difíciles de discernir.

Así pues, el algoritmo de cronoejecución no se limitará a decidir si se transmite o no, sino que también definirá la ganancia de procesamiento más apropiada, según los criterios que el algoritmo establezca como más adecuados y el nivel de potencia con que se debe recibir la señal.

#### **4.4.5. Interacciones con otros aspectos de RRC**

##### **4.4.5.1. Traspaso soft**

En el caso de canales dedicados, susceptibles de funcionar con traspaso soft, el algoritmo de cronoejecución deberá tener en cuenta la mejora por diversidad, de manera que pueden relajarse los requisitos sobre la interfaz radio de un usuario en traspaso soft. Por otro lado, también influirán en el algoritmo las implicaciones, tanto a nivel de ocupación de recursos, como de interferencia generada.

##### **4.4.5.2. Control de potencia en bucle externo**

El control de potencia se orienta a la consecución de una determinada relación SIR objetivo. La cronoejecución será la principal responsable en la determinación de esta relación, que puede ir variando con el tiempo. Una vez establecido el objetivo de SIR, el control de potencia rápido (control de potencia en bucle cerrado) es el encargado de mantenerla, y para ello en los canales dedicados de UTRA se dispone de un canal de señalización de 1500 Hz (una orden de control de potencia por intervalo).

##### **4.4.5.3. Control de admisión**

La política de organización de las transmisiones tiene gran influencia sobre las prestaciones de la red de telecomunicaciones. Por lo tanto, el número de usuarios que la red es capaz de soportar garantizando una ciertas condiciones de QoS dependerá del algoritmo de cronoejecución que se haya implantado. Además, en un contexto de transmisión por paquetes con diferentes servicios y diferentes QoS, el escenario se complica ya que las situaciones de carga y de operación de la red que pueden presentarse aumenta considerablemente.

El control de admisión debería preguntarse en un momento dado si con la incorporación de un nuevo usuario al sistema se le van a poder garantizar sus requisitos de QoS al tiempo que se respeta la QoS de los usuarios ya incorporados. La respuesta podría

darse a través de una simulación previa de la red en el mayor número de situaciones posibles para determinar la región de admisión (número de usuarios de cada clase, con unos parámetros de QoS específicos, que se pueden admitir) y un posterior ajuste dinámico de la región de admisión mediante herramientas de visualización y medidas de la red real.

## **CAPITULO 5. DISEÑO DEL EMULADOR RRM**

### **5.1.INTRODUCCION**

En este capítulo se detallan todos los aspectos considerados en el diseño del esquema propuesto. Primeramente en el apartado 5.2 son mencionados los criterios considerados en la selección y propuesta de solución del esquema RRM, destacando las estrategias de solución implementadas en cada uno de los elementos o módulos que integran el RRM. Posteriormente en el apartado 5.3 se proporcionan los parámetros utilizados para evaluar la eficiencia del esquema propuesto. Continuando con el apartado 5.4 se presenta el modelo de propagación utilizado, el cual sirvió como escenario de aplicación del esquema desarrollado. En el apartado 5.5 se explica la eficiencia del RRM dada en función de la capacidad del sistema. Para el apartado 5.6 se proporciona lo relacionado a la herramienta utilizada en la generación de paquetes IP, que sirvieron como tráfico para la emulación del esquema propuesto. El apartado 5.7 se presenta un diagrama de flujo en el cual se observa de forma general la lógica de programación efectuada. Por ultimo en el apartado 5.8 se presentan los resultados de la emulación considerando los parámetros que sirvieron como base para encontrar los valores mas adecuados para un esquema más eficiente.

### **5.2.PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN**

Hoy Internet no proporciona ninguna garantía de QoS; sin embargo, esto cambiará a través de los mecanismos que proporcionan alguna forma de asignación de los recursos. En la arquitectura de UMTS, cada Estación Base (BS) tiene un módulo de gestión de recursos radio (RRM) que intenta preservar los requerimientos de QoS del tráfico a través de la Red de Acceso Radio (RAN, Radio Access Network) [Jorg01].

El papel principal de RRM (Radio Resource Management, Gestión de Recursos Radio) es asignar los recursos radio a los usuarios de acuerdo a sus requerimientos de QoS.

Como se muestra en la Figura 5.1, la misión de RRM comienza por ejecutar el Control de Admisión de Llamadas (CAC, Connection Admission Control). Puesto que la decisión esta basada en la disponibilidad de recursos, el CAC consulta al Planificador de Recursos Radio (RRS, Radio Resource Scheduler) antes de aceptar o rechazar las solicitudes de llamadas. Sobre la aceptación de la llamada, el Clasificador de Tráfico (TC, Traffic Classifier), otro componente de RRM, categoriza el tráfico de entrada según la especificación de QoS, la cual se incluye en la cabecera de cada paquete. Los flujos de datos se dirigen a sus correspondientes buffers según el campo de QoS. Cada clase de QoS esta representada por lo menos por un buffer. Finalmente, el Despachador de Tráfico (TD, Traffic Dispatcher) drena los múltiples buffers de acuerdo a cierta lógica después de conseguir la asignación de los recursos radio del RRS, el cual confía en las condiciones del canal y las peticiones de QoS de la respuesta.

Sobre la base de lo dicho, es evidente que el RRS tiene gran responsabilidad en lograr un RRM satisfactorio.

El planteamiento de solución que se propone para evaluar la QoS es el siguiente:

1. Implementar estrategias para cada uno los elementos que conforman el RRM. Estas estrategias vienen dadas mediante algoritmos de solución.

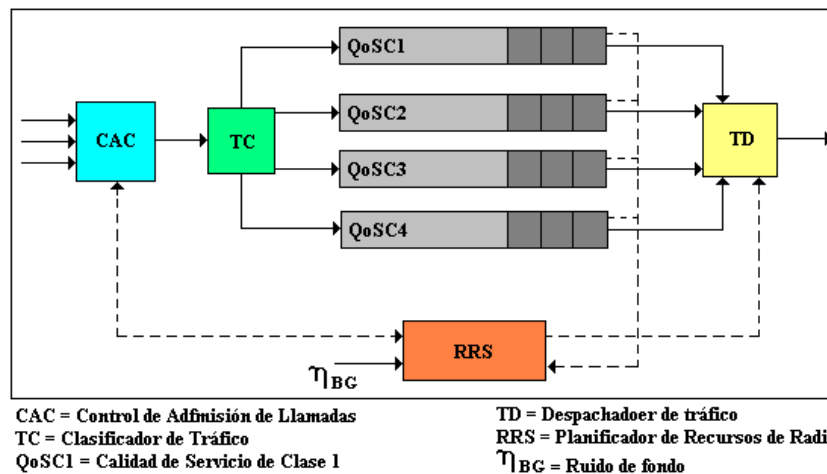


Figura 5.1. Administrador de Recursos de Radio (RRM) [Moustafa02]

2. Con un generador de paquetes IP como fuente de tráfico, obtener cuatro archivos (cada uno representando a una clase de servicio) que servirán como fuente de paquetes de datos para la emulación del esquema en MATLAB.

3. La eficiencia del sistema se evaluara en tres sentidos:

- ❖ Mantener bajo condiciones estables al RRM (esto es, fuera de congestión la mayor parte del tiempo).
- ❖ Tener una tasa de pérdida de paquetes lo más baja posible en función del retardo máximo permitido y que dependerá de la lógica implementada en el elemento Despachador de Trafico (TD, *Traffic Dispatcher*).
- ❖ Aceptar la mayor cantidad de usuarios.

Como se menciona anteriormente la solución que se plantea para el esquema RRM será mediante la implementación de estrategias para cada modulo, algunas de estas estrategias son tomadas del proyecto denominado Administración de Recursos Radio Avanzado para Servicios Inalámbricos (ARROWS, Advanced Radio Resource Management for Wíreless Services) [WebARROWS]. Estas estrategias (Control de Admisión y Control de Congestión) se refieren a un procedimiento que seguirá el esquema; cada algoritmo esta expresado en una serie de pasos y formulas. Los parámetros necesarios en las fórmulas son reportados en artículos del proyecto ARROWS y especificaciones técnicas del Proyecto de Sociedad de Tercera Generación (3GPP, Third Generation Partnership Project) [Web3GPP] organismo encargado de las especificaciones de UMTS. A continuación se describen los elementos del RRM y la estrategia considerada para cada uno de ellos.

### 5.2.1. Control de Admisión de Llamadas (CAC, Call Admission Control)

En el caso que el factor de carga en la interfaz aire sea estimado en términos estadísticos y asumiendo que se tienen  $k$  usuarios admitidos en el sistema, el usuario  $(k + 1)$  deberá verificar la siguiente condición [Sallent01].

$$(1 + f) \sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{SF_i}{v_i \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i} + 1} + (1 + f) \frac{1}{\frac{SF_{k+1}}{v_{k+1} \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{k+1}} + 1} \leq \eta_{\max}$$

Donde:

$SF_i$  = Factor de spreading del móvil i-ésimo.



$f$  = Factor  $f$  (interferencia intercelular).

$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$  = Calidad requerida en el enlace inalámbrico del móvil  $i$ -ésimo.

$v_i$  = Factor de actividad de la fuente de tráfico del móvil  $i$ -ésimo.

$r$  = Tasa de codificación.

$k$  = Número de móviles.

$\eta_{\max}$  = Umbral del control de admisión.

Dentro del IMT-2000 se ha establecido la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de Banda ancha (WCDMA, Code Division Multiple Access of Wideband) para la parte del acceso a radio como la solución a seguir. Esta técnica se basa en que todos los usuarios comparten la misma porción del espectro para acceder a la estación base. Para incrementar la cantidad de usuarios que son aceptados en un área determinada se puede hacer variar  $SF_i$  siendo este el parámetro más importante y que permite que más

usuarios puedan ser acomodados para un valor de  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$  y  $\eta_{\max}$  definidos. Sin

embargo es lógico pensar que si todos los usuarios transmiten a la misma frecuencia cada uno de ellos se convierte en una interferencia para el resto y viceversa, por esto el ruido térmico contenido en el ancho de banda se convierte en la principal restricción a la hora de entregar los paquetes a los móviles.

### 5.2.2. Clasificador de Tráfico (TC, Traffic Classifier)

Este módulo clasificará las diferentes clases de tráfico que son aceptados al RRM. El tráfico es dividido en cuatro tipos de servicios diferentes (conversacional, streaming, interactivo y background). Una vez que el tráfico (paquetes) se clasifica, es enviado a través de buffers al despachador de paquetes (Ver figura 1).

Así pues el clasificar tráfico nos da la posibilidad de diferenciar cada uno de ellos, considerando que sus características principalmente de retardo no son las mismas y poder dar prioridades al momento de despacharlos. El campo Tipo de Servicio (TOS,

Type of Service) en el encabezado de los paquetes IP es utilizado en la clasificación, este campo contiene un valor distinto para cada clase de servicio.

En la Figura 5.2 se muestra la forma en que esta compuesto el byte correspondiente al TOS.

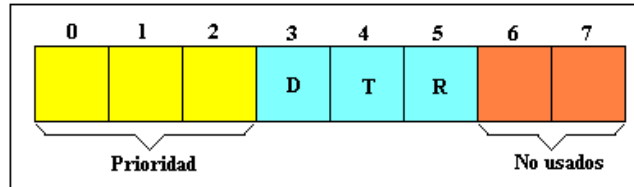


Figura 5.2. Byte TOS

- ◆ Bit 0-2 (precedencia). Nivel de prioridad del paquete. 0 (cero) indica la prioridad más baja y 7 (siete) indica la prioridad más alta.
  - 111= Network control
  - 110= Internetwork control
  - 101= CRITIC/ECP
  - 100= Flash Override
  - 011= Flash
  - 010= Immediate
  - 001= Priority
  - 000= Routine
- ◆ Bit D (Delay). Solicitud de retardos cortos (enviar rápido).
  - 0 = Retardo Normal
  - 1 = Retardo Bajo
- ◆ Bit T (Throughput). Solicitud de alto rendimiento.
  - 0 = Normal Throughput
  - 1 = Alto Throughput
- ◆ Bit R (Reliability). Solicitud de mínima probabilidad de pérdida o daño del datagrama (enviar bien).
  - 0 = Normal Reliability
  - 1 = Alto Reliability
- ◆ Bit 6-7. Reservados para futuros usos.

En la aplicación la tabla 5.1 resume los valores y características que toma este campo:

Clase de servicio	Valor Binario	Valor Hexadecimal	Característica de la transmisión	Prioridad
Clase Conversacional	0 0 1 1 0 0 0 0	0C	Mínimo retardo	4
Clase Streaming	1 1 0 0 1 0 0 0	13	Máxima capacidad	3
Clase Interactiva	0 1 0 0 0 0 0 0	02	Servicio Normal	2
Clase Background	1 0 0 0 0 1 0 0	21	Máxima confiabilidad	1

Tabla 5.1. Valores y características del campo TOS

La cantidad de paquetes que será entregada, la cual depende de la tasa de transmisión solicitada por el móvil i-ésimo, se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad de paquetes} = \text{Tasa de transmisión} / \text{Tamaño de los paquetes (en bits)}$$

Este procedimiento se aplica para las cuatro clases de servicio implementadas en el RRM. Por tanto la cantidad de paquetes entregados a los móviles estará en función de la tasa de transmisión solicitada sin importar el tipo servicio.

La tabla 5-2 muestra la cantidad de paquetes necesarios en las diferentes tasas de transmisión consideradas. Las simulaciones se realizaron para tres diferentes tamaños de paquetes.

Tasa de Transmisión	Tamaño de Paquetes		
	256 Bytes	512 Bytes	1024 Bytes
64 kbit/s	31 Paquetes	16 Paquetes	8 Paquetes
144 kbit/s	70 Paquetes	35 Paquetes	18 Paquetes
384 kbit/s	188 Paquetes	94 Paquetes	47 Paquetes
2048 kbit/s	1000 Paquetes	500 Paquetes	250 Paquetes

Tabla 5.2. Paquetes para las tasas de transmisión consideradas

### 5.2.3. Planificador de Recursos de Radio (RRS, Radio Resource Scheduler)

Este elemento es considerado el más importante, ya que llevara a cabo el control del esquema RRM, simplemente es una unidad de gestión que usualmente está localizada en el plano de control de una Estación Base (BS). En este elemento se lleva acabo la estrategia de control de congestión como una de las estrategias que toma gran importancia para garantizar o mantener una QoS aceptable a las conexiones

establecidas. En este sentido el algoritmo de control de congestión debe actuar cuando los usuarios admitidos no pueden satisfacer los requerimientos de calidad durante cierto periodo de tiempo debido a una sobrecarga en los buffers. La estrategia de control de congestión incluye las siguientes partes [WebARROWS].

1. Detección de la congestión. Se debe establecer algún criterio para decidir si la red está en congestión o no. Un posible criterio para detectar si el sistema ha entrado en una situación de congestión es cuando el factor de carga es superior a cierto umbral<sup>34</sup> ( $\eta \geq \eta_{CD}$ ) durante un cierto periodo de tiempo  $\Delta T_{CD}$ . El factor de carga  $\eta$  mide la eficacia espectral teórica de una célula WCDMA y debe ser  $0 \leq \eta < 1$ . Generalmente la red se planea para operar debajo de cierto factor de carga máximo  $\eta_{max}$  y el umbral de detección de congestión se debe fijar de acuerdo al valor máximo planeado.
2. Resolución de la congestión. Cuando se asume que existe una congestión en la red se deben llevar a cabo ciertas acciones para recuperar la estabilidad. El algoritmo de resolución de la congestión toma ciertas medidas para tratar de solucionar estas situaciones. Existen múltiples posibilidades a la hora de llevar a cabo una resolución de la congestión, pero en general se pueden diferenciar tres pasos: priorización, reducción de la carga, chequeo de la carga.
  - a) Priorización. En este caso se considera la priorización para el despacho de paquetes pero no exactamente para reducir la congestión aunque de alguna manera ayuda a la estabilidad y principalmente evita que se descarten paquetes por exceder su retardo máximo permitido.
  - b) Reducción de la carga. Se lleva a cabo mediante la no-aceptación de ninguna nueva solicitud de conexión hasta que la carga tenga cierto valor permitido. Esto es, el RRS indicara al CAC que no acepte más llamadas durante cierto tiempo porque se está en congestión.
  - c) Chequeo de la carga. Después del paso b), el chequeo de la carga consiste en comprobar la condición que guarda la carga en los cuatro buffers (uno para cada clase de servicio) y activar o desactivar el control de congestión. Si la congestión persiste se debe volver al punto (b). Se considera que la congestión se ha

---

<sup>34</sup>  $\eta_{CD}$ : Umbral de Detección de Congestión

solucionado si el factor de carga es inferior a cierto umbral<sup>35</sup> ( $\eta \leq \eta_{CR}$ ) durante cierto intervalo de tiempo  $\Delta T_{CR}$ .

3. Recuperación de la congestión: Resulta necesario un paso de recuperación de la congestión. Vale mencionar que el algoritmo de recuperación es crucial porque dependiendo de cómo se realiza la recuperación el sistema podría caer de nuevo en congestión. Este paso consiste en volver a aceptar llamadas una vez que la congestión se ha solucionado; en este momento el RRS indicara al CAC que puede aceptar más llamadas.

Por otra parte el RRS, también estará encargado de censar cada cierto periodo de tiempo el estado que guarda el canal inalámbrico en función de  $\eta_{BG}$  (ruido de fondo que nos indica las condiciones del canal inalámbrico). Esto servirá para que el RRS informe al TD de las condiciones del canal y este pueda despachar los paquetes contenidos en los buffers. Si las condiciones del canal inalámbrico son las adecuadas el TD despachara los paquetes a la máxima tasa de despacho o transmisión permitida ( $R_i$ ) en caso contrario el TD reducirá la velocidad de despacho según el valor de  $\eta_{BG}$ . En caso de que las condiciones malas del canal persistan se tiene como alternativa el no aceptar llamadas durante un instante de tiempo “muy pequeño” ya que de no hacer esto se podría entrar en congestión. En este sentido el mínimo ruido que puede ser censado por el RRS se obtiene por la formula general de potencia de ruido térmico.

$$N_T = 10 \log_{10}(KTB)$$

Donde:

$N_T$  = Potencia de ruido térmico.

$K$  = Proporcionalidad de la constante de Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23} J/^{\circ}K$ ).

$T$  = Temperatura ( $290^{\circ} K$ )

$B$  = Ancho de banda ( $5MHz$ ).

Calculando tenemos que:  $N_T = -136.98dB = -106.98dBm$  siendo este valor la referencia para la máxima tasa de despacho. Así pues para un valor de  $\eta_{BG}$  censado por el RRS existe un valor correspondiente de paquetes que serán despachos.

---

<sup>35</sup>  $\eta_{CR}$ : Umbral de Resolución de Congestión

#### 5.2.4. Despachador de Tráfico (TD, Traffic Dispatcher)

Este elemento se encarga de despachar los paquetes de los buffers y como se menciono anteriormente la velocidad o tasa de despacho estará sujeta al valor de  $\eta_{BG}$  medido por el RRS. En este sentido la siguiente ecuación es considerada [Moustafa02] [Moustafa01]:

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_i = \frac{\frac{G_{bi} P_i}{R_i}}{\left( \sum_{j \neq i}^M G_{bj} P_j + \eta_{BG} \right) / W}$$

De esta ecuación podemos despejar el parámetro  $\eta_{BG}$ .

Obtenemos:

$$\eta_{BG} = \left[ \frac{\frac{G_{bi} P_i}{R_i}}{\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_i} \right] W - \sum_{j \neq i}^M G_{bj} P_j$$

Donde:

$p_i$  = Nivel de potencia del móvil i-ésimo (limitado por un valor máximo  $P^{\max}$ ).

$p_j$  = Nivel de potencia en función del número de móviles  $M$ .

$G_{bi}$  = Perdidas del enlace en la trayectoria entre la estación móvil i y la estación base b.

$G_{bj}$  = Perdidas del enlace en función del número de móviles  $M$ .

$R_i$  = Tasa de bit transmitida por la Estación Móvil (MS) i-ésima.

$W$  = Ancho de banda total del espectro ocupado por las señales CDMA.

$M$  = Número de usuarios móviles.

$\eta_{BG}$  = Ruido de fondo debido al ruido térmico contenido en  $W$ .

El despacho de paquetes esta considerado bajo un esquema de prioridades en el cual los servicios con características de retardo mas estrictas, en este sentido el servicio conversacional (por ejemplo voz sobre IP) serán los de mayor prioridad (primeros en ser despachados), en consecuencia el servicio background (por ejemplo e-mail) serán los

de menor prioridad (últimos en ser despachados). Así también la cantidad de paquetes que serán despachados para cada clase de servicio estará en función a esta prioridad; esto es para un despacho de  $n$  cantidad de paquetes, el 40% de estos serán de tipo conversacional, el 30% de tipo streaming, el 20% de tipo interactivo y el 10 % de tipo background. Por lo que es claro darse cuenta que el retardo máximo permitido es el criterio considerado y en el cual esta basada la lógica de despacho implementada.

### 5.3. PARÁMETROS PARA EVALUAR LOS ALGORITMOS

En la tabla 5.3 y 5.4 se muestran los parámetros necesarios para evaluar los algoritmos [WebARROWS][Web3GPP]:

PARÁMETROS	SERVICIOS			
	Conversacional	Streaming	Interactivo	Background
$f$	0.6	0.6	0.6	0.6
$SF_i$	de 4 a 256	de 4 a 256	de 4 a 256	de 4 a 256
$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$	4.57 dB	4.25 dB	4.69 dB	4.69 dB
$v_i$	0.67	0.57	0.47	0.37
$r$	1/3	1/3	1/3	1/3
$R_i$	64, 144, 384 y 2048 Kbps	64, 144, 384 y 2048 Kbps	64, 144, 384 y 2048 Kbps	64, 144, 384 y 2048 Kbps
$\eta_{CD}$	0.8 %	0.8 %	0.8 %	0.8 %
$\eta_{CR}$	0.7 %	0.7 %	0.7 %	0.7 %
$\eta_{\max}$	0.6	0.6	0.6	0.6

Tabla 5.3. Parámetros por clase de servicio

PARÁMETROS	ESCENARIO		
	Picocélula	Microcélula	Macrocélula
$p_i$	14 dBm	14 dBm	21 dBm
$p^{\max}$	21 dBm	21 dBm	21 dBm
$R_K$ (km)	0.1[WebUMTSFor]	1[WebUMTSFor]	3[WebUMTSFor]
$f_G$ (GHz)	1.975[WebUMTSFor]	1.975[WebUMTSFor]	1.975[WebUMTSFor]
$W$	5 MHz	5 MHz	5 MHz

Tabla 5.4. Parámetros por escenario

## 5.4. MODELO DE PROPAGACIÓN

Las estaciones base de un sistema de comunicaciones móviles transmiten un canal piloto en la célula a la que dan servicio. La potencia transmitida en este canal piloto es conocida a priori por los usuarios. Cada usuario puede medir la potencia que recibe de este piloto y estimar las pérdidas de propagación del canal. Con este valor puede ajustar adecuadamente su potencia de transmisión.

El modelo de propagación del canal radio permite emular de un modo estadístico las pérdidas de propagación presentes en un cierto escenario. La atenuación presente en el canal de un sistema de comunicaciones móviles se descompone en dos partes:

- ✓ Atenuación lenta o *shadowing*: Producida por los grandes obstáculos presentes entre la estación base y el móvil. Genera variaciones lentas de las pérdidas de propagación que pueden compensarse con un control de potencia en lazo abierto. El modelo más comúnmente aplicado para esta atenuación es la llamada estadística lognormal. Esto es, se considera que las pérdidas de propagación son una variable aleatoria gaussiana en unidades logarítmicas. Por otro lado, su valor medio depende de la localización del móvil. Además, entre dos posiciones cercanas existe una cierta correlación entre los valores de la atenuación presentes [Gudm91]. Esta correlación se expresa en términos de una función que condiciona los valores aleatorios que deben generarse en el modelo.
- ✓ Atenuación rápida. Producida por la suma de las contribuciones de los diferentes caminos de propagación de la señal. Para poder ser compensada es necesario utilizar un control de potencia en lazo cerrado. Suelen aplicarse modelos estadísticos del tipo Rayleigh o Rice para modelar el comportamiento de esta atenuación.

De acuerdo a lo anterior el modelo de propagación considerado es **Manhattan** descrito en [Moustafa01]. El cálculo de las pérdidas en la trayectoria se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_L(R_K) = 142.37 + 29.74 \log f_G + 50.37 \log R_K$$

Donde:

$P_L$  = Pérdidas de trayectoria para el modelo de propagación Manhattan (sin línea de vista).



$R_k$  = Separación entre la Estación Móvil (MB) y la Estación Base (BS) en Km  
( $0.05 < R_k < 3$ ).

$f_G$  = Frecuencia Central o de portadora en GHz ( $0.9 < f_G < 2$ ).

Aplicando la ecuación anterior encontramos las pérdidas de trayectoria para los escenarios en UMTS y que se utilizan para el cálculo de  $\eta_{BG}$ .

Picocélula:  $P_L = G_{bi} = 100.790$  dB.

Microcélula:  $P_L = G_{bi} = 151.160$  dB.

Macrocélula:  $P_L = G_{bi} = 175.192$  dB.

## 5.5. EFICIENCIA DEL RRM

La eficiencia del RRM esta dada en función de la capacidad para mantener a  $\eta$  en un valor adecuado, esto es, si las condiciones ( $\eta \leq \eta_{CR}$ ) y ( $\eta \geq \eta_{CD}$ ) no se presentan o en su defecto se presentan durante un periodo de tiempo muy pequeño (menor a  $\Delta T_{CR}$  y  $\Delta T_{CD}$  respectivamente) el sistema será eficiente, en caso contrario no lo será; también se busca que el tiempo entre congestión sea lo más grande posible. Así pues se trata de tener al sistema trabajando de forma estable, con la máxima capacidad de aceptación de llamadas (móviles) pero sin sobrepasar los factores de los umbrales de carga permitidos. En la Figura 5.3 se muestra la forma de representar la eficiencia del esquema de RRM [Web3GPP].

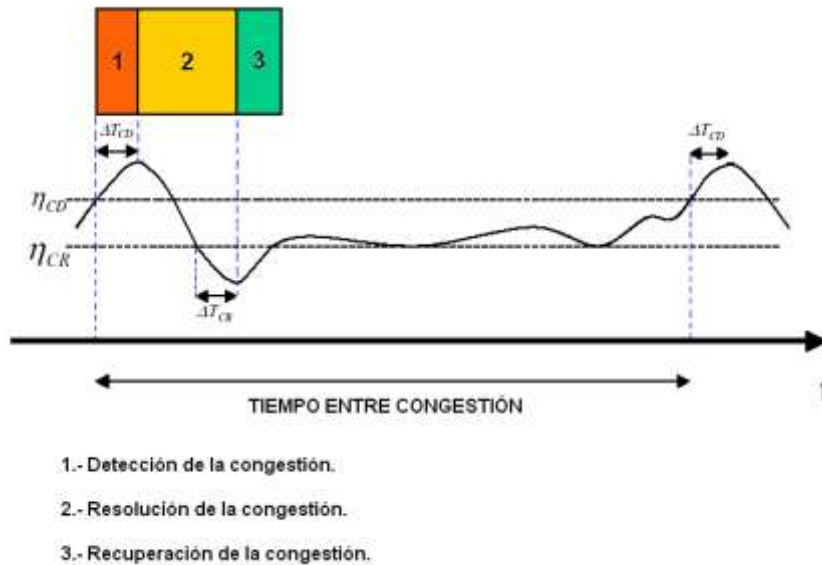


Figura 5.3. Representación de la eficiencia del RRM [Swain99]

## 5.6.GENERADOR DE PAQUETES

Después de considerar varias herramientas para la generación de paquetes IP se consideró que el software “*Ultra Network Sniffer*” cumple con las necesidades requeridas de versatilidad y fácil uso [WebUNSniffer]. Sus características más importantes son:

- ◆ Monitorear y captura tráfico de red en tiempo real.
- ◆ Filtrar paquetes; esto puede ser por tipo de protocolo y/o por tipo de dirección IP.
- ◆ Guardar en un documento de texto (\*.txt) los paquetes para después ser utilizados.
- ◆ Enviar paquetes en tiempo real desde el generador de paquetes.
- ◆ Versatilidad ya que es posible modificar desde la ventana “Data Frame Editor” los parámetros del paquete.
- ◆ Manejar diferentes protocolos como son: ETHERNET, TCP, UDP, IP, etc.
- ◆ Guardar tráfico de red en archivos (\*.npd) para su posterior análisis.
- ◆ Operar sobre plataforma Windows 95, 98, 200, NT, ME, XP.

Considerando lo anterior se adquirió una licencia para uso ilimitado tanto en capacidad como en tiempo.

A continuación se muestra en la Figura 5.4 la estructura de un paquete IP y la forma en que están almacenados en el archivo de datos.

```

===== Packet 0 =====
Source Address      : 192.168.100.96:138
Destination Address: 192.168.255.255:138
Protocol           : UDP
Summary           : UDP: src = 138, dst = 138, len = 218(0x00DA)
Length            : 254
ETHERNET: 00:07:95:0E:35:16 --> *BROADCAST ETYPE = 0x0800, Protocol = Internet Protocol
  Destination Address = *BROADCAST
  Source Address = 00:07:95:0E:35:16
  Protocol = Internet Protocol
IP: 192.168.100.96 --> 192.168.255.255 ID = 0xE10F, Protocol = UDP, Length = 238(0x00EE)
  Header Length = 20(0x14)
  Version = 0x04
  Type of Service = Minimize Delay
    Precedence = 001.....:0x04(Flash override)
    TOS       = ...1000.:0x01(Minimize Delay)
  Length = 238(0x00EE)
  Identification = 57615(0xE10F)
  Flags = 0(0x00)
    MF = .....0.. :Last Fragment in datagram
    DF = .....0.  :May Fragment
  Fragment = 0(0x00)
  Time to Live = 128(0x80)
  Protocol = UDP
  Checksum = 0x733E
  Source Address = 192.168.100.96
  Destination Address = 192.168.255.255
UDP: src = 138, dst = 138, len = 218(0x00DA)
  Source Port = 138(netbios-dgm)
  Destination Port = 138(netbios-dgm)
  Length = 218(0x00DA)
  Checksum = 29887(0x74BF)
  UDP Data length = 210(0x00D2)

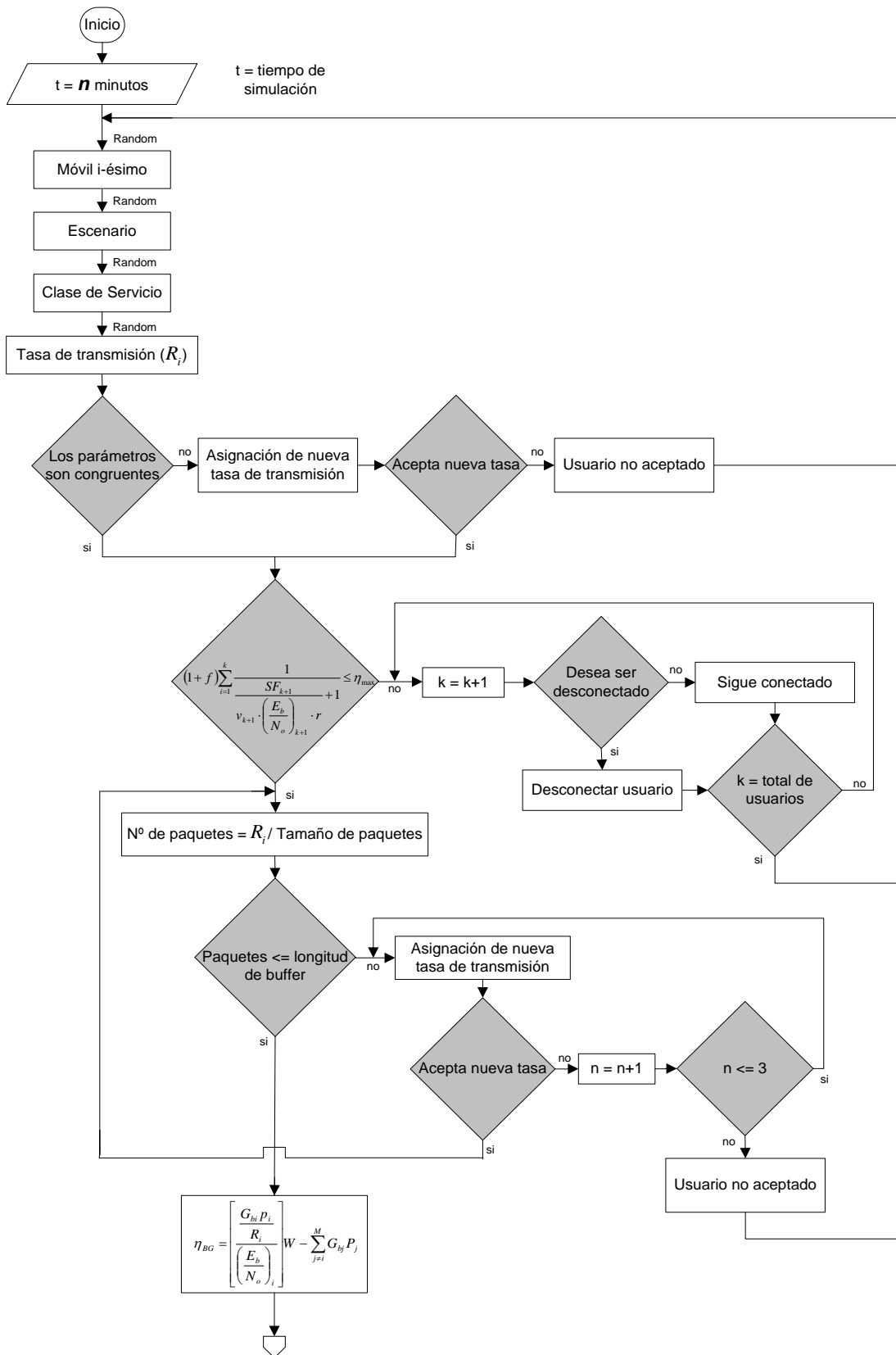
0000: FF FF FF FF FF FF 00 07 95 0E 35 16 08 00 45 0C      .....5...E.
0010: 00 EE E1 0F 00 00 80 11 73 3E C0 A8 64 60 C0 A8      .....s>..d'..
0020: FF FF 00 8A 00 8A 00 DA 74 BF 11 02 00 7A C0 A8      .....t....z..
0030: 64 60 00 8A 00 C4 00 00 20 45 42 46 46 45 45 45      d`..... EBFEEEE
0040: 4A 46 45 45 50 46 43 45 4A 45 50 43 41 43 41 43      JFEEPFCEJEPACAC
0050: 41 43 41 43 41 43 41 41 00 20 41 42 41 43 46      ACACACAAA. ABACF
0060: 50 46 50 45 4E 46 44 45 43 46 43 45 50 46 48 46      PFPEFDECFCPEPFHF
0070: 44 45 46 46 50 46 50 41 43 41 42 00 FF 53 4D 42      DEFFFPACAB..SMB
0080: 25 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      %.....
0090: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 11 00 00 2A      .....*
00A0: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      .....
00B0: 00 00 00 2A 00 56 00 03 00 01 00 01 00 02 00 3B      ...*.V.....;
00C0: 00 5C 4D 41 49 4C 53 4C 4F 54 5C 42 52 4F 57 53      .\MAILSLOT\BROWS
00D0: 45 00 0C 00 40 77 1B 00 44 45 53 41 43 41 44 45      E...@w..DESACADE
00E0: 00 00 00 00 00 00 00 00 04 00 00 20 40 80 00 00      ..... @...
00F0: 00 00 41 55 44 49 54 4F 52 49 4F 00 00 00          ..AUDITORIO.....

```

Figura 5.4. Estructura paquete IP

## 5.7. DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se muestra en la Figura 5.5 el diagrama de flujo del programa desarrollado en MATLAB. Este diagrama pretende mostrar de forma general la lógica de programación implementada en el esquema de RRM.



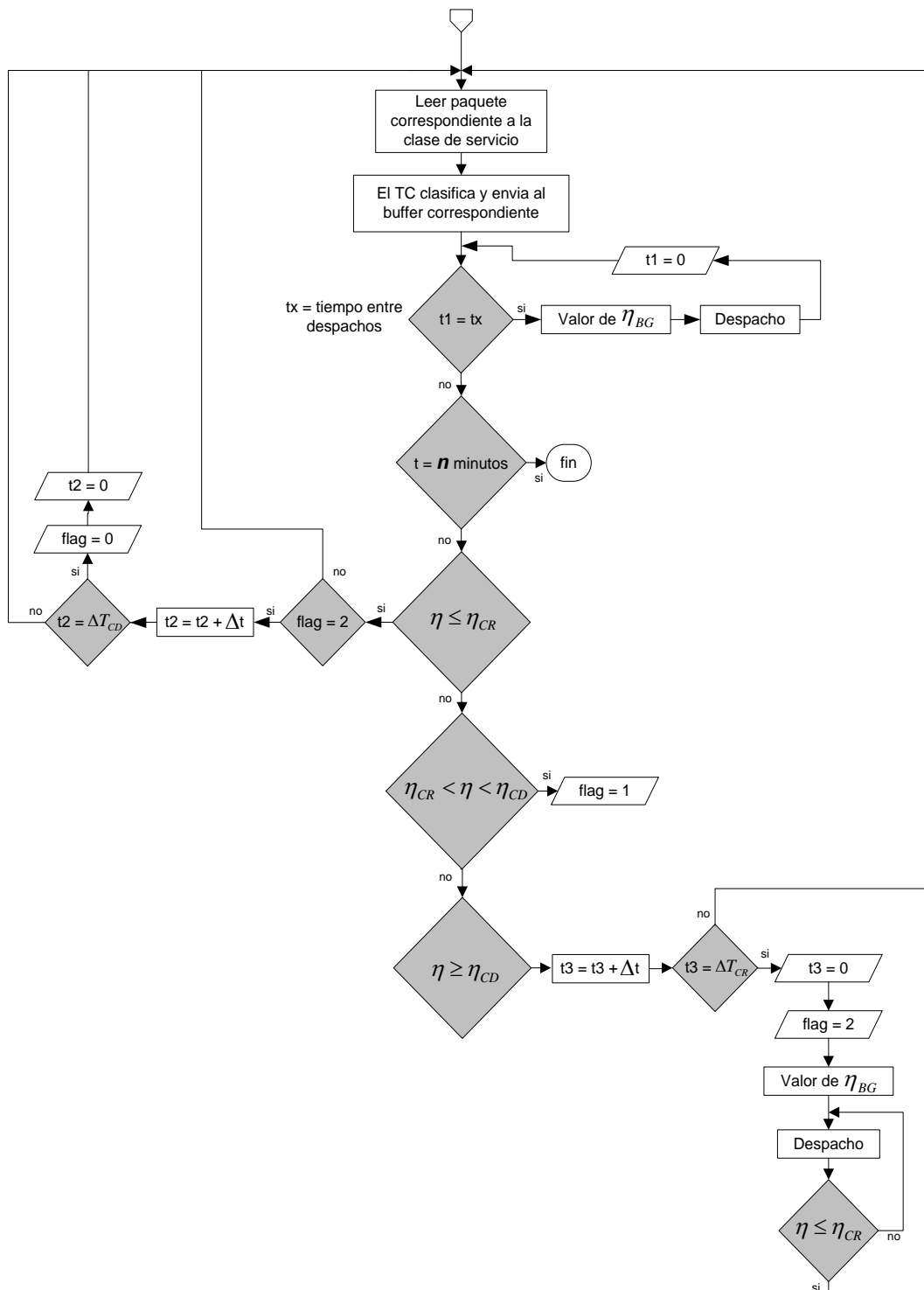


Figura 5.5. Diagrama de flujo esquema RRM

Partiendo del diagrama de flujo expuesto, el modelamiento del sistema se ha realizado en UML, optando por este lenguaje como el más completo para describir detalladamente un sistema, descartando el lenguaje SDL, el cual es empleado para sistemas en tiempo real. Por lo tanto todo lo anterior se encuentra descrito en el Anexo 2: Modelamiento del sistema de emulación, del presente trabajo de grado. De igual forma el código fuente para la aplicación desarrollada se encuentra descrito en el Anexo 3: Codificación del sistema de emulación.

## **5.8.RESULTADOS DE EMULACIÓN**

Las simulaciones del esquema de RRM para la administración de la QoS fueron realizadas en MATLAB versión 6.5. Los resultados obtenidos se basan en la representación de las estrategias de control de admisión, control de congestión y comportamiento de la carga para cada clase de servicio que muestra la eficiencia del despachador de tráfico. En lo que respecta al control de admisión las curvas de salida representan la eficiencia de admisión al sistema (peticiones de usuarios contra usuarios aceptados). En el control de congestión se muestra el comportamiento de la carga en los diferentes estados que considera esta estrategia (fuera de congestión, estado estable y en congestión). Por último el comportamiento de la carga por clase de servicio muestra como el servicio con características de retardo más estricto (servicio conversacional) se mantiene en valores de carga bajos con relación al servicio más tolerante a este retardo (background).

### **5.8.1. Resultados basados en el Proyecto ARROWS**

A continuación se muestran los resultados de la emulación considerando los parámetros que sirvieron como base para encontrar los valores más adecuados para un esquema más eficiente, esto último es la mejora al esquema de administración de la QoS desarrollado. Los parámetros considerados se muestran en la tabla 5.5. Es importante mencionar que debido a que no fue posible utilizar un simulador de eventos discretos (por ejemplo OPNET), la curva que es reportada por el proyecto ARROWS (ver figura 5.6) únicamente sirvió de guía para obtener un comportamiento similar en las emulaciones.

PARÁMETRO	VALOR
(*) Separación entre los umbrales $\eta_{CD}$ y $\eta_{CR}$	10%
(*) Nivel del umbral de congestión $\eta_{CD}$	80%
(*) Nivel del umbral fuera de congestión $\eta_{CR}$	70%
(*) Tiempo para activar el control de congestión $\Delta T_{CD}$	3 seg.
(*) Tiempo para desactivar el control de congestión $\Delta T_{CR}$	1 seg.
(*) Umbral de admisión $\eta_{max}$	0.6
(+) Factor de Spreading $SF_i$	256
(+) Tamaño de los paquetes	256 bytes
(-) Tiempo entre despachos	3 seg.
(-) Longitud de cada buffers	1000 localidades
(-) Tiempo de simulación	3 minutos

Tabla 5.5. Parámetros base considerados

- (\*) Tomado del proyecto ARROWS [WebARROWS].
- (+) Tomada de la especificación técnica 3GPP [Web3GPP].
- (-) Propuesto por nosotros como característica del esquema desarrollado.

La Figura 5.6a muestra el comportamiento de la carga ante la estrategia de control de la congestión, como se observa el control de la congestión se está aplicando correctamente de acuerdo a los pasos que este debe seguir ante el valor de carga total en los buffers. Lo importante a considerar en esta gráfica es el tiempo que transcurre entre dos estados de congestión ya que entre mayor sea este tiempo mejor es el desempeño obtenido. El tiempo entre congestión es definido como el tiempo que transcurre entre dos estados consecutivos en que entra en operación la estrategia de control de la congestión. Es importante recordar que el control de la congestión actúa únicamente cuando la carga permanece por encima del umbral  $\eta_{CD}$  un tiempo  $\Delta T_{CD}$ , esto se comenta porque como muestra la gráfica no todos los instantes que la carga entra en estado de congestión es activado el control que actúa sobre la misma.

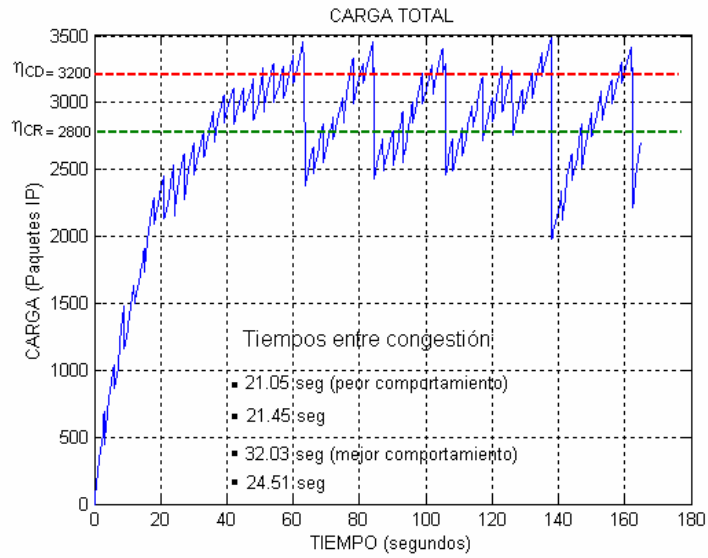


Figura 5.6a. Estrategia de control de la congestión

La Figura 5.6b muestra la eficiencia en el control de admisión. Esta eficiencia es obtenida de los usuarios que solicitaron entrar al esquema RRM (peticiones) contra los que finalmente si fueron admitidos (aceptados). Las restricciones para poder acceder al esquema son: los parámetros solicitados por el usuario (estos deben ser congruentes entre tasa de transmisión y escenario), el umbral  $\eta_{\max}$  y exista una cantidad de localidades suficiente para albergar los paquetes de la clase de servicio solicitada. Por tanto cuando estas restricciones se han verificado y cumplido el usuario puede acceder al RRM. En la implementación esta considerada la posibilidad de que aun cuando alguna de las restricciones no es cumplida, existe la opción de que el usuario pueda acceder al RRM, esto es, si por ejemplo un usuario solicita una tasa de transmisión que no puede ser soportada, debido a que no existen los recursos suficientes, el CAC le ofrecerá una tasa menor y ya será decisión del usuario móvil aceptar o rechazar este recurso disponible. La caída repentina que sufren ambas curvas (peticiones y aceptados) se presenta cuando el valor de  $\eta_{\max}$  es alcanzado, en este momento los usuarios deciden aleatoriamente seguir conectados o no. Después de este proceso de desconexión es posible aceptar nuevamente a más usuarios.

La Figura 5.6c muestra la cantidad de usuarios admitidos por clase de servicio, como se trata de un proceso de admisión aleatorio la cantidad de usuarios que pueden ser admitidos no sigue un patrón definido, esto es, en una emulación pueden ser admitidos



mas usuarios de la clase conversacional mientras que en una nueva simulación la mayoría de usuarios admitidos ahora puede corresponder a la clase background.

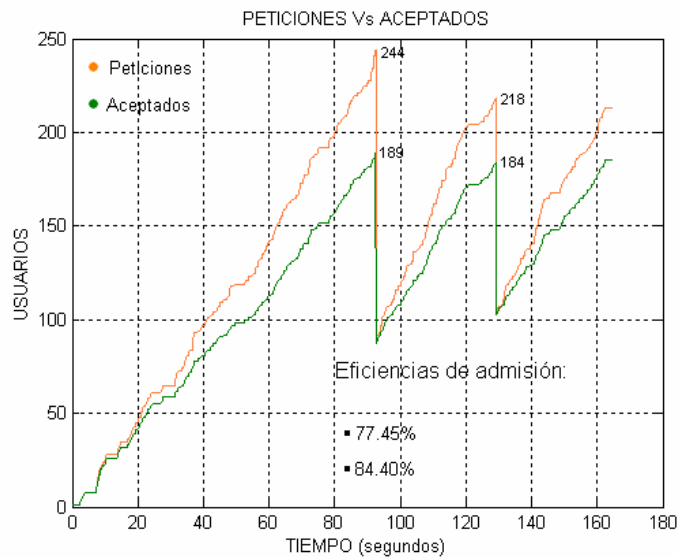


Figura 5.6b. Estrategia de control de admisión

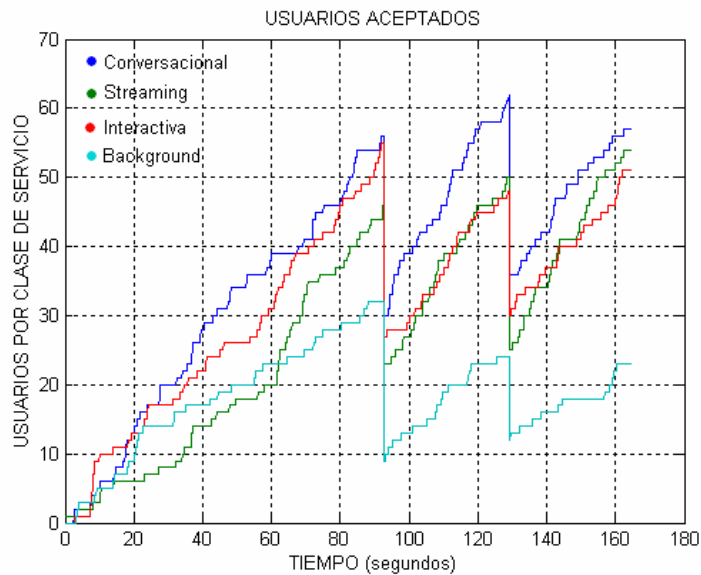


Figura 5.6c. Usuarios admitidos por clase de servicio

Se realizaron una buena cantidad de emulaciones en donde la gran mayoría de estas (aproximadamente el 95%) presentaron un valor de la eficiencia de admisión mayor al 70%. Así pues de las gráficas que muestran el control de admisión se concluye que los valores de eficiencia obtenidos son aceptables siempre y cuando estos se mantengan por encima del 70% de eficiencia.

En las figuras siguientes se manifiesta el comportamiento de la carga para las cuatro clases de servicio y la priorización como resultado de la clasificación de las diferentes clases de servicios permite que los servicios con retardos más estrictos puedan ser entregados más rápidamente. En la Figura 5.6d se muestra la carga para la clase de servicio background, como se menciona en el Capítulo 3 la característica más importante a considerar en esta clase de servicio es mantener la integridad de los datos sin importar el retardo de transmisión, es por esto que la carga permanece en valores altos lo que indica que la entrega de paquetes es lenta y en cantidades pequeñas. Es necesario precisar que aun cuando parece que en algunas de las gráficas se alcanza el valor máximo de carga (1000 paquetes almacenados) esto no sucede, ya que de suceder indicaría la pérdida de paquetes por desbordamiento de la capacidad del buffer.

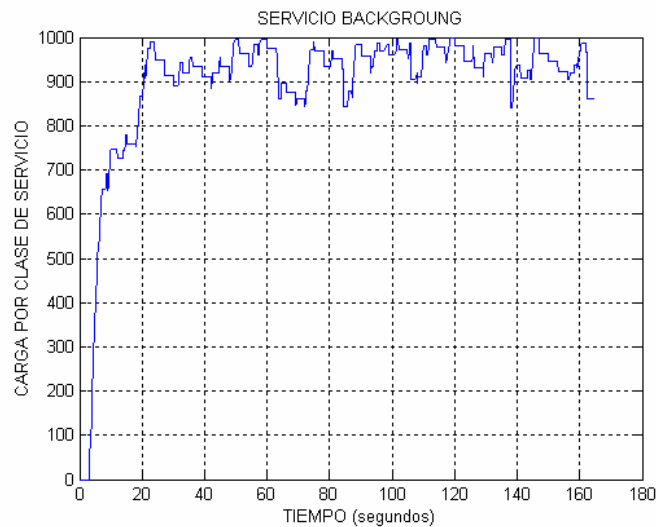


Figura 5.6d. Carga del servicio Background

La Figura 5.6e representa la carga para la clase de servicio Interactiva, en esta clase de servicio al igual que la clase de servicio background es más importante la integridad de los datos que el retardo. Esta gráfica muestra una entrega de paquetes más rápida presentando variaciones mayores en los niveles de carga.

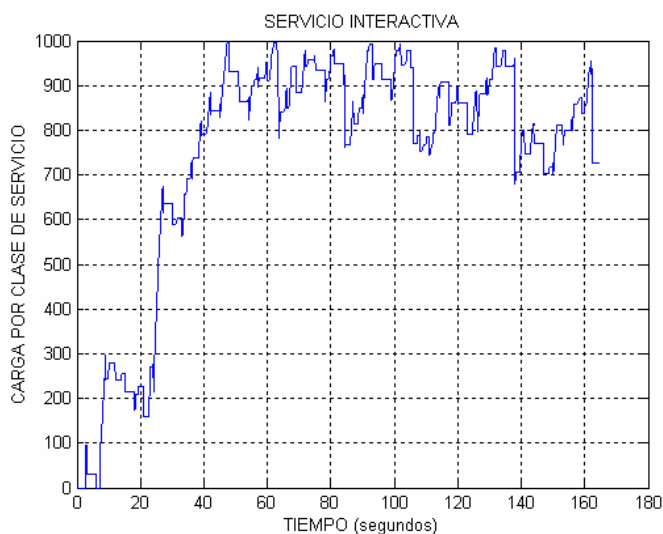


Figura 5.6e. Carga del servicio Interactivo

La Figura 5.6f muestra la carga para la clase de servicio streaming, esta clase de servicio no es tan estricta en retardo sin embargo es necesario que la información sea entregada en valores aceptables. En este sentido, se pueden observar que los valores de carga no alcanzan el máximo y las variaciones de la misma son mayores. Por ultimo la Figura 5.6g presenta la carga de la clase de servicio conversacional, esta clase de servicio es la más estricta en retardo y por tanto la que más rápidamente es entregada a los usuarios, en este sentido se puede observar que durante la mayor parte de tiempo los niveles de carga son los más bajos de las cuatro clases de servicio. Esto se logra gracias a la máxima prioridad asignada a este servicio y también a la mayor cantidad de paquetes despachados cada vez que el TD lleva acabo este proceso.

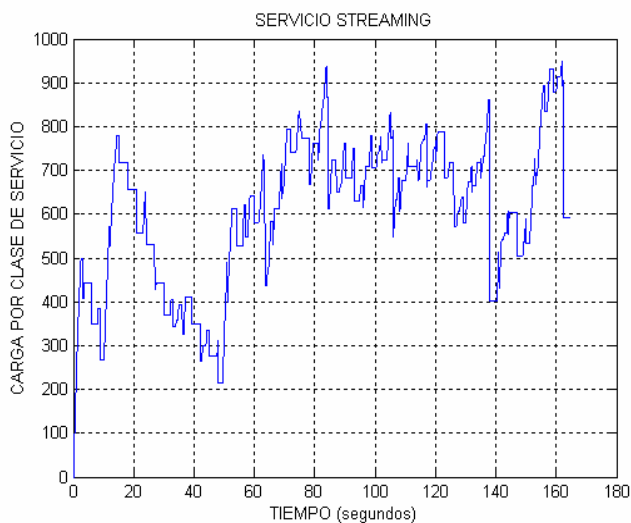


Figura 5.6f. Carga del servicio Streaming

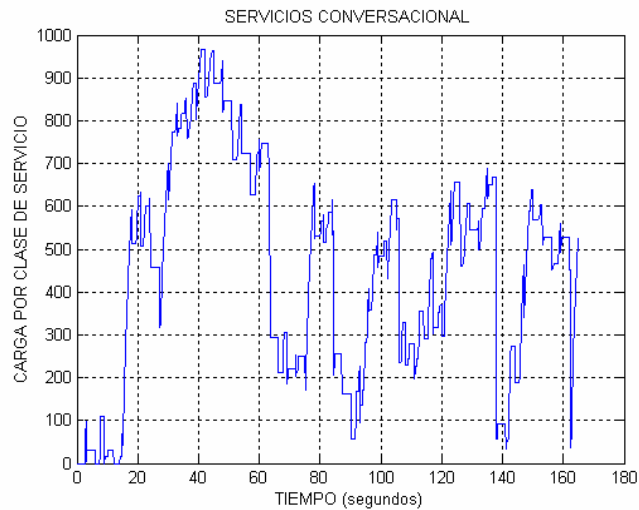


Figura 5.6g. Carga del servicio Conversacional

De lo anterior se concluye que entre más bajos sean los valores de carga del servicio conversacional mejor QoS percibirán los usuarios que utilizan este servicio, mientras que para la clase background lo más importante es integridad de la información. Además resaltar la importancia que tiene el tratar el tráfico de forma diferenciada (con prioridades) ya que con esto se resuelve una de las particularidades de UMTS en donde se espera un gran número de aplicaciones a través de clases de servicio con características muy propias.

### 5.8.2. Impacto del Factor de Spreading

Como se ha mencionado la tecnología de acceso considerada para el sistema UMTS, es uno de los cambios más importantes dentro de esta evolución en las comunicaciones móviles. En esta nueva tecnología el valor del  $SF_i$  influye en la cantidad de usuarios que pueden compartir el ancho de banda. El  $SF_i$  especificado para UMTS varía de 4 a 256 en la trayectoria Uplink y de 4 a 512 en sentido contrario Downlink (ver tabla 5.3). Para mostrar el impacto que este parámetro tiene en la cantidad de usuarios admitidos, se llevo acabo la emulación del esquema RRM para un valor de  $SF_i$  igual a 128. En este sentido la Figura 5.7a presenta el comportamiento de la carga para el control de la congestión la cual permanece sin cambios ante este parámetro. En lo que se refiere a la Figura 5.7b el control de admisión presenta variaciones en comparación a los

resultados obtenidos cuando el  $SF_i$  esta al máximo valor permitido, sin embargo en este caso se observa como para un valor de  $SF_i$  de 128, la cantidad de usuarios admitidos al sistema disminuye hasta en un 40% cada vez que se alcanza el umbral  $\eta_{max}$ .

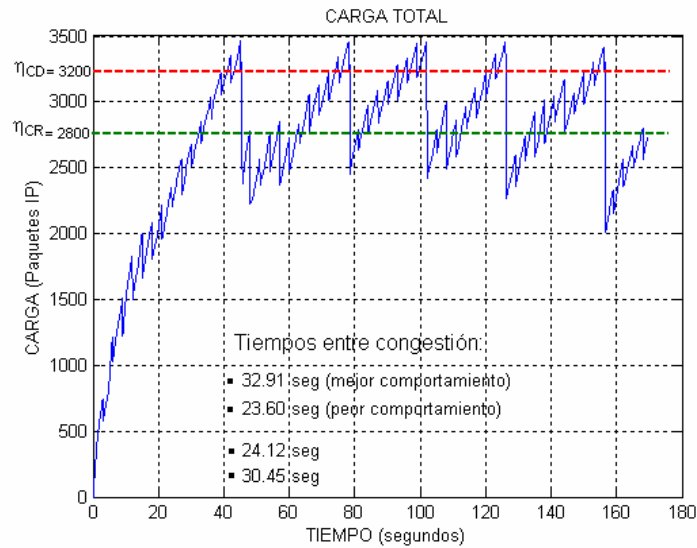


Figura 5.7a. Estrategia de control de admisión con  $SF_i$  de 128 y  $\eta_{max}$  de 0.95

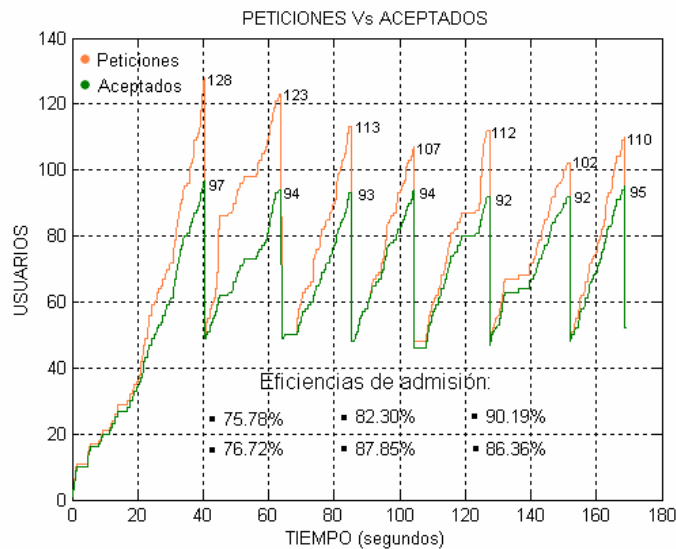


Figura 5.7b. Estrategia de control de admisión con  $SF_i$  de 128 y  $\eta_{max}$  de 0.95

Por tanto se concluye que el valor del factor de Spreading como parámetro en el acceso inalámbrico tiene gran impacto en la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos por el RRM, además si se considera que el ancho de banda es un recurso escaso y

costoso, lo deseable es mantener este parámetro en el máximo valor permitido para el mejor aprovechamiento del ancho de banda.

### 5.8.3. Impacto al variar el Umbral de Admisión

Continuado con el proceso de emulación variando parámetros para lograr un mejor desempeño del esquema desarrollado, encontramos que el umbral  $\eta_{\max}$  al igual que el  $SF_i$  nos permite aumentar la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos en el RRM. En este sentido es lógico pensar que si el umbral de admisión es mayor la cantidad de usuarios que pueden ser admitidos al sistema será mayor. Para comprobar esto se modificó el valor del umbral  $\eta_{\max}$  de 0.6 a 0.95 (en ARROWS se especifica que  $\eta_{\max}$  puede ser máximo la unidad) encontrando los siguientes resultados.

Inicialmente en la Figura 5.8a se observa como el control de la congestión sigue operando de manera normal ante la variación de  $\eta_{\max}$  siendo algo esperado en esta emulación. En contraste la Figura 5.8b muestra un aumento en la cantidad de peticiones en el esquema, manteniendo la eficiencia de admisión en un nivel aceptable (78.12%).

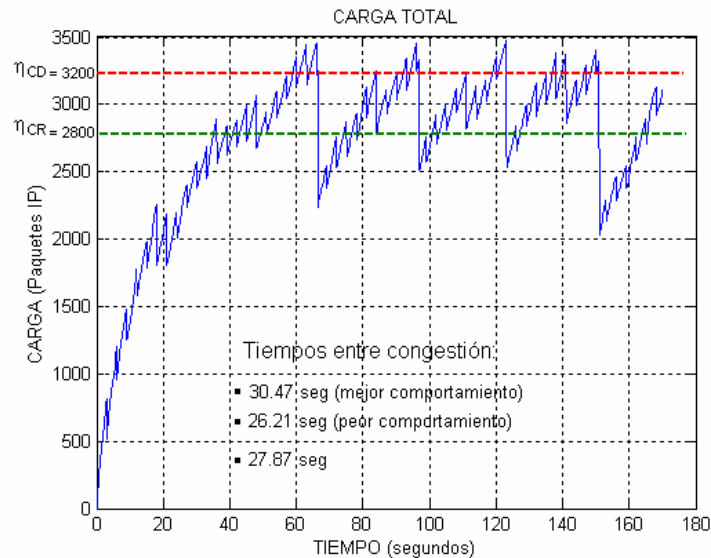


Figura 5.8a. Estrategia de control de la congestión

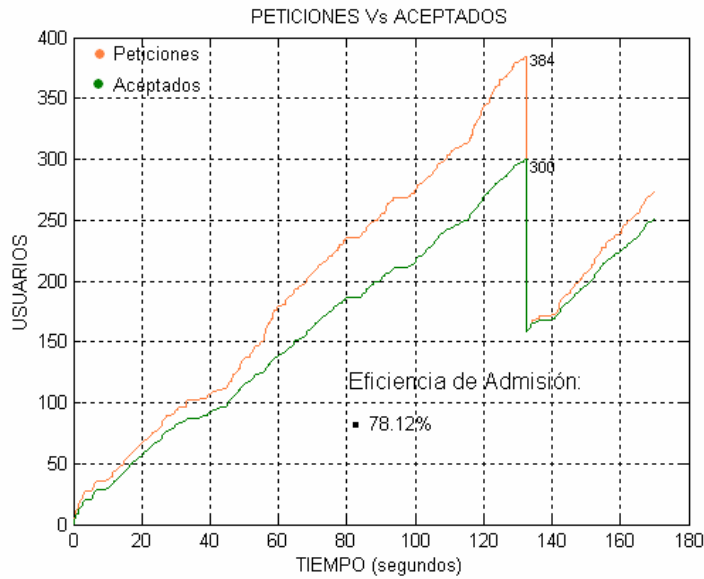


Figura 5.8b. Estrategia de control de admisión

Así pues para este caso se concluye que a mayor valor del umbral de admisión mayor cantidad de usuarios admitidos aun cuando esto lógicamente se traduce en mayor tiempo para poder atenderlos a todos.

#### 5.8.4. Impacto al variar el porcentaje de separación entre $\eta_{CR}$ y $\eta_{CD}$ .

Como se pudo observar los dos casos anteriores resultaron en un impacto en la estrategia del control de admisión, sin embargo, para obtener un esquema mas eficiente es necesario identificar parámetros que mejoren también el control de la congestión, esto es, identificar alguno de los parámetros para el cuál los tiempos entre congestión sean mayores. Atendiendo a esto se encontró que de manera sencilla y práctica podemos aumentar el tiempo entre congestión aumentando la separación entre los umbrales  $\eta_{CR}$  y  $\eta_{CD}$ .

Bajo este supuesto en la Figura 5.9a se puede observar cómo aumentando a 20% la separación de estos umbrales, es posible alcanzar tiempos entre congestión mayores, en ocasiones del doble en comparación al valor promedio obtenido cuando la separación de estos umbrales era del 10%. Con respecto a la Figura 5.9b se observan

un comportamiento normal y eficiencias aceptables para la estrategia de control de admisión.

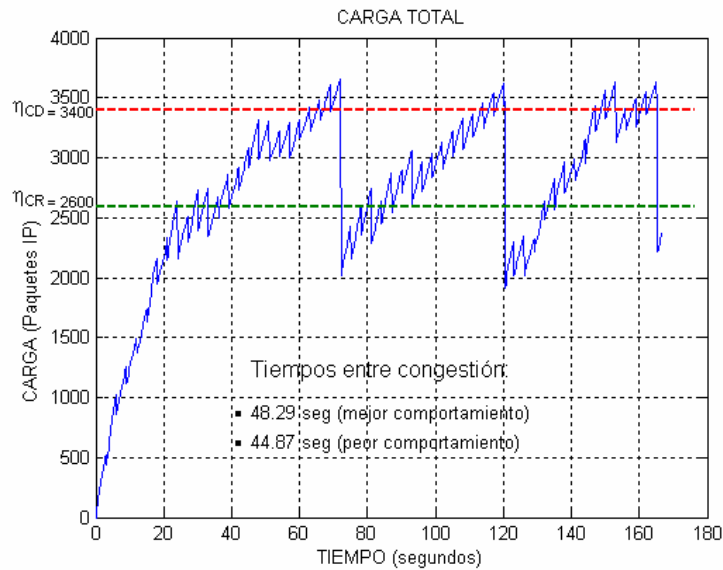


Figura 5.9a. Estrategia de control de la congestión

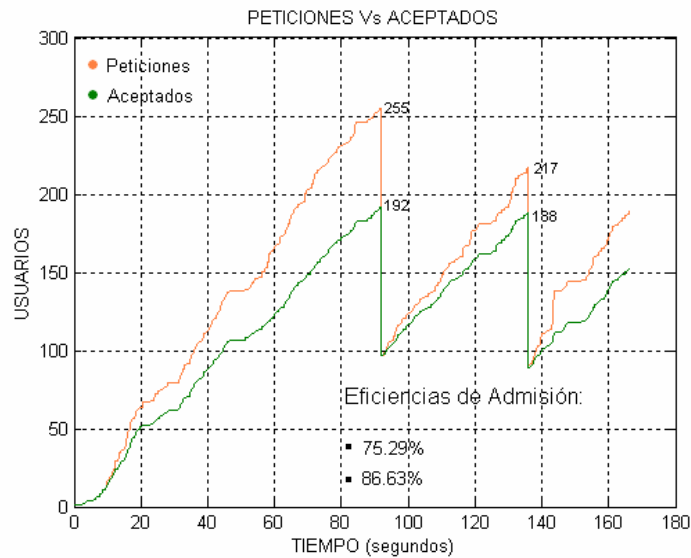


Figura 5.9b. Estrategia de control de admisión

De lo anterior se puede concluir que para un mejor comportamiento del RRM la separación de los umbrales que actúan en el control de la congestión deberían estar separados un 20%, ya que esto resulta en tiempos más holgados entre estados de congestión. También es importante mencionar que para esta consideración no encontramos restricciones que impidan establecerlo.



### 5.8.5. Impacto al variar el tiempo entre despachos

Un factor que tiene gran impacto para que el comportamiento del esquema sea lo mejor posible esta restringido al valor del tiempo entre despachos. En la aplicación esta variable puede tomar cualquier valor aunque si el valor considerado es muy grande o muy pequeño el comportamiento del RRM se ve inoperable. En la Figura 5.10a se muestra el comportamiento que tiene la carga ante un valor entre despachos de cada 2 segundos, como se puede ver los umbrales para el control de congestión no son alcanzados y por tanto resulta inoperable esta estrategia para la administración de la QoS. Esto no es práctico ni justificado ya que en la mayoría de los sistemas planteados para la administración de la QoS se considera que la carga presenta estados de congestión que deben ser controlados aún cuando el tener un tiempo entre despachos pequeño indique que los paquetes son entregados mas rápidamente a los usuarios.

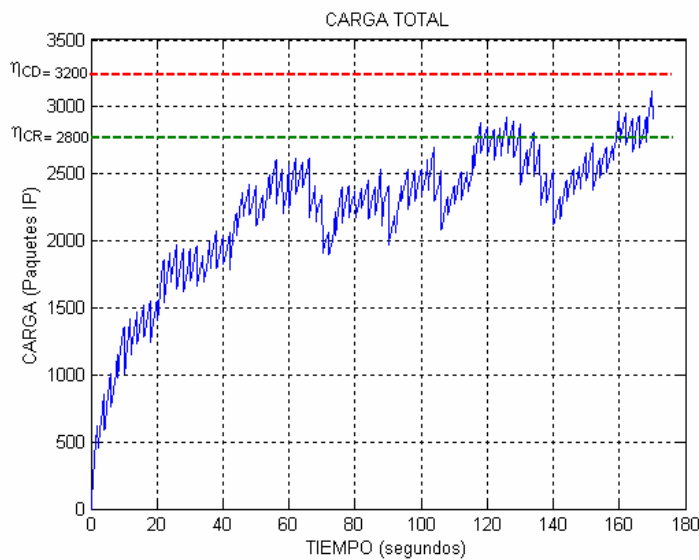


Figura 5.10a. Estrategia de control de la congestión con despachos cada 2 segundos

Con respecto a la Figura 5.10b se muestra un comportamiento normal del control de admisión ante esta consideración, resaltando que con tiempos entre despacho pequeños es posible alcanzar una mejor eficiencia de admisión, como consecuencia de la descarga acelerada de los buffer.

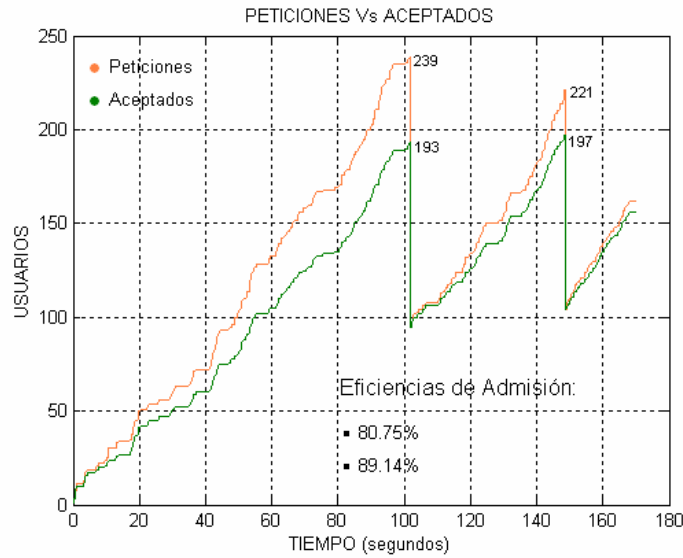


Figura 5.10b. Estrategia de control de admisión con despachos cada 2 segundos

En la Figura 5.10c se muestra el comportamiento de la carga para un valor de despachos de cada 4 segundos, en este caso, las veces que se alcanza el estado de congestión es mayor y el tiempo entre congestiones se ve reducido a valores en donde el RRM es menos eficiente, además de que aumentando este parámetro la entrega de los paquetes es mas lentamente y esto para las clases de servicio conversacional y streaming no es factible. La Figura 5.10d muestra la estrategia de control de admisión para este valor presentándose sin cambios que resaltar como era de esperarse.

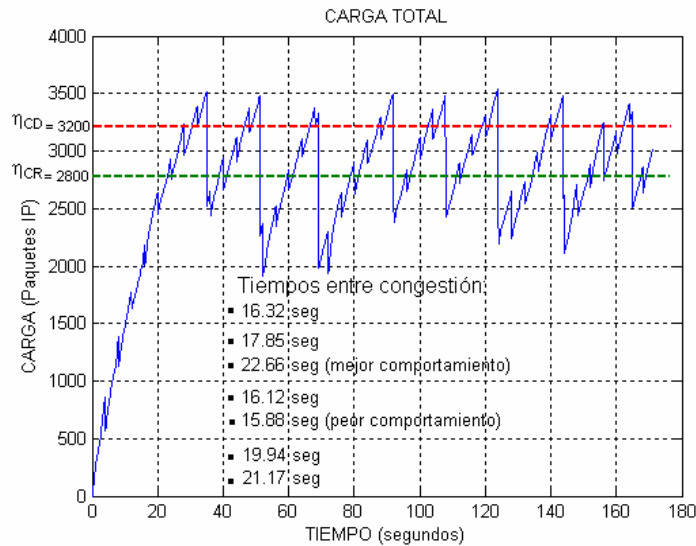


Figura 5.10c. Estrategia de control de la congestión con despachos cada 4 segundos

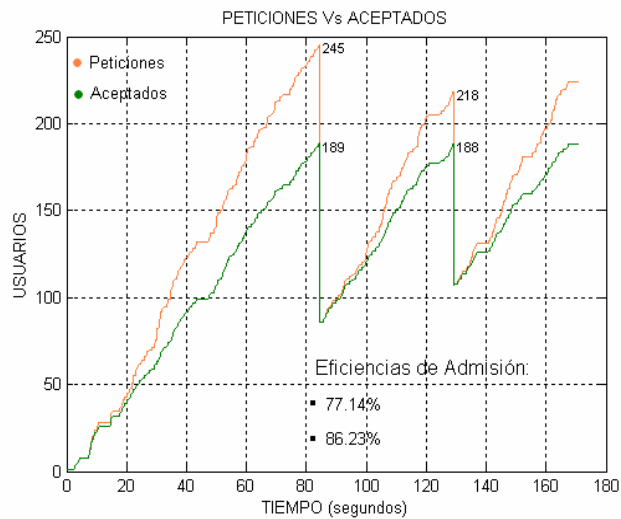


Figura 5.10d. Estrategia de control de admisión con despachos cada 4 segundos

De las gráficas mostradas en esta evaluación podemos concluir que:

- Es necesario que el valor del tiempo entre despachos no excluya la operación de alguna de las estrategias sobre las cuales el esquema RRM esta diseñado.
- Además este valor debe ser tal que la entrega de los paquetes sea lo más rápida posible, considerado la importancia que el retardo tiene en dos de las cuatro clases de servicio definidas en UMTS.

Así pues, en resumen esto radica en definir un valor para el tiempo entre despachos donde exista un equilibrio entre estos dos aspectos.

### 5.8.6. Impacto al variar el nivel de los umbrales $\eta_{CR}$ y $\eta_{CD}$

Considerando las conclusiones obtenidas de las simulaciones realizadas en el punto anterior, a continuación se presenta una posible solución basada en colocar los umbrales  $\eta_{CR}$  y  $\eta_{CD}$  al 20% y 30% de la carga total, respectivamente. Bajo este planteamiento la Figura 5.11a muestra el comportamiento del control de la congestión con despachos cada segundo. Con estos valores podemos observar que los tiempos entre congestión se incrementan llegando a ser parecidos a los obtenidos en el punto 5.7.4 pero ahora con una separación entre umbrales del 10%.

Más aún en la figura 5.11b se muestra una mejora en la eficiencia de admisión (hasta del 94.20% siendo el caso que presenta la mejor eficiencia de admisión al RRM), debido a que con despachos rápidos existen mas localidades desocupadas en los buffers, resultando un mayor incremento en la cantidad de usuarios que pueden ser aceptados. Además como los paquetes son entregados en un menor tiempo los servicios que consideran el retardo como algo crítico pueden experimentar su mejor comportamiento.

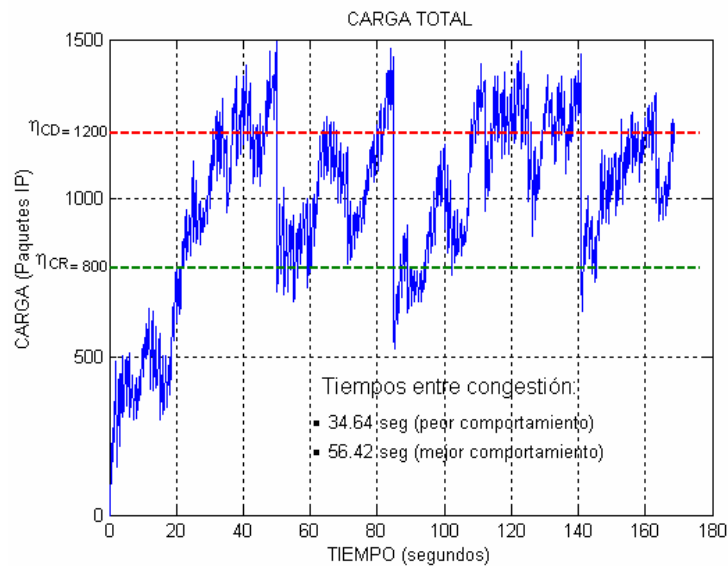


Figura 5.11a. Estrategia de control de la congestión con despachos cada 1 segundo

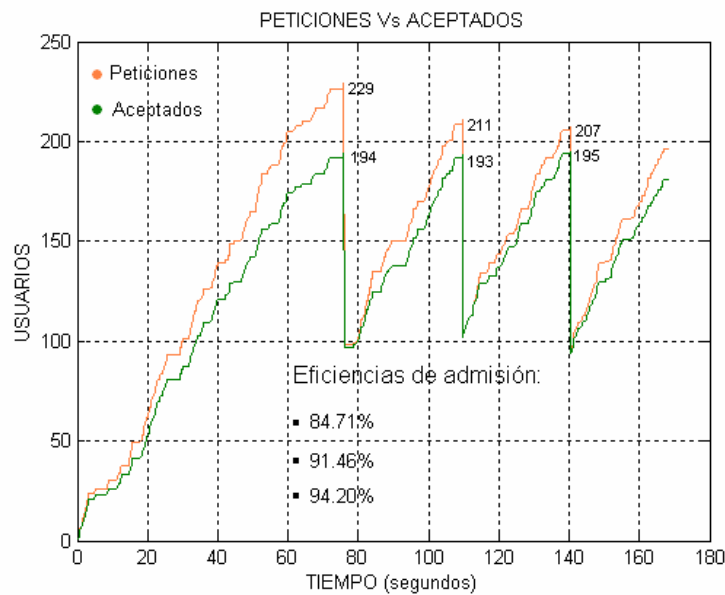


Figura 5.11b. Estrategia de control de admisión con despachos cada 1 segundo

La conclusión de esta simulación es que aún cuando se obtuvieron muy buenos resultados en las estrategias implementadas en el esquema RRM, no es considerada como la mejora del esquema, ya que colocar los umbrales  $\eta_{CR}$  y  $\eta_{CD}$  en un nivel muy bajo causa que se desaproveche buena cantidad de la capacidad de los buffers.

### 5.8.7. Impacto al variar el tamaño de los paquetes

Dentro de las especificaciones para la QoS en UMTS se reporta que el tamaño de las SDUs (en la aplicación cada SDU es considerada como un paquete IP) puede variar de 0 a 1500 bytes (ver tabla 3.2), considerando lo anterior, se lleva a cabo la evaluación de la QoS con paquetes de 256 y 1024 bytes (además la de 512 bytes antes considerada). La finalidad de esta emulación es verificar qué posible mejora o deficiencia presenta el esquema desarrollado, en este sentido, a continuación se muestran los resultados obtenidos en ambos casos.

#### 5.8.7.1. Paquetes de 256 Bytes

Las figuras 5.12a y 5.127b muestran el control de la congestión y de admisión para paquetes de 256 bytes respectivamente. Primero para el control de admisión se observa que el cambio en el tamaño de los paquetes, repercute tanto en una disminución de la eficiencia de admisión como en el tiempo que transcurre para alcanzarse el umbral  $\eta_{max}$ , esto último refleja las veces que el proceso de desconexión tiene que entrar en operación.

La eficiencia de admisión se ve afectada a consecuencia de que:

- A menor tamaño de los paquetes es necesario una mayor cantidad de estos para responder al servicio solicitado (ver tabla 3-2).
- Y a mayor cantidad de paquetes para un servicio dado, mayor cantidad de localidades son necesarias en los buffers y por tanto una menor probabilidad de aceptar una nueva petición.

En lo referente a la cantidad de veces que se alcanza el umbral  $\eta_{max}$  (en este caso solo fue alcanzado en una ocasión), se presentó de esta manera ya que fue necesario disponer de más tiempo para leer una mayor cantidad de paquetes de los servicios

solicitados por los usuario, y por tanto la cantidad de usuarios atendidos fue menor. Con respecto al control de la congestión no observamos ninguna variación para paquetes de 256 bytes.

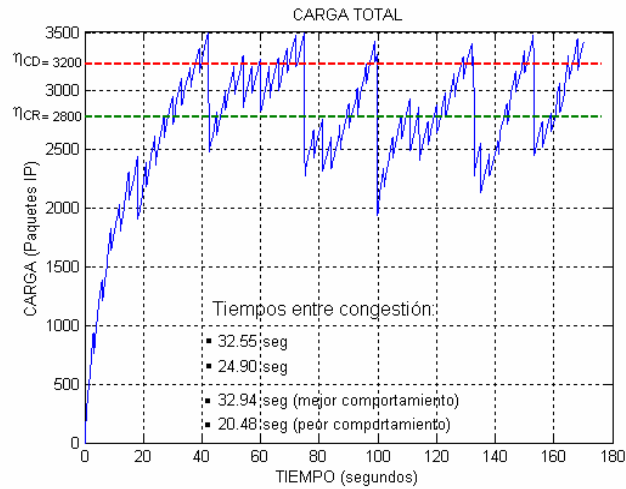


Figura 5.12a. Estrategia de control de la congestión paquetes de 256 Bytes

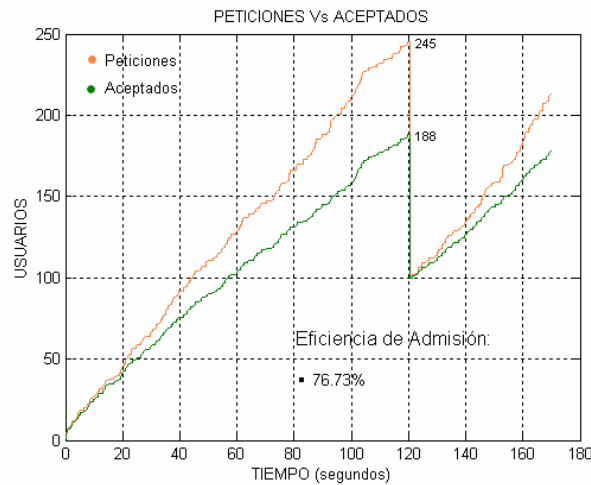


Figura 5.12b. Estrategia de control de admisión paquetes de 256 Bytes

### 5.8.7.2. Paquetes de 1024 Bytes

En el punto anterior la eficiencia de admisión se ve afectada por considerar paquetes de tamaño pequeño, en la estrategia de admisión mostrada en la Figura 5.13a se presenta el comportamiento opuesto para paquetes de 1024 bytes.

Este comportamiento opuesto es debido a que:

- ◆ A mayor tamaño de los paquetes es necesario una menor cantidad de estos para responder a un servicio solicitado (ver tabla 5.2).

- ◆ Y a menor cantidad de paquetes para un servicio dado, menor cantidad de localidades son necesarias y por tanto existe una mayor probabilidad de aceptar una nueva petición

El hecho de observar que más veces se alcanzó el umbral  $\eta_{max}$ , es debido a que al requerir una menor cantidad de paquetes para los servicios solicitados, fue posible atender a una mayor cantidad de usuarios. Por último el control de la congestión y admisión de la Figura 5.12c y Figura 5.12d, respectivamente, muestra un comportamiento sin cambios para paquetes de 1024 bytes.

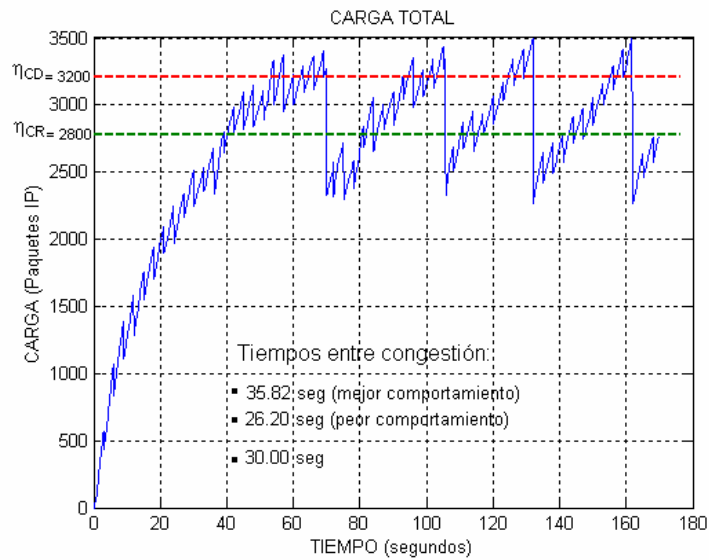


Figura 5.12c. Estrategia de control de la congestión de paquetes de 1024 bytes

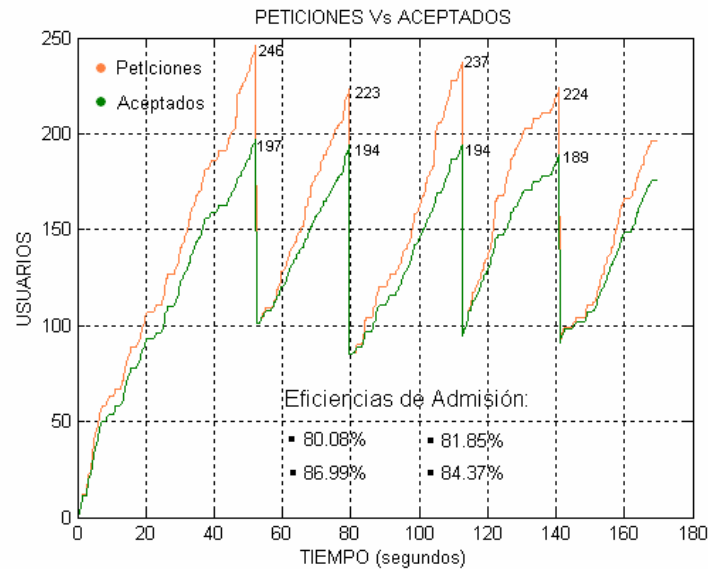


Figura 5.12d. Estrategia de control de admisión de paquetes de 1024 bytes

De las simulaciones realizadas para paquetes de 256 y 1024 bytes, se concluye que el esquema RRM únicamente presentará variaciones en la estrategia de control de admisión. En el caso de paquetes de menor tamaño se presenta como un retardo al tener que procesar una mayor cantidad de paquetes, contrario al caso donde se utilizan paquetes de mayor tamaño. Para finalizar, los resultados obtenidos en este caso no muestran problemas que indiquen algún mal de funcionamiento del esquema, dejando en claro que el parámetro reportado en UMTS sobre el tamaño de las SDUs puede ser aplicado para el esquema desarrollado.

### 5.8.8. Valores óptimos esquema RRM

Como se mencionó anteriormente la mejora de este trabajo esta basada en proponer los valores más adecuados para un mejor desempeño o funcionamiento del esquema RRM, y con esto conseguir una eficiencia aceptable en la administración de la QoS. Los valores que proponemos se muestran en la tabla 5.6 y son aquellos para los cuales se presenta el mejor comportamiento en las diferentes estrategias consideradas. Los valores propuestos están fundamentados en el análisis realizado a todos los casos antes expuestos y que están reportados como resultados de investigación.

Parámetro	Valor
Separación entre los umbrales $\eta_{CD}$ y $\eta_{CR}$	20%
Nivel del umbral de congestión $\eta_{CD}$	80%
Nivel del umbral fuera de congestión $\eta_{CR}$	70%
Tiempo para activar el control de congestión $\Delta T_{CD}$	3 seg.
Tiempo para desactivar el control de congestión $\Delta T_{CR}$	1 seg.
Factor de Spreading $SF_i$	256
Umbral de admisión $\eta_{max}$	0.95
Tiempo entre despachos	3 seg.
Longitud de cada buffers	1000 localidades
Tamaño de los paquetes	512 bytes
Tiempo de simulación	3 minutos

Tabla 5.6. Valores propuestos para el mejor desempeño

La figura 5.13a muestra la estrategia de control de la congestión en donde la carga presenta tiempos mas holgados entre congestión como medida de la eficiencia para



esta estrategia. Como conclusión para esta estrategia el criterio considerado arrojo buenos resultados.

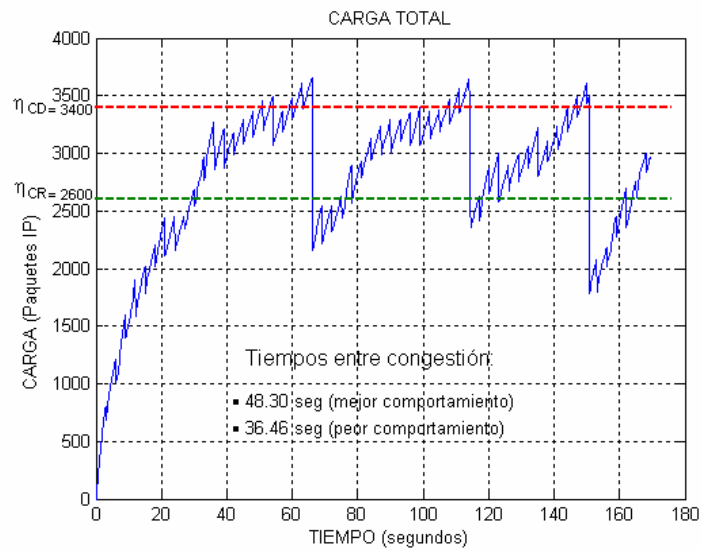


Figura 5.13a. Estrategia de control de la congestión mejorada

Con respecto a la eficiencia de admisión la Figura 5.13b muestra un valor del 72.28% el cual es mayor al 70% como valor de referencia para establecer si se cumple o no con un buen porcentaje de usuarios admitidos. En la Figura 5.13c se observa la cantidad de usuarios por clase de servicio.

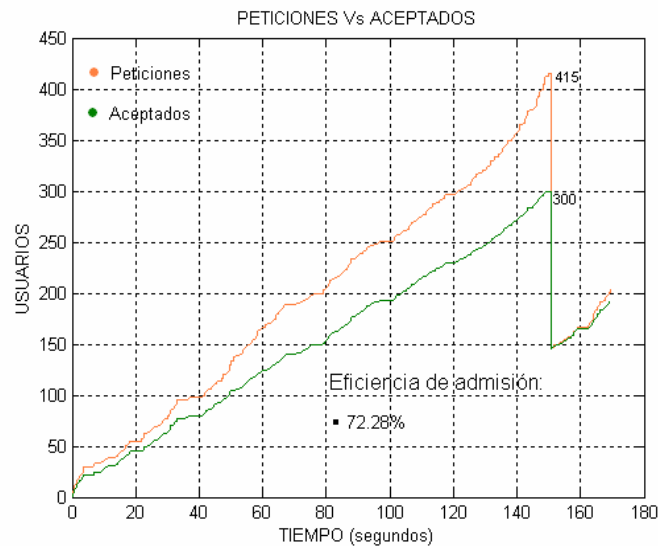


Figura 5.13b. Estrategia de control de admisión mejorada

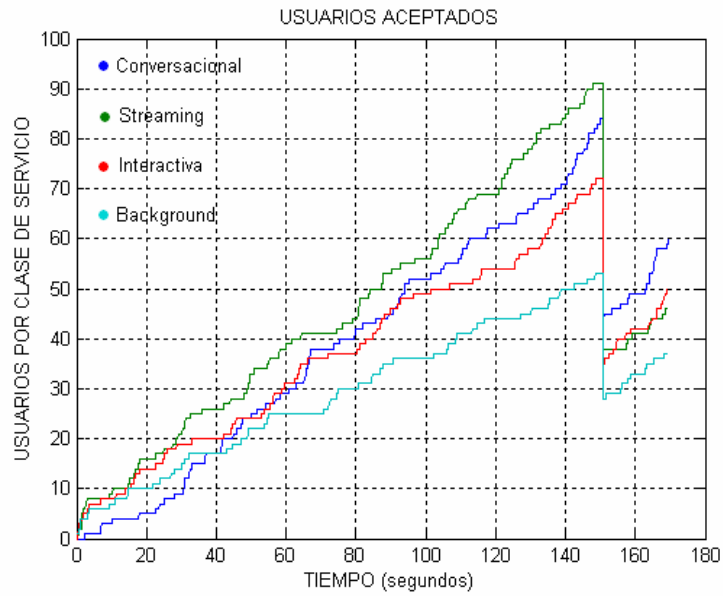


Figura 5.13c. Usuarios admitidos por clase de servicio para valores óptimos

En la Figura 5.13d se representa nuevamente el comportamiento de la carga de la clase de servicio Background. Como se puede observar el comportamiento es muy parecido al mostrado en la Figura 5.6d. Por tanto se concluye que los parámetros propuestos no afectan el comportamiento de la carga, la cuál se sigue comportando en función a las características propias de cada una de las cuatro clases de servicio. En la Figura 5.13e se muestra el comportamiento de la carga de la clase de servicio Interactiva, la clase de servicio Streaming es mostrada en la Figura 5.13f y finalmente en la Figura 5.13g se presenta la clase de servicio conversacional.

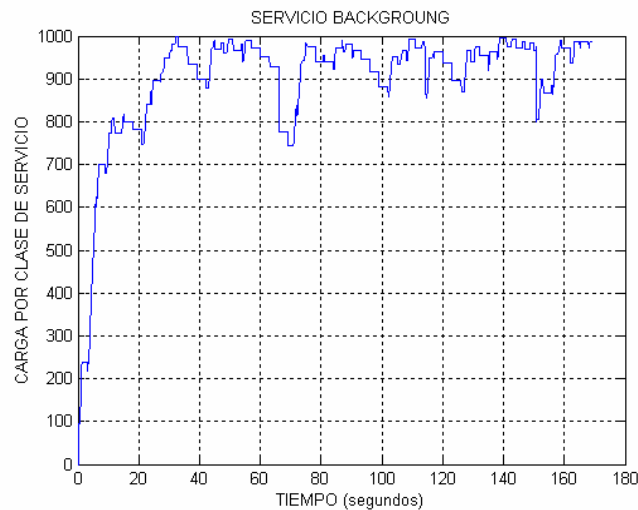


Figura 5.13d. Carga del servicio Background

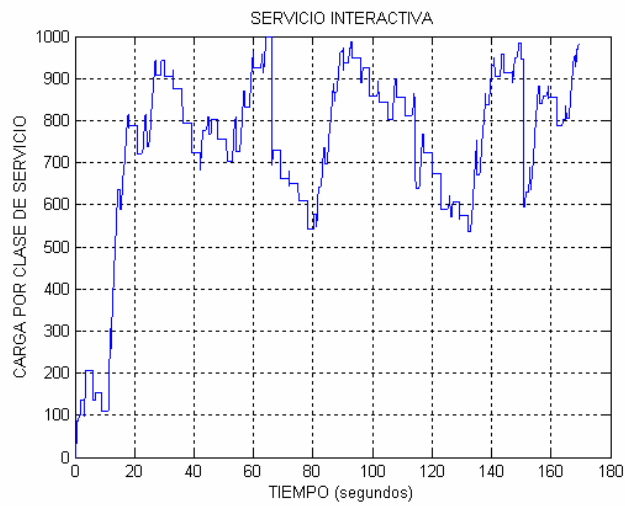


Figura 5.13e. Carga del servicio Interactivo

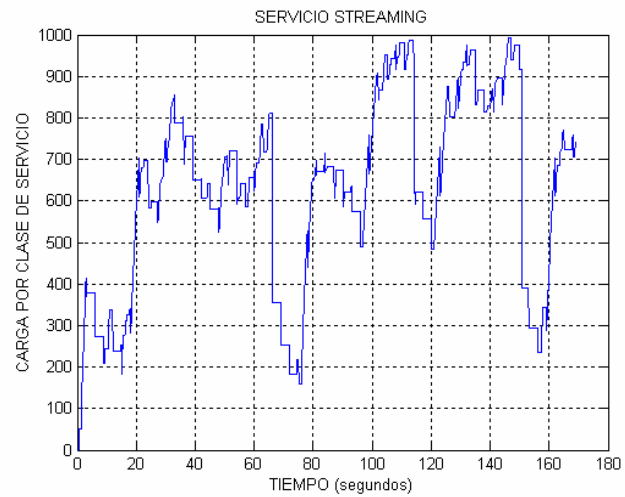


Figura 5.13f. Carga del servicio Streaming

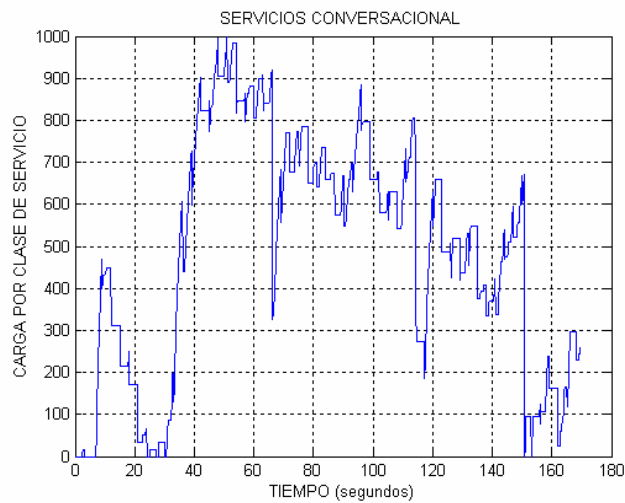


Figura 5.13g. Carga del servicio Conversacional



## CONCLUSIONES

Hoy en día Internet y la telefonía móvil captan el mayor interés dentro del mundo de las telecomunicaciones, como muestra de ellos esta el gran crecimiento en el número de usuarios que últimamente optan por utilizar este tipo de servicios. Internet crece a un ritmo superior al 100% anual mientras que la telefonía móvil lo hace entre 40% y 60%, cifras que revelan claramente la preferencia de estos servicios con respecto a la telefonía fija que lo hace a un ritmo entre 5% y 10% en los países mas desarrollados. En este sentido se espera que a fines del año 2002 el Internet alcance aproximadamente 600 millones de usuarios mientras que la telefonía celular será de 1000 millones de usuarios para fines del 2003. Por esto actualmente son objeto de intenso estudio en el ámbito mundial y por parte de esta tesis.

Con respecto a UMTS se concluye que:

- Un aspecto clave es que gracias al éxito que hasta la actualidad ha tenido el sistema GSM al cubrir más del 60% de los usuarios móviles en todo el mundo, UMTS siendo la evolución de GSM se perfila como el estándar global para las comunicaciones móviles de 3G.
- En estos momentos UMTS se presenta como la culminación de la convergencia de Internet y las redes móviles, con la cual los usuarios accederán a contenidos y servicios multimedia de banda ancha independientemente del lugar donde se encuentren.
- En el sistema UMTS se esperan una gran cantidad de aplicaciones y servicios en donde la calidad, seguridad y fiabilidad resultan ser los tres factores más importantes que se han considerado a la hora de la implementación de este nuevo sistema.
- También es casi un hecho de que UMTS englobara al estándar mundial que se espera para las comunicaciones móviles de 3G ya que actualmente en muchas partes del mundo y principalmente en Europa se encuentran varios grupos de

trabajo que están presentando propuestas para la obtención de un sistema con grandes capacidades

Con relación a la investigación desarrollada se desprenden las siguientes conclusiones:

- Una nueva arquitectura de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes en la interfaz se presenta como la forma de dar cabida a los nuevos servicios de datos y acceso a internet que al parecer cada día toman ventaja sobre los servicios de voz que eran el servicio primordial proporcionado por las redes de 2G.
- Además el diseño de una red inalámbrica de 3G totalmente IP separa los componentes de red de acceso por radio y del núcleo permitiendo así que un núcleo de red común con conmutación de paquetes (por ejemplo GPRS) se use para redes de acceso por radio de GSM/EDGE y UMTS.
- Del análisis hecho a los esquemas de administración de la QoS encontrados en el estado del arte, el aplicado a la administración de los recursos de radio se presenta como el de mayor impacto en la calidad entregada al usuario final, esto debido a la nueva tecnología de acceso (W-CDMA) en UMTS y que tiene que ver con lograr una mejor distribución de los recursos en la interfaz inalámbrica debido a que es un recurso escaso.

En lo que corresponde a la aportación de este trabajo las conclusiones son:

- El esquema propuesto fue implementado para administrar la QoS de las diferentes clases de servicio contempladas en UMTS considerando los parámetros reportados en las especificaciones realizadas por el 3GPP.
- Se propuso un esquema administrador de recursos de radio para administrar la QoS en UMTS presentando una solución a este aspecto crucial de las nuevas redes de paquetes, con aceptable eficiencia de admisión de usuarios y con un práctico algoritmo de control de la congestión.
- Se puso de manifiesto la ventaja que tiene la diferenciación de los servicios como una forma de priorización de tráfico esto como acción por parte del clasificador de paquetes.
- La lógica implementada en el despachador de tráfico se fundamenta en las características de retardo máximo permitido
- En el esquema de RRM propuesto permitió comprobar el impacto que tiene el factor de spreading en la cantidad de usuarios admitidos al sistema.

## **TRABAJOS FUTUROS.**

Como posibles trabajos futuros que se pueden llevar acabo en base al trabajo desarrollado tenemos:

- a) La simulación del esquema RRM con paquetes de tamaño variable.
- b) Llevar acabo la implementación del esquema propuesto sobre un simulador de eventos discretos (por ejemplo OPNET) para lograr un funcionamiento en paralelo del RRS con el resto de los elementos. Se espera al hacer esto obtener una curva de carga más suavizada y un mejor comportamiento del RRM.
- c) Llevar acabo simulaciones para otros parámetros que aparezcan próximamente estandarizados, de modo que sea posible comparar la conveniencia de uno u otro. La cantidad de casos de estudio es amplísima.
- d) Ampliación de los algoritmos de diferenciación implementados. Estos nuevos algoritmos pueden estar basados en disciplinas de servicio bien conocidas u originales.
- e) Caracterización de nuevos servicios. Mediante la creación de nuevos modelos de tráfico, sería posible la inclusión de nuevos servicios y, de este modo, evaluar su impacto en las prestaciones del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- [3G TR 25.853] 3GPP TR 25.853 v4.0.0. Delay Budget within the Access Stratum.
- [3G TR 25.934] 3GPP TR 25.934 v4.0.0. QoS Optimization for AAL Type 2 Connections over Iub and Iur interfaces.
- [3G TR 25.946] 3GPP TR 25.946 v4.0.0. RAB QoS Negotiation over Iu.
- [3G TS 21.101] 3GPP TS 21.101 v3.12.0. Technical Specifications and Technical Reports for a UTRAN-based 3GPP system.
- [3G TS 21.102] 3GPP TS 21.102 v4.5.0. Technical Specifications Group Services and System Aspects; 3<sup>rd</sup> Generation mobile system Release 4 specifications (Release 4).
- [3G TS 21.103] 3GPP TS 21.103 v5.0.0. Technical Specifications Group Services and System Aspects; 3<sup>rd</sup> Generation mobile system Release 5 specifications (Release 5).
- [3G TS 21.900] 3GPP TS 21.900 v3.6.0. Technical Specification Group working methods.
- [3G TS 22.105] 3GPP TS 22.105 v3.10.0. Services and Service capabilities.
- [3G TS 23.101] 3GPP TS 23.101 v3.1.0. General UMTS Architecture.
- [3G TS 23.107] 3GPP TS 23.107 v4.1.0. QoS Concept and Architecture.
- [3G TS 23.930] 3GPP TS 23.930 v4.0.0. Iu Principles.
- [3G TS 25.215] 3GPP TS 25.215 v3.12.0. Physical layer, Measurements (FDD).
- [3G TS 25.301] 3GPP TS 25.301 v3.11.0. Radio Interface Protocol Architecture.
- [3G TS 25.302] 3GPP TS 25.302 v4.0.0. Services provided by the physical layer.
- [3G TS 25.321] 3GPP TS 25.321 v4.1.0. MAC Protocol Specification.
- [3G TS 25.322] 3GPP TS 25.322 v4.1.0. RLC Protocol Specification.
- [3G TS 25.323] 3GPP TS 25.323 v3.10.0. PDCP Protocol Specification.
- [3G TS 25.331] 3GPP TS 25.331 v3.15.0. Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification.
- [3G TS 25.401] 3GPP TS 25.401 v4.0.0. UTRAN Overall Description.
- [3G TS 25.402] 3GPP TS 25.402 v4.0.0. Synchronization in UTRAN.



- [3G TS 25.415] 3GPP TS 25.415 v3.12.0. UTRAN Iu Interface user plane protocols.
- [3G TS 25.427] 3GPP TS 25.427 v4.1.0. UTRAN Iur and Iub interface user plane protocols for DCH data streams.
- [AF-TM] The ATM Forum Technical Committee. Traffic Management Specification - Version 4.1(af-tm-0121-000).
- [ATM-TM] The ATM Forum Technical Committee.
- [All01] ALLALI, H. EL, HEIJENK, G., "Resource management in IP-based Radio Access Networks", Proceedings CTIT Workshop on Mobile Communications (Febrero 2001).
- [Aky99] AKYILDIZ, I. F., LEVINE, D. A., "A Slotted CDMA Protocol with BER Scheduling for Wireless Multimedia Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 7, No. 2, April 1999, pp. 146-158.
- [Bol98] BOLDT, M., WEISS, U., SIGLE, R. AND DROPMANN, U., "Modeling an ATM-Based Access Network for 3rd Generation Mobile Communication Networks", IEEE Vehicular Technology Conference, 1998, pp. 2590-2593.
- [Chu00] CHUNG, J.H., KWON, K.H., CHO, K.H., SUNG, D.K. AND JANG, O.H., "Performance Evaluation of an AAL2 Link Transmission Scheme for Voice and Data Packets in BS-BSC Links, IEEE Vehicular Technology Conference, 2000.
- [Dix01] DIXIT, S., GUO, Y. AND ANTONIOU, Z., "Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks", IEEE Communication Magazine, (Febrero 2001), pp.125-133.
- [Ene99] ENEROTH, G., FODOR, G., LEIJONHUFVUD, A., RÁCZ, A. AND SZABÓ, I., "Applying ATM/AAL2 as a Switching Technology in Third-Generation Mobile Access Networks, IEEE Communications Magazine, (Junio 1999), pp.112-122.
- [ETSI] ETSI TR 101 112, Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS v3.2.0.
- [Gudm91] M. Gudmundson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems", IEE Electronic Letters, Vol. 27, No. 23, November 1991, pp. 2145-2146.
- [Hei01] HEIJENK, G., KARAGIANNIS, G., REXHEPI, V. AND WESTBERG, L. "DiffServ Resource Management in IP-based Radio Access

- Networks”, Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 2001.
- [Her00-a] HERNANDO, J.M. Y LLUCH, C., Comunicaciones Móviles de Tercera Generación, Volumen I.1<sup>a</sup> ed., Telefónica Móviles, 2000. ISBN 84-931836-1-X.
- [Her00-b] HERNANDO, J.M. Y LLUCH, C., Comunicaciones Móviles de Tercera Generación, Volumen II.1<sup>a</sup> ed., Telefónica Móviles, 2000. ISBN 84-931836-2-8.
- [Hol00] HOLMA, H. AND TOSKALA, A. WCDMA for UMTS. Revised Edition. John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-48687-6.
- [Hol02] HOLMA, H. AND TOSKALA, A. WCDMA for UMTS. Revised Edition. John Wiley & Sons, 2002. ISBN 0-471-72.51-8.
- [Isn00-a] ISNARD, O. Etude du protocole AAL2 dans le réseau d'accès radio terrestre UMTS. Tesis doctoral, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 2000.
- [Isn00-b] ISNARD, O., BEYLOT, A. AND PUJOLLE, G. “Handling Traffic Classes at AAL2/ATM layer over the Logical Interfaces of the UMTS Terrestrial Radio Access Network”, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication,(Septiembre 2000), pp. 1464-1468.
- [ITU I.366.1] ITU-T Recommendation I.366.1, Segmentation and Reassembly Service Specific Convergence Sublayer for the AAL Type 2.
- [Jorg01] L. Jorguseki, J. Farserotu, and R. Prasad, “Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 2, Feb. 2001, pp. 117–23.
- [Kar95] KAROL M.J., Z. Liu and K.Y. Eng, Distributed-queueing request update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks, ICC'95 Conference Record, Seattle, USA (IEEE, 1995) pp. 1224-1231.
- [Lam80] LAM S.S., “Packet Broadcast Networks – A Performance Analysis of the R-ALOHA Protocol”, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-29, No. 7, julio 1980, pp. 596-603.
- [Lim00] LIM, H., LEE, S., LEE, D., KIM, K., SONG, K. AND OH., C, “A New AAL2 Scheduling Algorithm for Mobile Voice and Data Services over

- ATM”, ITCCSCC, Vol.1 (Julio 2000), pp. 229-232.
- [McD99] MCDYSAN, D. AND SPOHN, D. ATM Theory and Applications. Signature Edition. McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-045346-2.
- [Moustafa02] MOUSTAFA, N. Mohamed. QoS-Enabled Broadband Mobile Access to Wireline Networks. IEEE Communications Magazine, April 2002, pp. 50 - 56.
- [Nand91] NANDA S., GOODMAN D.J., TIMOR U., “Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 3, agosto 1991, pp. 584-598.
- [Per99] PEREZ Jordi, AGUSTIN Ramón, SALLEN Oriol, "Performance Analysis of an ISMA CDMA Packet Data Network", Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, VTC'99 Fall. Amsterdam, septiembre 1999.
- [Pol96] POLLINI, G.P., “Trends in Handover Design” IEEE Communications Magazine, Marzo 1996.
- [Sai00-b] SAITO, H. “Bandwidth Management for AAL2 Traffic”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.49 (Julio 2000), nº4.
- [Sallent01] SALLEN, Oriol. An Emulator Framework for a New Radio Resource Management for QoS Guaranteed Services in W-CDMA Systems. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 19, NO. 10, OCTOBER 2001, pp 1893 - 1904
- [Sub99] SUBBIAH, B. AND DIXIT, S., “Low-bit-rate Voice and Telephony over ATM in Cellular/Mobile Networks”, IEEE Personal Communications, (Diciembre 1999).
- [Swain99] SWAIN, S. Robert. UMTS – A 21<sup>st</sup> Century System. March 1999. <http://www.vtt.fi/tte/nh/UMTS/umts.html>
- [Tan96] Tanenbaum, A. S. (1996): *Computer Networks - third edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- [Tri98] TRIPATHI, N.D., et al “Handoff in Cellular System” IEEE Personal Communications, December 1998.
- [Val99] VALKÓ, A., RÁCZ, A. AND FODOR, G., “Voice QoS in Third-Generation Mobile Systems”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.17 (Enero 1999), nº1.
- [Vit95] VITERBI, A. J. CDMA: Principles of Spread Spectrum

- Communication. Editorial Addison-Wesley, 1995.
- [Web3GPP] 3GPP Home Page <http://www.3gpp.org>
- [Web2507] RFC2507 Home Page <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2507.html>
- [WebARROWS] Advanced Radio Resource Management for Wireless Services (ARROWS) <http://www.arrows-ist.upc.es/>
- [WebUMTSFor] UMTS Forum Home <http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/Home>
- [WebUNSniffer] Ultra Network Sniffer & Packet Sniffer <http://www.gjpssoft.com/UltraNetSniffer/>
- [Won97] WONG , D., Lim T.J., "Soft Handoffs in CDMA Mobiles System", IEEE Personal Communications, December 1997.
- [Xu92-93] XU Wenxin, CAMPBELL Graham, "A Near Perfect Stable Random Access Protocol for a Broadcast Channel", IEEE Proceedings of ICC'92, Vol. 1, pp. 0370-0374.
- [Yoo01] YOO, S. AND PARK, H., "Quality-of-Service Provisioning for Mobile Voice and Data Services over ATM Network using AAL2", 3rd ICACT, (Febrero 2001).
- [Zdu97] ZDUNEK, Kenneth J., UCCI, Donald R., LOCICERO Joseph L., "Packet Radio Performance of Inhibit Sense Multiple Access with Capture", IEEE Trans. On Communications, vol 45, n°2, February 1997, pp 164-167.

## ACRÓNIMOS

2G	2ª Generation. Segunda Generación.
3G	3ª Generation. Tercera Generación.
3GPP	Third Generation Partnership Project Proyecto de Asociación Tercera Generación
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2. Proyecto de Asociación Tercera Generación 2.
AAL	ATM Adaptation Layer Capa de Adaptación ATM
AAL2	ATM Adaptation Layer 2 Capa de Adaptación ATM 2
AAL5	ATM Adaptation Layer 5 Capa de Adaptación ATM 5
ABR	Available Bit Rate Velocidad Binaria Disponible
ALCAP	Access Link Control Application Part Parte de Aplicación de Control del Enlace de Acceso
AM	Acknowledged Mode Modo Asentido
AMPS	Advanced Mobile Phone Service Servicio Avanzado de Telefonía Móvil
AMR	Adaptive Multi-Rate Velocidad Múltiple Adaptativa
ANSI	American National Standards Institute Instituto de Normas de los Estados Unidos
AP	Application Part Parte de Aplicación

ARP	Address Resolution Protocol Protocolo de Resolución de Direcciones
ARQ	Automatic Repeat Request Petición Automática de Repetición
AS	Access Stratum Estrato de Acceso
ATM	Asynchronous Transfer Mode Modo de Transferencia Asíncrono
BCCH	Broadcast Control Channel Canal de Control de Difusión
BCH	Broadcast Channel Canal de Difusión
BMC	Broadcast/Multicast Channel Canal de Difusión/Multicast
BSS	Base Station Subsystem Subsistema de Estaciones Base
CAC	Connection Admission Control Control de Admisión de Conexiones
CBR	Constant Bit Rate Velocidad Binaria Constante
CCCH	Common Control Channel Canal de Control Común
CCTrCH	Coded Composite Transport Channel Canal de Transporte Compuesto Codificado
CDMA	Coded Division Multiple Access Acceso Múltiple por División de Código
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administration Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones
CID	Channel Identifier Identificador de Canal
CLR	Cell Loss Ratio Ratio de Pérdida de Células
CM	Connection Management Gestión de Conexiones

CN	Core Network Núcleo de Red
CPCH	Common Packet Channel Canal Común de Paquetes
CPS	Common Part Sublayer Subcapa de Parte Común
CRC	Cyclic Redundancy Check Verificación por Redundancia Cíclica
CS	Circuit Switched Conmutación de Circuitos
CTC	Common Traffic Channel Canal de Tráfico Común
CTD	Cell Transfer Delay Retardo de Transferencia de Células
D-AMPS	Digital AMPS AMPS Digital
DCCH	Dedicated Control Channel Canal de Control Dedicado
DCH	Dedicated Channel Canal Dedicado
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications Telecomunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas
DL	Downlink Descendente
DRNC	Drift RNC RNC Auxiliar
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA CDMA por Secuencia Directa
DSCH	Downlink Shared Channel Canal Compartido Descendente
DTCH	Dedicated Traffic Channel Canal de Tráfico Dedicado
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution Tasas Mejoradas de Datos para la Evolución de GSM

ETSI	European Telecommunications Standards Institute Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
FACH	Forward Access Channel Canal de Acceso Descendente
FDD	Frequency División Duplex Dúplex por División de Frecuencia
FDMA	Frequency División Multiple Access Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FLR	Frame Loss Ratio Ratio de Pérdidas de Tramas
FP	Frame Protocol Protocolo de Trama
GGSN	Gateway GPRS Support Node Nodo Pasarela de Soporte de GPRS
GMSC	Gateway MSC MSC Pasarela
GPRS	General Packet Radio Service Servicio General de Radiocomunicaciones por Paquetes
GSM	Global System for Mobile Communications Sistema Global para comunicaciones Móviles
GSN	GPRS Support Node Nodo de Soporte GPRS
HEC	Header Error Control Control de Errores de Cabecera
IETF	Internet Engineering Task Force Grupo de Tareas de Ingeniería en Internet
IMA	Inverse Multiplexing for ATM Multiplexación Inversa para ATM
IMAP	Internet Message Access Protocol Protocolo de Acceso a Mensajes de Internet
IMT-2000	International Mobile Telecommunications – 2000 Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2000
IP	Internet Protocol Protocolo de Internet



ITU	International Telecommunications Union Unión Internacional de Telecomunicaciones
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la ITU
MAC	Medium Access Control Control de Acceso al Medio
ME	Mobile Equipment Equipo Móvil
MM	Mobility Management Gestión de la Movilidad
MSC	Mobile Switching Centre Centro de Conmutación Móvil
MT	Mobile Termination Terminal Móvil
NAS	Non-Real Time Tiempo No Real
nrt-VBR	Non-Real Time Variable Bit Rate VBR en Tiempo No Real
NTT	Nippon Telegraph & Telephone Compañía Japonesa de Telégrafo y Teléfono
OAM&P	Operations, Administration, Maintenance & Provisioning Operación, Administración, Mantenimiento y Provisión
PCCH	Paging Control Channel Canal de Control de Aviso
PCH	Paging Channel Canal de Aviso
PCR	Peak Cell Rate Velocidad de Células de Pico
PDCP	Packet Data Convergence Protocol Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos
PDh	Plesiochronous Digital Hierarchy Jerarquía Digital Plesiócrona
PDU	Protocol Data Unit Unidad de Datos de Protocolo

PHY	Physical layer Nivel Físico
PS	Packet Switched Conmutación de Paquetes
QoS	Quality of Service Calidad de Servicio
RAB	Radio Access Bearer Portadora de Acceso Radio
RACH	Random Access Channel Canal de Acceso Aleatorio
RANAP	Radio Access Network Application Part Parte de Aplicación para Red de Acceso Radio
RB	Radio Bearer Portadora Radio
RLC	Radio Link Control Control del Enlace Radio
RM	Resource Management Gestión de Recursos
RNC	Radio Network Controller Controlador de Red Radio
RNL	Radio Network Layer Capa de Red Radio
RNS	Radio Network Subsystem Subsistema de Red Radio
RNSAP	Radio Network Subsystem Application Part Parte de Aplicación para Subsistema de Red Radio
RRC	Resource Radio Controller Control de Recursos Radio
RT	Real Time Tiempo Real
RTP	Real Time Protocol Protocolo de Tiempo Real
rt-VBR	Real-Time Variable Bit Rate VBR en Tiempo Real

SAP	Service Access Point Punto de Acceso al Servicio
SDU	Service Data Unit Unidad de Datos de Servicio
SGSN	Serving GPRS Support Node Nodo Servidor de Soporte GPRS
SHCCH	Shared Channel Control Channel Canal de Control Compartido
SIM	Subscriber Identity Module Modulo de Identidad del Abonado
SRNC	Serving RNC RNC Servidor
SRNS	Serving RNS RNS Servidor
TB	Transport Block Bloque de Transporte
TDD	Time División Duplex Dúplex por División de Tiempo
TDMA	Time División Múltiple Access Acceso Múltiple por División de Tiempo
TE	Terminal Equipment Equipo Terminal
TF	Transport Format Formato de Transporte
TFC	Transport Format Combination Combinación de Formatos de Transporte
TFCS	Transport Format Combination Set Conjunto de Combinaciones de Formatos de Transporte
TFS	Transport Format Set Conjunto de Formato de Transporte
TM	Traffic Management Gestión de Tráfico
TNL	Transport Network Layer Capa de Red de Transporte

TR	Technical Report Reporte Técnico
TS	Technical Specification Especificación Técnica
TTI	Transmisión Time Interval Intervalo de Temporización de Transmisión
UBR	Unspecified Bit Rate Velocidad Binaria No Específica
UDD	Unconstrained Delay Data Datos sin Limitación de Retardo
UDP	User Datagram Protocol Protocolo de Datagramas de Usuario
UE	User Equipment Equipo de Usuario
UIM	User Identity Module Modulo de Identidad de Usuario
UL	Uplink Ascendente
UM	Unacknowledged Mode Modo No Asentido
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales
UNI	User Network Interface Interfaz Usuario-Red
UP	User Plane Plano de Usuario
USCH	Uplink Shared Channel Canal Compartido Ascendente
USIM	UMTS Subscriber Identity Module Modulo de Identidad de Abonado UMTS
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access Network Red de Acceso Radio Terrestre UMTS
UUI	User-to-User Indication Indicación Usuario a Usuario

VBR	Variable Bit Rate Velocidad Binaria Variable
VCC	Virtual Channel Connection Conexión de Canal Virtual
VPC	Virtual Path Connection Conexión de Ruta Virtual
WCDMA	Wideband Code División Múltiple Access Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha
WFQ	Weighted Fair Queuing Encolado Justo con Pesos
WRR	Weighted Round - Robin Servicio Cíclico con Pesos