CONTRIBUCIÓN AL DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED PARA LA INTEGRACIÓN DE SERVICIOS DE PAQUETES DE DATOS EN EL SISTEMA UMTS

Tesi Doctoral presentada en la
Universitat Politècnica de Catalunya

Autora: **Anna Umbert Juliana**
Directora: **Pilar Díaz Romero**

Julio 2008

Departament de Teoria
del Senyal i Comunicacions
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Contribución al diseño de la arquitectura de red para la integración de servicios de paquetes de datos en el sistema UMTS

Tesis Doctoral presentada en la
Universitat Politècnica de Catalunya

Autora: **Anna Umbert Juliana**
Directora: **Pilar Díaz Romero**

Julio 2004

T
04/119

Al Marc,

Agradecimientos

Vull agrair especialment l'ajuda i l'esforç de la meva directora de tesi, Pilar Díaz, en la realització d'aquest treball d'investigació, així com també a la resta del grup de comunicacions ràdio que m'han recolzat al llarg d'aquest temps.

Per altra banda no puc deixar d'agrair als meus pares, Josep i Mª Carme, i a tota la meva família el seu suport incondicional i la seva confiança en la meva capacitat de treball.

També he d'agrair a tots els meus amics, l'Eva i la Moni, el David i la Jose,.... que m'han suportat i ajudat tot aquest temps. I als més petits que han vingut al món durant la realització d'aquesta tesi i que ens donen alegria i ens ajuden a seguir endavant: el Pau, l'Aina, la Mireia, el Roger,... i molt especialment la Laia.

I per últim no puc deixar de mencionar el Marc, que m'ha ajudat i ha compartit amb mi les preocupacions i les hores de dedicació, i que espero em segueixi suportant quan acabi aquesta tesi.

De ben segur que sense tots vosaltres no hagués arribat fins aquí. Moltes gràcies.

Índice tesis

Capítulo 1.Introducción 1-1
1.1. Objetivos de la tesis 1-4
1.2. Organización de la tesis 1-5
1.3. Bibliografía 1-5

Capítulo 2.Aproximación a las comunicaciones móviles 2-1
2.1. Evolución de los sistemas de comunicaciones 2-1
2.1.1. La primera generación (1G) 2-2
2.1.2. La segunda generación (2G) 2-2
2.1.3. La generación dos y medio (2.5G) 2-6
2.1.4. La tercera generación (3G) 2-7
2.1.5. La cuarta generación (4G) 2-9
2.2. Proceso de especificación para la tercera generación 2-9
2.3. Servicios requeridos por los usuarios 2-16
2.4. Bibliografía 2-19

Capítulo 3.Descripción del sistema UMTS 3-1
3.1. Aspectos de interés del sistema UMTS 3-1
3.1.1. Especificación del UMTS 3-2
3.1.2. Fases de UMTS 3-3
3.1.3. Distribución de espectro 3-3
3.1.4. UMTS en España 3-6
3.1.5. Integración de tráfico de paquetes y circuitos 3-7
3.1.6. Calidad de Servicio (QoS) en UMTS 3-9
3.2. Técnicas de acceso múltiple 3-10
3.2.1. Acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA) 3-10
3.2.2. Acceso múltiple por división en tiempo (TDMA) 3-11
3.2.3. Acceso múltiple por división en código (CDMA) 3-12
3.2.3.1. La mejora de la eficiencia espectral en CDMA 3-15
3.2.3.2. Spreading and Despreading 3-16
3.2.3.3. Protección frente a interferencias 3-20
3.2.3.4. Los códigos de ensanchamiento 3-22
3.2.3.5. Canal radio multicamino y receptor Rake 3-23
3.2.3.6. Control de potencia 3-24
3.2.3.7. Traspaso con continuidad 3-27
3.3. Modelo de operación de UMTS 3-28
3.4. Arquitectura del sistema UMTS 3-31
3.4.1. El equipo de usuario (UE) 3-33
3.4.2. La red de acceso (UTRAN) 3-35
3.4.3. Núcleo de red (CN) 3-36
3.4.4. Arquitectura de protocolos 3-39
3.4.5. El interfaz radio (Uu) 3-41
3.4.5.1. Canales lógicos 3-43
3.4.5.2. Canales de transporte 3-44
3.4.5.3. Canales físicos 3-45
3.4.5.4. Correspondencia de canales en el modo FDD 3-48
3.4.5.5. Correspondencia de canales en el modo TDD 3-49
3.4.5.6. Servicios portadores 3-50
3.5. Bibliografía 3-52

Capítulo 4.Canal radio y capa física 4-1
4.1. Características del canal radio móvil 4-1
4.1.1. Pérdidas de propagación 4-3
4.1.2. Multicamino y dispersión temporal 4-3
4.1.3. Variabilidad temporal y dispersión en frecuencia 4-4
4.1.4. Caracterización en Banda Ancha 4-6
4.2. Modelos de canal radio para UMTS 4-9
4.3. Ruido y aproximación gaussiana de las interferentes 4-15
4.4. Descripción de la capa física 4-17
4.4.1. Organización de las transmisiones y tasa de chip 4-18
4.4.2. Modo FDD 4-19
4.4.2.1. Estructura de los canales físicos 4-20
4.4.2.2. Codificación y multiplexación 4-25
4.4.2.3. Ensanchamiento 4-30
4.4.2.4. Modulación 4-35
4.4.3. Modo TDD 4-36
4.4.3.1. Estructura de los canales físicos 4-37
4.4.3.2. Codificación y multiplexación 4-38
4.4.3.3. Ensanchamiento 4-40
4.4.3.4. Modulación 4-40
4.4.4. Diversidad 4-40
4.5. Implementación del canal radio y la capa física 4-43
4.5.1. Simulador de canal radio y capa física 4-43
4.5.1.1. Caracterización del sistema 4-44
4.5.1.2. El receptor RAKE 4-46
4.5.1.3. Filosofía del simulador 4-48
4.5.1.4. Funcionamiento del simulador 4-51
4.5.1.5. Entradas y salidas del simulador 4-52
4.5.1.6. Validaciones 4-54
4.5.2. Emulador de canal radio y capa física 4-55
4.5.2.1. Modelo oculto de Markov (HMM) 4-56
4.5.2.1.1. Problemas solucionables con HMM 4-59
4.5.2.1.2. Tipos de HMM 4-61
4.5.2.2. Emulación de canales radio 4-62
4.5.2.2.1. Requerimientos para el emulador de canal: 4-64
4.5.2.2.2. Proceso de desarrollo: 4-66
4.5.2.2.3. Descripción técnica 4-73
4.5.2.3. Validación del emulador 4-78
4.5.2.3.1. Criterios para la elección del número de estados 4-78
4.5.2.3.2. Validación de los errores 4-80
4.5.2.4. Cambio de canal: sin memoria de errores / con memoria de errores 4-84
4.6. Bibliografía 4-88

Capítulo 5.Capa de enlace 5-1
5.1. Descripción de la capa de enlace 5-1
5.2. Flujos de datos a través de las subcapas RLC y MAC 5-3
5.3. La subcapa MAC (Medium Access Control) 5-6
5.3.1. Servicios del MAC a las capas superiores 5-6
5.3.2. Funciones del MAC 5-6
5.3.3. Arquitectura de la subcapa MAC 5-8

5.3.4. Intercambio de información entre el MAC y la capa física 5-12
5.3.5. Implementación del MAC 5-15
5.3.5.1. Diseño MAC en lenguaje C 5-16
5.3.5.1.1. Fase 1 5-16
5.3.5.1.2. Fase 2 5-19
5.3.5.2. Diseño MAC en lenguaje SDL 5-23
5.3.5.2.1. Entidad MAC-b 5-24
5.3.5.2.2. Entidades MAC-d 5-25
5.3.5.2.3. TFC set elegidos 5-29
5.3.5.2.4. Algoritmo RRM implementado 5-30
5.3.5.2.5. Algoritmo MAC para selección del TFC 5-31
5.3.6. Validación 5-35
5.3.6.1. Validación para el diseño en C 5-35
5.3.6.2. Validación para el diseño en SDL 5-36
5.4. La subcapa RLC (Radio Link Control) 5-38
5.4.1. Servicios del RLC a las capas superiores 5-39
5.4.2. Funciones del RLC 5-39
5.4.3. Modos de operación 5-41
5.4.3.1. Modo Transparente (TM) 5-41
5.4.3.2. Modo Sin Confirmación (UM) 5-42
5.4.3.3. Modo Con Confirmación (AM) 5-43
5.4.4. Implementación del RLC 5-45
5.4.4.1. Diseño RLC en lenguaje C 5-46
5.4.4.1.1. Fase 1 5-46
5.4.4.1.2. Fase 2 5-48
5.4.4.2. Diseño RLC en lenguaje SDL 5-48
5.4.4.2.1. Implementación del Modo Con Confirmación (AM) 5-49
5.4.4.2.2. Implementación del Modo Transparente (TM) 5-53
5.4.4.2.3. Implementación del Modo Sin Confirmación (UM) 5-54
5.4.5. Validación 5-55
5.4.5.1. Validación para el diseño en C 5-55
5.4.5.2. Validación para el diseño en SDL 5-57
5.5. La subcapa PDCP (Packet Data Convergence Protocol) 5-63
5.5.1. Servicios del PDCP a las capas superiores 5-64
5.5.2. Funciones del PDCP 5-64
5.5.3. Protocolos de compresión de cabeceras 5-64
5.5.3.1. Robust Header Compression (ROHC) 5-65
5.5.3.1.1. Clasificación de los campos de la cabecera 5-68
5.5.3.1.2. El protocolo 5-69
5.5.3.2. IP header compression (IPHC) 5-70
5.5.3.2.1. El formato del paquete comprimido 5-71
5.5.3.2.2. El protocolo 5-73
5.5.4. Implementación del PDCP 5-75
5.5.4.1. Implementación ROCH 5-77
5.5.4.2. Implementación IPHC 5-80
5.5.5. Validación 5-81
5.5.6. Resultados 5-82
5.5.6.1. ROCH 5-82
5.5.6.2. IPHC 5-84
5.6. Bibliografía 5-86

Capítulo 6.Emulador de la red de acceso de UMTS 6-1
6.1. Descripción del emulador 6-2
6.2. Opciones de configuración 6-5
6.3. Estadísticas analizadas 6-6
6.4. Validación 6-7
6.5. Análisis realizados 6-9
6.5.1 Impacto del tamaño del paquete 6-10
6.5.2 Modo transparente versus modo reconocimiento 6-11
6.5.3 Efecto de la velocidad del móvil 6-12
6.5.4 Necesidad de códigos de canal 6-13
6.5.5 Influencia de la carga del sistema 6-14
6.5.6 Tráfico interactivo versus tráfico background 6-15
6.6. Conclusiones del estudio 6-18
6.7. Referencias 6-19

Capítulo 7.Conclusiones 7-1
7.1. Conclusiones de la tesis 7-1
7.2. Líneas futuras de investigación 7-5
7.3. Bibliografía 7-6

Apéndice I. Ejemplo de parámetros de un HMM AI-1

Apéndice II. El lenguaje de especificación SDL AII-1
AII.1. Historia AII-2
AII.2. Áreas de aplicación del lenguaje SDL AII-3
AII.3. SDL y otros lenguajes AII-3
AII.4. Modelo teórico SDL AII-4
AII.4.1 Estructura AII-5
AII.4.2 Comunicación AII-6
AII.4.3 Comportamiento AII-7
AII.4.4 Datos AII-10
AII.4.5 Herencia AII-11
AII.5. Bibliografía AII-12

Apéndice III. Especificación de los TF para voz y web AIII-1
AIII.1. Transport channel parameters for Conversational / speech / UL:12.2 kbps / CS RAB AIII-1
AIII.2. Transport channel parameters for Interactive or background / UL:64 kbps / PS RAB AIII-2

Apéndice IV. El lenguaje de descripción MSC AIV-1
AIV.1. Definición AIV-1
AIV.2. Áreas de aplicación AIV-2
AIV.3. Entorno de trabajo AIV-2
AIV.4. Bibliografía AIV-2

Glosario de Siglas

Capítulo 1. Introducción

El principal fenómeno tecnológico y comercial que ha acontecido a finales del siglo XX ha sido sin ninguna duda el increíble aumento del mercado de las comunicaciones móviles. El detonante de este auge fue la introducción de los sistemas de comunicaciones móviles de segunda generación (2G), basados en tecnología digital, a inicios de la década de los noventa.

Desde el punto de vista de las comunicaciones móviles de voz, las redes celulares de 2G proporcionan un servicio suficiente y satisfactorio a los usuarios. También ofrecen con gran éxito comunicaciones de datos a baja velocidad en forma de mensajes cortos **SMS** (**S**hort **M**essage **S**ervice).

En el transcurso de la última década los teléfonos celulares han adquirido una gran importancia en la vida social y de negocios de los países del primer mundo gracias a su capacidad de contactar con una persona en cualquier lugar, organizar citas, tomar decisiones en tiempo real, etc.

En España pasará a la historia la movilización ciudadana que precedió las elecciones legislativas del 14 de marzo de 2004, que se produjo de manera espontánea a partir del envío masivo de mensajes SMS y de **Internet**. Con toda seguridad que, al menos en este país, esta fue la primera vez en que móviles e Internet se revelaron como canales extraordinarios para la movilización cívica.

Hoy en día casi todas las personas tienen un terminal móvil. Es más, es normal encontrar personas que no tienen teléfono fijo en su casa porque encuentran que es más práctico tener un móvil y así se ahorran la cuota base del servicio fijo.

La fuerza de esta expansión es tal que ni los juicios que adjudicaban algunos problemas serios de salud al uso de los teléfonos móviles han parado su crecimiento.

Al inicio del presente milenio todos los esfuerzos se centran en los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación (**3G**). La 3G supone un giro copernicano para el mundo de las comunicaciones móviles multimedia, resultado del cual los usuarios tendrán acceso no sólo a los servicios de voz, sino también a las transmisiones de vídeo, imagen, texto, gráficos y datos.

El objetivo de los sistemas de 3G conocidos como la familia **IMT-2000** (**I**nternational **M**obile **T**elecomunications for the year 2000) es proporcionar servicios personales de comunicaciones con cualquier interlocutor, en cualquier lugar, en cualquier instante, con retardo inapreciable, en cualquier forma, a través de cualquier medio, usando una unidad de bolsillo, a un coste mínimo y con una calidad y seguridad aceptables simplemente usando un número de referencia personal [1]. El sistema de comunicaciones móviles de 3G en Europa se conoce con el nombre de **UMTS** (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem).

Mientras que la primera generación (1G) de sistemas de comunicaciones móviles, en los años 1980s, y la segunda generación (2G), en los años 1990s, estaban dedicadas principalmente a proporcionar servicio de voz a los usuarios móviles usando redes de conmutación de circuitos, la tercera generación (3G) de sistemas de comunicaciones móviles pretende ofrecer servicios multimedia funcionando en redes **IP** (**I**nternet **P**rotocol) y de conmutación de paquetes en las que el servicio de voz representará solamente una parte menor del total de servicios disponibles.

Desde el punto de vista tecnológico los sistemas de 1G estaban implementados con tecnología analógica, a diferencia de los sistemas de 2G que se basan en tecnología digital tales como **GSM** (**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications), **IS-54** Digital Cellular, Personal Digital Cellular System (**PDC**) y **IS-95**. Estos sistemas, dominantes hoy en día, operan a nivel nacional e internacional y ofrecen transmisión de datos a velocidades del orden de decenas de kilobits por segundo.

Los sistemas de 3G, como el UMTS, deberán proporcionar tasas de 2 megabits por segundo en interiores y 144 kilobits por segundo en un entorno vehicular. Además, uno de los objetivos clave de la 3G es la globalización, es decir, crear una norma mundial que permita a un usuario desplazarse por cualquier país o territorio, que disponga de un sistema de 3G, con el mismo terminal.

El acceso inalámbrico a las redes de banda ancha y el traspaso "seamless" (sin cambios bruscos) entre diferentes sistemas de diferente naturaleza se contempla ya en lo que serán los sistemas de cuarta generación (**4G**) y quinta generación (**5G**).

Es importante tener en cuenta que en el tiempo en que las comunicaciones móviles han evolucionado de la 1G a la 3G, Internet ha aumentado enormemente su popularidad y el número de usuarios. Este interés por Internet ha ido acompañado de una espectacular mejora de las tecnologías de acceso de alta velocidad y de una evolución de los protocolos usados en Internet

para garantizar una transmisión fiable. Como tecnologías de acceso de alta velocidad en el sector de las comunicaciones fijas destacan los servicios **ADSL** (**A**symmetric **D**igital **S**ubscriber **L**ine) y **FTTH** (**F**iber **T**o **T**he **H**ome), mientras que para las comunicaciones inalámbricas destacan las tecnologias **WLAN** (**W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork) o **Wi-Fi** (**Wi**reless **Fi**delity) y **Bluetooth**.

Además también ha aparecido el sistema de 2.5G, **GPRS** (**G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice) que ofrece conexiones orientadas a paquetes usando el mismo interfaz radio de GSM; así como el **WAP** (**W**ireless **A**pplication **P**rotocol) y el **i-mode** que ofrecen servicios de Internet sin cables sobre las redes celulares existentes.

Esta presencia de Internet en la vida cuotidiana genera la necesidad de tener Internet accesible no sólo desde el ordenador sino también desde el terminal móvil. Sin embargo mezclar IP y las redes móviles no es inmediato, ya que IP tiene dos elementos restrictivos: la movilidad y la ausencia de calidad de servicio (**QoS**: **Q**uality **o**f **S**ervice). Además muchas de las soluciones propuestas sobre IP para redes fijas no son adecuadas para comunicaciones a través de un canal radio.

Todo este contexto de nuevos servicios, protocolos, tecnologías,... hace difícil convencer a los usuarios móviles que la tasa de 2 megabits por segundo, que puede llegar a ofrecer un sistema de 3G como el UMTS en determinados entornos, es realmente algo impresionante y muy útil en un futuro próximo.

A pesar del retardo sufrido en la implantación del UMTS en España, y Europa en general, finalmente el acceso radio del sistema de tercera generación UMTS es ya una realidad. Oficialmente Telefónica Móviles España empezó a ofrecer tarjetas para acceder a Internet a gran velocidad (hasta 384 kilobits por segundo) desde ordenadores portátiles el 13 de febrero de 2004, y su principal rival en la competencia Vodafone tres días más tarde. Sin embargo este primer servicio no está destinado al gran público sino a un pequeño sector de mercado formado por empresas.

La incorporación de los servicios ofrecidos en Internet y de nuevos servicios relacionados con Internet en los sistemas de comunicaciones móviles de 3G promete un éxito seguro para el futuro de estos sistemas. La mayoría de estos nuevos servicios están orientados a transmisión de paquetes, por lo que es importante estudiar protocolos adecuados para ellos. En particular para la red Internet el protocolo que se usa para transportar paquetes es el IP, bien en su versión actual, la 4 (IPv4), o bien en su versión avanzada, la 6 (Ipv6).

Una de las principales tareas que se están realizando actualmente en el campo de las comunicaciones móviles es el estudio de técnicas basadas en IP que sean capaces de soportar movilidad y calidad de servicio semi-garantizada.

Para realizar este estudio se requiere disponer de una red con arquitectura IP, un acceso radio y por lo menos un usuario móvil. Lógicamente antes de montar una red real, es aconsejable

montar una red de prueba para poder analizar el comportamiento de los diferentes componentes, de los diferentes protocolos, y de los diferentes procedimientos. La presente Tesis Doctoral es una **contribución al diseño de la arquitectura de red para la integración de servicios de paquetes de datos en el sistema UMTS**.

1.1. Objetivos de la tesis

El *objetivo principal* de esta tesis consiste en evaluar las prestaciones de diferentes esquemas alternativos para la integración de servicios de paquetes de datos en el sistema UMTS, y para ello proponer y analizar algunos esquemas de transmisión y parámetros relacionados.

Para llevar a cabo este objetivo, se ha propuesto construir un modelo de capa física y capa de enlace del acceso radio del UMTS que permita evaluar las capas superiores.

Como hipótesis de partida nos hemos centrado en esquemas de transmisión basados en paquetes, y dentro de la definición del sistema UMTS en el modo **FDD** (**F**requency-**D**ivision **D**uplex). Este modo se basa en la técnica de acceso **WCDMA** (**W**ideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess).

Los *objetivos concretos* de esta tesis son:

- Estudiar y analizar las características básicas del sistema UMTS y de la tecnología IP.
- Construir un emulador del canal radio y la capa física, para el modo de acceso WCDMA, basado en Modelos Ocultos de Markov (**HMM**: **H**idden **M**arkov **M**odel).
- Construir un simulador de la capa de enlace: MAC, RLC y PDCP, para la red de acceso radio terrestre del UMTS (**UTRAN**: **U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork), especificándolo en lenguaje C, y en el lenguaje de programación formal **SDL** (**S**pecification and **D**escription **L**anguage).
- Integrar el emulador de canal radio y capa física con el simulador de capa de enlace y construir un emulador de la red de acceso radio del UMTS.
- Analizar el comportamiento de diferentes aplicaciones en un entorno UMTS para servicios de paquetes de datos.

1.2. Organización de la tesis

A continuación se describe el contenido de cada uno de los capítulos que integran la presente tesis.

En el **Capítulo 2**, "Aproximación a las comunicaciones móviles", se describe brevemente la historia de las comunicaciones móviles y su evolución de los primeros sistemas celulares a la actual 3G. Así mismo, se resume el proceso de especificación para esta 3G y se presentan los servicios que se supone que requerirán los usuarios.

En el **Capítulo 3**, "Descripción del sistema UMTS", se describe de forma general el sistema UMTS que es el estándar de 3G definido en Europa y armonizado con Japón y otros países. Esta descripción intenta abarcar las principales características del sistema con el objetivo de dar un conocimiento general pero amplio del mismo.

En el **Capítulo 4**, "Canal radio y capa física", se presentan las principales características de un canal radio y se describe la capa física especificada para UTRA FDD y TDD. A continuación se expone la estrategia escogida en el marco de esta tesis para la emulación del canal radio y la capa física, que se basa en el modelo oculto de Markov. Para dicha emulación se han analizado dos variantes de la misma estrategia que se detallan y comparan al final del capítulo.

En el **Capítulo 5**, "Capa de enlace", se describe la capa de enlace de la UTRAN y su implementación dentro de esta tesis. Para dicha implementación se ha considerado, a parte del popular lenguaje C, el lenguaje estándar de especificación SDL.

En el **Capítulo 6**, "Emulador de la red de acceso de UMTS", se presenta el emulador creado para la red de acceso radio del UMTS. En primer lugar se describe dicho emulador, las opciones de configuración y las estadísticas calculadas, a continuación se presentan la validación, algunos análisis realizados y se extraen las conclusiones del estudio.

Finalmente, en el **Capítulo 7**, "Conclusiones", se analiza el trabajo realizado y se proponen algunas posibles líneas futuras de investigación.

1.3. Bibliografía

[1] Tero Ojanperä, Ramjee Prasad, "An Overview of Third-Generation Wireless Personal Communications: A European Perspective", IEEE Personal Communications, December 1998, pp 59-65.

Capítulo 2. Aproximación a las comunicaciones móviles

Los sistemas de comunicaciones móviles han ido evolucionando de generación en generación con la incorporación de nuevas características y funciones. La primera (1G) y la segunda generación (2G) están formadas por los sistemas analógicos y digitales respectivamente, y corresponden a los sistemas pasados y presentes, mientras que la tercera generación (3G) corresponde a los sistemas de un futuro inmediato.

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem) es el nombre que recibe en Europa el futuro sistema de comunicaciones móviles de tercera generación (3G).

Inicialmente el diseño de los sistemas de 3G se planteó para ofrecer velocidades de transmisión de datos más elevadas que las que se ofrecen en 2G, con el objetivo de soportar los nuevos servicios basados en transmisión de paquetes como los relacionados con Internet, y también para incrementar la movilidad de los usuarios y el roaming entre diferentes redes. Sin embargo el diseño que se está implementando en los sistemas de 3G ofrece velocidades inferiores a las planteadas inicialmente, por lo que tanto desde los organismos de estandardización como desde el sector empresarial (fabricantes, operadores,...), se está empezando a esbozar lo que será la cuarta generación (4G) de sistemas de comunicaciones móviles.

2.1. Evolución de los sistemas de comunicaciones

El concepto de sistema celular fue propuesto por primera vez en los laboratorios de la compañía americana AT&T, en el año 1947. Sin embargo, el sistema que habían propuesto, conocido como "Bell System", no fue operativo hasta el año 1983 debido a problemas con la concesión de un rango de frecuencias por parte de la FCC (**F**ederal **C**ommunications

Commission). Este fue el primer sistema celular en los Estados Unidos, y se instaló en la ciudad de Chicago.

Mientras en los Estados Unidos se retrasaba la instalación por problemas legales y políticos, los japoneses instalaron el primer sistema celular en Tokyo en el año 1979.

Desde que empezó la era móvil celular en los años 1980, las comunicaciones móviles han experimentado un enorme crecimiento. Si bien durante estos 20 años el gran protagonista ha sido el servicio de voz, actualmente todos los esfuerzos se centran en ampliar el abanico de servicios ofertados y dar soporte a aplicaciones multimedia en un entorno de comunicaciones móviles.

A continuación se describen brevemente las diferentes generaciones que forman parte de esta evolución.

2.1.1. La primera generación (1G)

Los sistemas de comunicaciones móviles de primera generación empezaron a extenderse en la década de los 80. Usaban tecnología analógica: en concreto la multiplexación de usuarios se hacia por división en frecuencia FDMA (**F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess) y la transmisión de voz se hacia usando la modulación FM. Se clasificaban en sistemas de telefonía celular, telefonía inalámbrica, sistemas de radiobúsqueda y otros sistemas de radio privados. Entre los sistemas de telefonía celular cabe destacar, por orden cronológico, el sistema NMT (**N**ordic **M**obile **T**elephone) en los países nórdicos, el AMPS (**A**dvanced **M**obile **P**hone **S**ystem) en los Estados Unidos y el TACS (**T**otal **A**ccess **C**ommunication **S**ystem) en Gran Bretaña. Y entre los sistemas de telefonía inalámbrica destacan el CT0 (**C**ordless **T**elephone), el CT1 y el CT2 que representa un pequeño paso hacia la siguiente generación ya que es el primero en usar tecnología digital [1][2].

Todos estos sistemas celulares se desarrollaron a nivel nacional, y eran incompatibles entre ellos, por lo que no era posible realizar "roaming" internacional (posibilidad de llamar y ser llamado cuando el abonado se encuentra en un país diferente). Además las diferencias entre los sistemas de Europa y Estados Unidos eran muy importantes.

2.1.2. La segunda generación (2G)

En los años 90's aparecieron a nivel comercial los sistemas denominados de segunda generación, que funcionan con tecnología digital. La digitalización supuso una revolución ya que permitió reducir los costes de fabricación y mejorar el número de comunicaciones que podían cursarse en un ancho de banda dado.

Estos sistemas se implantaron con fuerza a lo largo de la década de los 90, y a finales de la misma presentaban unos índices de penetración muy elevados. Por ejemplo, en Escandinavia el índice de penetración era del orden del 50% en 1998 [3]. En la Figura 2-1 se muestran los índices

de penetración de las diferentes zonas del mundo. En ella se puede ver el espectacular crecimiento que ha realizado el mercado de las comunicaciones móviles (formado básicamente por los sistemas de 2G), y la previsión de crecimiento en los próximos años.

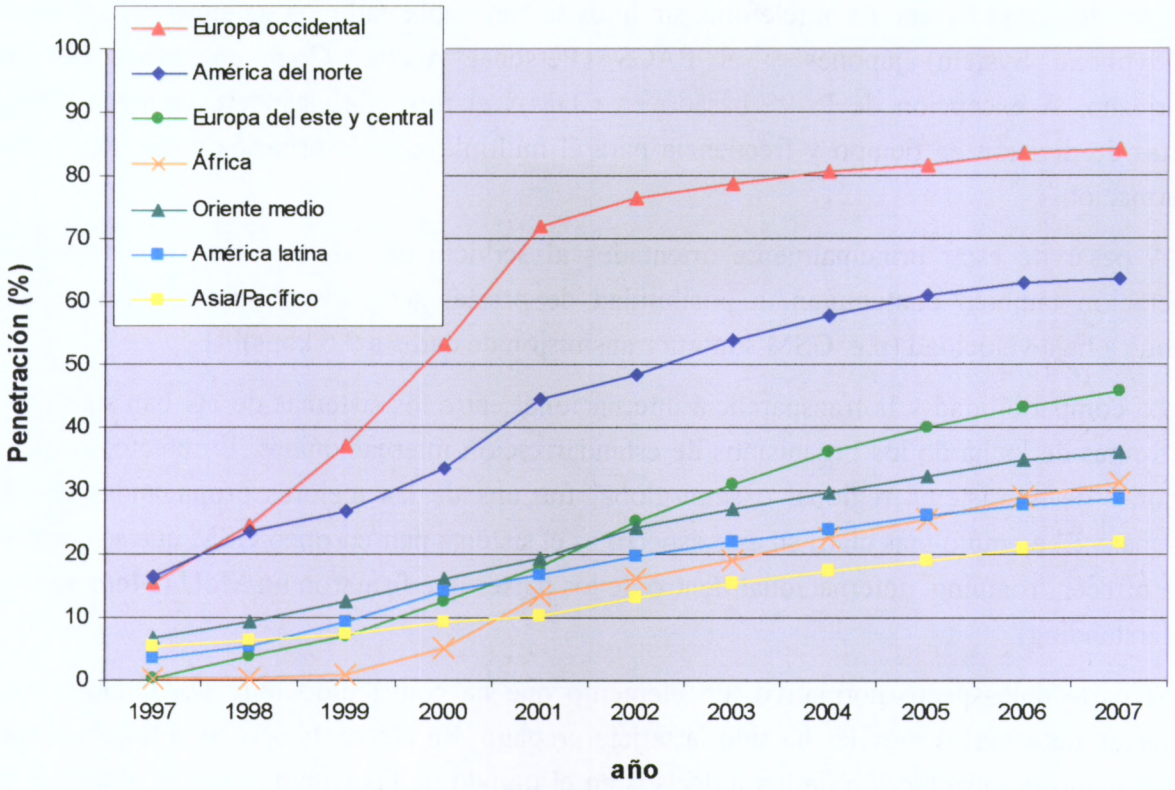

Figura 2-1. Índices de penetración del mercado de comunicaciones móviles

(Fuentes: EMC World Cellular Review 2001 y The Research Room 2003)

La principal característica de esta segunda generación es que la transmisión de voz se hace incorporando modulaciones digitales que mejoran la robustez frente a interferencias características de los entornos celulares y a su vez permiten usar técnicas de acceso más eficientes que la FDMA, tales como TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess) o CDMA (**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess). En Europa, el ETSI (**E**uropean **T**elecommunication **S**tandards **I**nstitute) ha desarrollado varios estándares, entre los cuales destaca principalmente el GSM (**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications) que es el sistema pan-europeo de telefonía celular [4], el DCS1800 (**D**igital **C**ommunication **S**ystem en la banda de 1800Mhz) también para telefonía celular, el DECT (**D**igital **E**uropean **C**ordless **T**elephone) en telefonía inalámbrica, el ERMES (**E**uropean **R**adio **ME**ssage **S**ystem) como sistema de radiobúsqueda y el TETRA (**T**rans-**E**uropean **T**runked **RA**dio) en sistemas radio privados.

Paralelamente al sistema GSM han aparecido en Estados Unidos los estándares de sistemas celulares denominados DAMPS (**D**igital AMPS, que inicialmente se definió cómo IS-54, **I**nterim **S**tandard, y posteriormente se amplió y pasó a ser IS-136) y cdmaOne (definido como el estándar IS-95), y en Japón el PDC (**P**ersonal **D**igital **C**ellular).

También en el terreno de la telefonía sin hilos se han implantado los sistemas PHS (**P**ersonal **H**andyphone **S**ystem) japonés y el PACS (**P**ersonal **A**ccess **C**ommunications **S**ervices) americano. A excepción de IS-95 basado en CDMA el resto de estándares utilizan técnicas mixtas de división en tiempo y frecuencia para el multiplexado de usuarios y duplexado de la información.

A pesar de estar principalmente orientados al servicio de voz, los sistemas de segunda generación también contemplan la posibilidad de prestar servicios de transmisión de datos aunque a baja velocidad (p.e. GSM soporta transmisión de datos a 9.6 kbps)[4].

La compatibilidad y la transparencia internacional entre los sistemas de 2G han sido dos de los frentes de lucha de los organismos de estandarización internacionales. En efecto, la idea de disponer de un sistema regional o semi-global fue una de las mejores propagandas de estos sistemas. El ejemplo más claro en este aspecto es el sistema pan-europeo GSM que se construyó para ofrecer "roaming" internacional dentro de los países que firmaron un MoU (**M**emorando **o**f **U**nderstanding).

A parte del aspecto normativo, un elemento que ha contribuido muy positivamente a la captación de usuarios móviles ha sido la tarjeta prepago. En efecto, el uso de la tarjeta prepago ha facilitado la introducción de los indecisos en el mundo de las comunicaciones móviles pues abre la puerta a conocer las ventajas de las comunicaciones móviles sin obligación de contraer un contrato. Según la base de datos de EMC Publications en abril de 2002 el 44% de los clientes de GSM a nivel internacional usaban tarjeta prepago [5], y según un estudio financiado por Gartner en Asia-Pacifico los clientes de prepago representaron un 76.2% de las nuevas conexiones celulares en el año 2001.

El sistema GSM es actualmente el estándar digital de comunicaciones móviles más usado en todo el mundo. Tiene más de 1000 millones de usuarios, y representa hoy en día el 72.7 % del mercado mundial de las comunicaciones. En la Figura 2-2 se muestra el gran aumento de abonados móviles observado en los últimos años y la tendencia de este crecimiento hasta el año 2007. Y en la Figura 2-3 se muestra la distribución de los usuarios por tecnología.

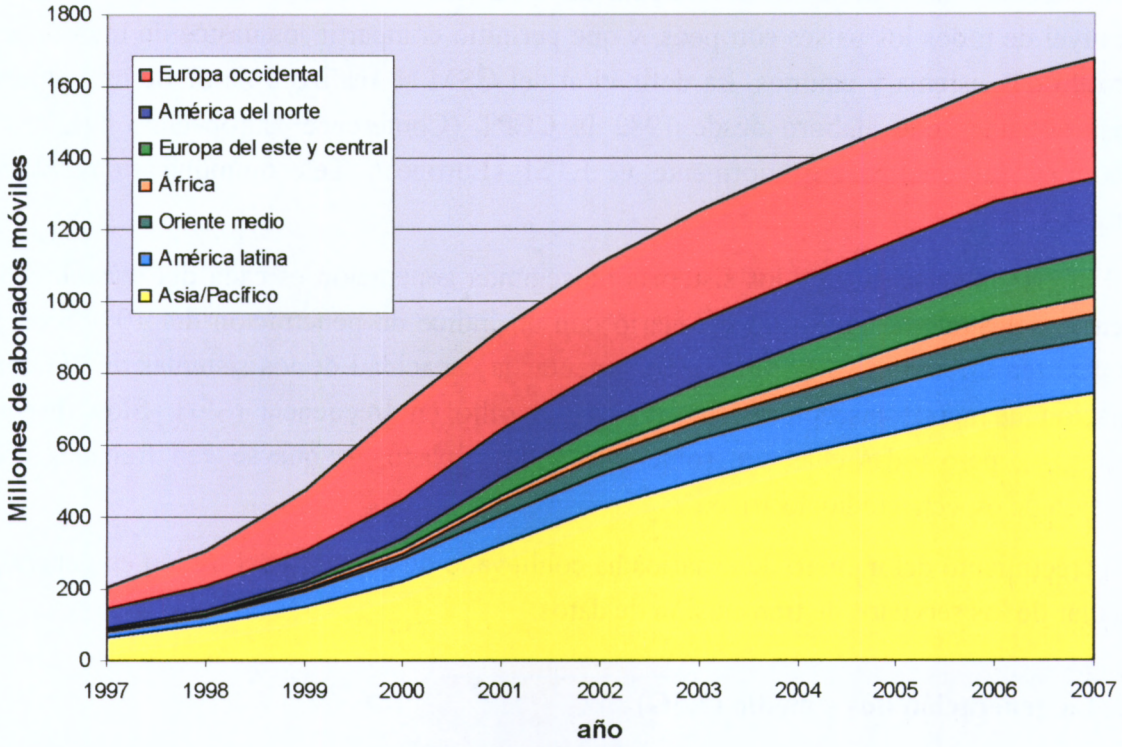

Figura 2-2. Millones de abonados móviles del mundo
(Fuentes: EMC World Cellular Review 2001 y The Research Room 2003)

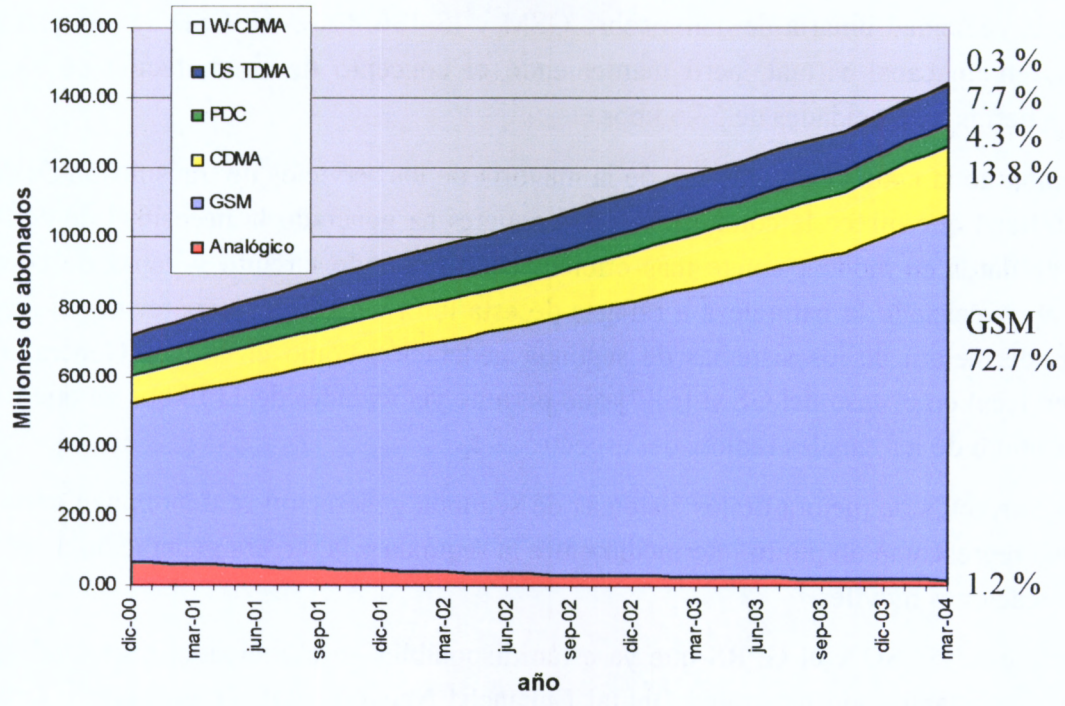

Figura 2-3. Distribución del mercado móvil según la tecnología
(Fuente: www.gsmworld.com)

Un elemento clave del éxito del sistema GSM ha sido sin duda el carácter común que se le dio a nivel de todos los países europeos, y que permitió compartir los gastos de investigación y desarrollo del sistema y equipos. La definición del GSM se realizó a partir de un conjunto de normas comunes que elaboró desde 1982 la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) y posteriormente el ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

El número de usuarios de los sistemas de segunda generación es cada día más elevado. La tendencia del aumento indica un escenario con un índice de penetración del 100 % en pocos años. Existen diferentes soluciones para aumentar la capacidad de los sistemas de 2G como la instalación de más transceptores, la técnica del salto en frecuencia (SFH: Slow Frequency Hopping),..., pero todas ellas son soluciones a corto plazo, ya que se ven frenadas por una limitación de espectro radioeléctrico.

El crecimiento del número de usuarios ha conllevado un aumento del tráfico en general, y en particular de los servicios de transmisión de datos.

2.1.3. La generación dos y medio (2.5G)

La creciente demanda de los servicios de transmisión de datos ha generado la necesidad de superar la limitación de velocidad que presentan los sistemas de 2G, para ello se definió el estándar "multislot" HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) como solución fácil para aumentar la velocidad binaria de datos sobre GSM y IS-136. En el HSCSD se agrupan varios time slots en un canal virtual, pero manteniendo el concepto de conmutación de circuitos, llegando a permitir velocidades de 57.6 kbps.

Sin embargo la naturaleza a ráfagas de la mayoría de los servicios de transmisión de datos y la escalabilidad que ofrece la conmutación de paquetes ha generado la necesidad de definir un servicio de datos en modo paquete más eficiente que en modo circuito y capaz de compartir recursos aprovechando la naturaleza a ráfagas de esta información. Han aparecido, al respecto, proyectos de mejora de los sistemas de segunda generación como el GPRS (General Packet Radio Services) en el caso del GSM [6][7] que permite velocidades de 115 kbps ya que hace un uso más óptimo de los canales radio y del espectro.

Estos proyectos de mejora de los sistemas de segunda generación se denominan generación 2.5, ya que representan un punto intermedio entre la segunda y la tercera generación de sistemas de comunicaciones móviles.

A parte del HSCSD y el GPRS que ya están disponibles en el mercado, las tecnologías de 2.5G más importantes son integrated Digital Enhanced Network (iDEN) en Japón y Enhanced Data for GSM Evolution (EDGE) para GSM.

El EDGE es una tecnología de acceso radio derivada de GSM especificada para crear la red GERAN (**G**SM/**E**DGE **R**adio **A**ccess **N**etwork) que se ha propuesto como alternativa a la red móvil UMTS. El EDGE ofrece más velocidad que HSCSD y GPRS, menos ruido, una modulación más robusta y un codificador de voz adaptativo. Permite velocidades de 384 kbps en exteriores y de 554 kbps en área local. Incluye dos modos de operación, uno basado en conmutación de circuitos y conocido como ECSD (**E**nhanced **C**ircuit **S**witched **D**ata), y otro basado en conmutación de paquetes y conocido como EGPRS (**E**nhanced GPRS) [8]. Otra ventaja del EDGE es que ofrece un interfaz aire estándar para los operadores de GSM y TDMA IS-136, permitiendo roaming global entre estas dos redes estándares.

2.1.4. La tercera generación (3G)

El aumento en la demanda del tráfico de datos en las redes móviles está ligado a la implantación y aparición de nuevos servicios en las redes fijas. Actualmente estamos viviendo la enorme proliferación de Internet y la progresiva implantación de sus aplicaciones tanto en el ámbito de difusión de todo tipo de información como con fines comerciales. Se prevé que la demanda de tráfico agregado en Internet crecerá por encima de los 6 Tbits/s en el año 2005 [9]. Esto condiciona el diseño de los futuros sistemas móviles a ser capaces de integrar tráfico con la filosofía "best effort" de Internet como el acceso a Internet, transferencia de ficheros, correo electrónico, etc., desde un terminal portátil. Por otra parte, parece indispensable que dicho sistema también pueda proporcionar acceso a servicios en tiempo real, y con requerimientos de caudal mayores, como videoconferencia, radiodifusión de imágenes en movimiento y demás tráfico multimedia de la misma forma que las redes de banda ancha B-ISDN. Pero además, el hecho de permitir extender los citados servicios a usuarios móviles favorecería el desarrollo de otras aplicaciones más específicas de un sistema móvil como podrían ser servicios de guía en las ciudades, información broadcast de tráfico, tiempo, etc., aplicaciones ya existentes pero que se verían potenciadas por el aumento de capacidad de los terminales.

Todo ello, junto con las optimistas previsiones de crecimiento del mercado de los sistemas de telefonía celular que sin duda llevará a la saturación de los sistemas de segunda generación, impone la necesidad de introducir en breve plazo la siguiente generación de sistemas de comunicaciones móviles. Aunque ya han empezado a funcionar algunas implementaciones, dichos sistemas están todavía en fase de estandarización a nivel internacional bajo el concepto de IMT-2000 (**I**nternational **M**obile **T**elecommunications for the year 2000) en el marco de la ITU.

Uno de los objetivos clave de la 3G es completar el proceso de globalización de las comunicaciones móviles, es decir, ofrecer un sistema de comunicaciones móviles internacional que permita a un usuario desplazarse por cualquier país o región, que disponga de un sistema de 3G, con el mismo terminal.

Los sistemas 3G, como el UMTS, ofrecen acceso en banda ancha y tasas de bit elevadas para las aplicaciones móviles multimedia, aplicaciones de internet, aplicaciones de voz, aplicaciones de transferencia de ficheros, etc.

Aunque la tecnología de acceso de la tercera generación es radicalmente diferente a la de la segunda generación, el UMTS se basa en soluciones técnicas de GSM, ya que la tecnología GSM domina actualmente el mercado de usuarios móviles, y además se desea utilizar al máximo las grandes inversiones que se han realizado con la red GSM. Por estas razones se habla de evolución de GSM a UMTS. En la Figura 2-4 se muestra dicha evolución.

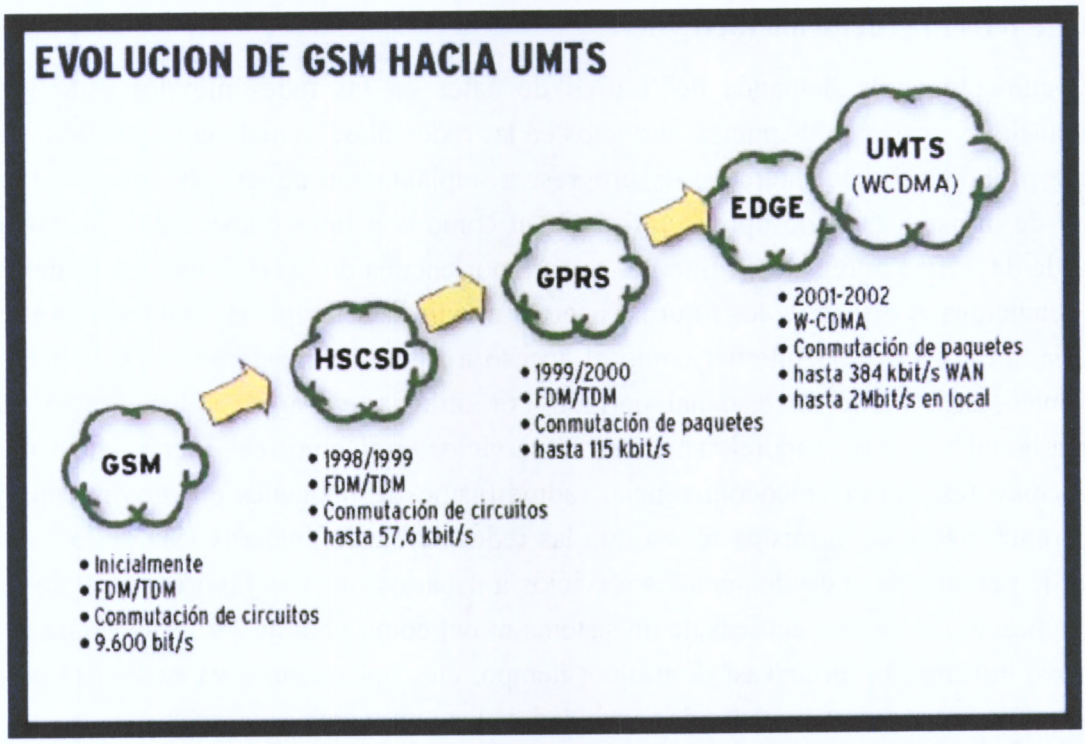

Figura 2-4. Evolución de los sistemas de GSM hacia UMTS

El primer sistema de comunicaciones móviles de 3G empezó a funcionar en Japón en octubre del año 2001, y está basado en la técnica de acceso WCDMA (**W**ideband **CDMA**). En Europa, el primer sistema de 3G empezó a funcionar en diciembre de 2001 en la Isla de Man, una isla de 75000 habitantes situada entre el norte de Gran Bretaña y Irlanda. En el resto de países estaba previsto que empezara a funcionar durante el año 2002 aunque en la mayoría de ellos se retrasó. En España, a pesar del retardo sufrido, el UMTS empezó a funcionar el 13 de febrero de 2004 por parte de Telefónica Móviles España, quién ofrece tarjetas para acceder a Internet a gran velocidad (hasta 384 kilobits por segundo) desde ordenadores portátiles, y su principal rival en la competencia Vodafone empezó a ofrecer el mismo servicio tres días más tarde. Sin embargo este

primer servicio ofrecido no está destinado al gran público sino a un pequeño sector de mercado formado por empresas.

2.1.5. La cuarta generación (4G)

Aunque todos los esfuerzos se centran en poner en marcha la 3G, instituciones y empresarios ya hablan de la generación que le seguirá: la cuarta generación (4G).

La 4G de sistemas de comunicaciones móviles deberá asumir los aspectos que no se ofrecen en los sistemas 3G, y que serán imprescindibles para los servicios de la próxima década. Así pues, la 4G de redes móviles debería ofrecer comunicación horizontal entre diferentes tecnologías de acceso; conexión a través de una red troncal común, flexible y "seamless" (sin cambios bruscos al realizar traspasos), basada en IP; roaming global y interconexión. En otras palabras, deberá asumir la interconexión de redes heterogéneas como son las redes celulares y las redes de área local inalámbricas (wireless LAN) de interiores, las redes celulares analógicas y digitales, las redes celulares de 2G y de 3G, las redes terrestres y redes de satélites, ...

También deberá ofrecer un conjunto de sistemas complementarios capaces de proporcionar capacidades de transmisión hasta los 150 Mbps. Estos sistemas se conocen como MBS (**M**obile **B**roadband **S**ystems) y constituyen un paso inevitable hacia la 4G ya que ofrecen capacidad de transmisión en banda ancha que es uno de los requerimientos que se le exige también a dicha generación [10].

Los sistemas de 4G deberán ofrecer roaming transparente y "seamless" entre las diferentes redes de comunicaciones existentes.

2.2. Proceso de especificación para la tercera generación

Los trabajos de investigación y desarrollo de los sistemas de 3G se empezaron en la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (en inglés ITU **I**nternational **T**elecommunications **U**nion) a principios de los 1990s bajo el nombre de **F**uture **P**ublic **L**and **M**obile **T**elecommunications **S**ystem (FPLMTS) y posteriormente evolucionaron hacia la familia de sistemas de 3G conocida como **I**nternational **M**obile **T**elecommunications for the year 2000 (IMT-2000). La cifra que acompaña las siglas pretendía un doble significado: designar la banda de trabajo (2 GHz) y el año en el que debían estar listas las Recomendaciones de la parte radio.

Los resultados de estos primeros trabajos sirvieron para establecer unos objetivos y requisitos de espectro que sirvieron en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones del 1992 (WARC92: **W**orld **A**dministrative **R**adio **C**onference in the year 19**92)** para fijar la asignación de espectro para los futuros sistemas de tercera generación.

La ARIB (Association of Radio Industry and Business), entidad responsable de la estandarización del interfaz radio en Japón, creó en abril de 1993 el comité de estudio IMT-2000 para coordinar las actividades de I+D relacionadas con el IMT-2000 de su país, y en octubre de 1994 creó el Grupo Especial de Transmisión Radio para que realizara estudios técnicos y desarrollara borradores de las especificaciones del IMT-2000. Este grupo especial constaba de dos subgrupos que se encargaban de estudiar diferentes propuestas para el acceso mediante la técnica CDMA, y mediante la técnica TDMA, respectivamente [6].

Paralelamente en Europa, la Comisión Europea (EC) creó diferentes programas de investigación en el marco de un interfaz aire para el sistema universal de tercera generación denominado UMTS. En 1988 se inició el programa RACE I (Research of Advanced Communication Technologies in Europe), que duró hasta junio de 1992, y que fue el inicio de las actividades de investigación de la tercera generación. El RACE I estudió las tecnologías básicas de modulación y codificación. En el programa RACE II, que duró de 1992 a 1995, se desarrollaron dos grandes proyectos que presentaban una propuesta para el acceso radio del UMTS: el proyecto ATDMA (Adaptative **TDMA**) y el proyecto CoDiT (Code Division Testbed).

El proyecto ATDMA desarrolló un acceso basado en la técnica de acceso múltiple TDMA. En concreto propuso un interfaz aire para el sistema UMTS basada en el interfaz de GSM y mejorado con técnicas introducidas en el sistema DECT. La adaptabilidad que indica el nombre del proyecto consistía en que la modulación no era fija, sino que se modificaba en función de las condiciones de propagación y del tipo de tráfico a transmitir. Además, el ATDMA incorporó muchas técnicas nuevas como la asignación dinámica de canales DCA (Dynamic Channel Allocation).

El proyecto CoDiT desarrolló un demostrador basado en la técnica de acceso múltiple CDMA, que acababa de ser probada en los EEUU en el sistema IS-95 recientemente introducido. Entre los participantes se encontraban suministradores como Phillips, Ericsson o Ascom, operadores como Telecom Italia y Telefónica, y diversas Universidades del ámbito europeo. El resultado final fue un demostrador cuyas características esenciales son muy semejantes a las del sistema WCDMA que se adoptó finalmente.

Como complemento a estos dos grandes proyectos, la Comisión Europea promovió un tercer proyecto llamado MoNet cuyas soluciones fueron rechazadas por los fabricantes por razones de viabilidad económica. Este proyecto planteó conceptos de red diferentes a los utilizados en GSM, en concreto investigó la posibilidad de que la estructura de red de UMTS empleara las soluciones de red ATM.

La continuación del programa RACE fue denominada ACTS (Advanced Communications Technologies and Services) y empezó a finales de 1995. Su principal objetivo fue consolidar el esfuerzo europeo en el marco de los sistemas de comunicaciones de banda ancha. Dentro del

ACTS destacó el proyecto FRAMES (**F**uture **R**adio Wideb**A**nd **M**ultiple Acc**E**ss **S**ystem) y el proyecto RAINBOW (**R**adio **A**ccess **I**ndependent **B**roadband **O**n **W**ireless).

El proyecto FRAMES investigó tecnologías de acceso múltiple híbridas para seleccionar la mejor combinación como base para el futuro sistema de acceso radio del UMTS [11]. La plataforma que se creó en el proyecto FRAMES se denomina FMA (**F**RAMES **M**ultiple **A**ccess), y consta de dos modos diferentes inspirados en las soluciones ATDMA y CoDiT: FMA1 y FMA2. El FMA1 es un esquema wideband TDMA con y sin ensanchamiento, y el FMA2 es un esquema WCDMA [12][13].

El proyecto RAINBOW estudió la manera de aprovechar las centrales de conmutación de la red fija como centrales de conmutación de UMTS con tan solo añadir un software específico. Para ello construyó un demostrador que funcionaba inicialmente con las interfaces aire de ATDMA y CoDiT, y posteriormente con la de FRAMES, y que se basaba en una infraestructura de red ATM. Aunque la arquitectura propuesta no resultó demasiado útil debido al desarrollo de Internet, RAINBOW permitió identificar un conjunto de funcionalidades que son independientes del interfaz radio y tuvo un gran impacto en los foros de estandarización.

El proceso de selección del interfaz aire para UMTS se empezó en la ETSI en 1997 agrupando los conceptos de interfaz aire presentados en cinco grupos diferentes. En el grupo Alpha se estudiaron FMA2 y tres esquemas WCDMA japoneses. En el grupo Beta se evaluó FMA1 sin *spreading*, junto con otras ideas de TDMA. El grupo Gamma estudió dos conceptos de OFDM (**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing). El grupo Delta evaluó FMA1 con *spreading* (es decir el esquema TD-CDMA), inicialmente también había analizado otro esquema híbrido el CTDMA (**C**ode **T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess). Y en el grupo Epsilon se consideró el ODMA (**O**pportunity **D**riven **M**ultiple **A**ccess), que es una tecnología de retransmisión aplicable en principio a todos los esquemas de acceso múltiples [14].

Mientras en el grupo Alpha se estudiaba la propuesta de WCDMA del FMA2 junto con otros esquemas japoneses, en el ICG (**I**nternational **C**oordination **G**roup) de la ARIB se discutía sobre la harmonización de diferentes propuestas basadas en CDMA. Estos dos esfuerzos condujeron a la ETSI y la ARIB a armonizar los parámetros de sus esquemas WCDMA. Los principales parámetros del esquema actual se basan en el uplink de FMA2, y en el downlink del WCDMA del ARIB. Posteriormente se han ido incorporando otras propuestas de mejora.

En enero de 1998 el SMG (**S**pecial **M**obile **G**roup) de ETSI aceptó como base del UMTS FDD el esquema armonizado WCDMA, y para el UMTS TDD los principios de TD-CDMA.

Por otro lado, en los Estados Unidos, la TIA (**T**elecommunications **I**ndustry **A**ssociation) empezó a estandarizar un interfaz aire WCDMA para aplicaciones WLL (**W**ireless **L**ocal **L**oop). Durante el año 1997 presentó diferentes propuestas para estandarizar el sistema de tercera generación que denominó Wideband cdmaOne (también referido como CDMA 2000), todas las

propuestas eran compatibles con el sistema de segunda generación IS-95, y en diciembre del mismo año presentó el marco básico para el Wideband cdmaOne [15]. También propuso un esquema basado en wideband TDMA que consiste en una evolución del sistema de segunda generación IS-136 y que denominó UWC-136 (Universal Wireless Communications).

También en Corea la TTA (Telecommunications Technology Association) consideró dos tecnologías wideband CDMA, una similar a WCDMA propuesto por la ETSI y la ARIB, y la otra a cdmaOne.

A nivel internacional, en la UIT se estableció el denominado grupo de tareas especiales 8/1 (TG o Task Group 8/1) con el objetivo de encontrar una tecnología radio para el IMT-2000. Inicialmente el IMT-2000 designaba un único sistema mundial y global, sin embargo viendo las propuestas de los diferentes países el TG 8/1 se dio cuenta de la dificultad de crear un sistema mundial y optó por una solución de compromiso que ha prevalecido hasta hoy. Esta solución consiste en que el IMT-2000 designa una familia de tecnologías de acceso radio que satisfacen un conjunto de posibles entornos de aplicación (interiores de edificios, peatonal, vehicular y por satélite). Estas familias tendrían que cumplir obligatoriamente las Recomendaciones de la UIT sobre IMT-2000, aunque ello no significa a priori garantía de acceso al servicio mediante otros terminales que no sean de la propia familia.

Con el objetivo de establecer las tecnologías de acceso radio de la familia IMT-2000 el TG 8/1 convocó, en abril de 1997, un proceso de presentación de tecnologías candidatas, con fecha límite de presentación de candidaturas el 30 de junio de 1998 y con fecha límite de evaluación de las mismas de 30 de septiembre del mismo año. La respuesta a esta convocatoria fue la presentación de 10 candidaturas para la componente terrestre IMT-2000, y 6 para la de satélite. Las que se refieren a la componente terrestre son [16]:

- DECT, por parte del ETSI.
- UWC-136 por parte de la TIA y el UWCC (Universal Wireless Communications Consortium), consorcio que agrupa a los principales operadores de redes IS-136.
- WIMS (Wireless MultImedia and Messaging Services Wideband CDMA) por parte de la TIA. Esta propuesta no tiene ninguna relación con los sistemas de segunda generación y consta de dos componentes FDD y TDD.
- ARIB WCDMA por parte de la ARIB. También incluye un modo TDD junto con otro FDD.
- WCDMA I por parte de la TTA Coreana, basada en un sistema WCDMA síncrono.
- WCDMA II igualmente presentada por parte de la TTA Coreana, pero basada en un sistema WCDMA asíncrono.

- UTRA (**U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess) por parte del SMG 2 del ETSI. Al igual que WIMS y ARIB, WCDMA incluye una componente FDD y una TDD.
- NA (**N**orth **A**merica) WCDMA por parte del comité T1P1 de los EEUU.
- CDMA 2000 por parte de la TIA. También incluye una componente FDD y una TDD.
- TS-CDMA (**T**ime Division **S**ynchronous CDMA) por parte de la China.

A partir de estas 10 propuestas se empezó el proceso de evaluación de las tecnologías que dio como resultado la aproximación de algunas de ellas en una misma opción resultando finalmente en marzo de 1999 en 6 propuestas. La Tabla 2-1 resume la evolución de las propuestas.

Tabla 2-1. Evolución de las propuestas de la componente terrestre IMT-2000

Junio 98	Marzo 99
WCDMA II	UTRA
ARIB WCDMA	
UTRA	
WIMS	WP-CDMA
NA WCDMA	
CDMA 2000	CDMA 2000
WCDMA I	
TD SCDMA	TD SCDMA
UWC-136	UWC-136
DECT	DECT

Como resultado de este proceso de convergencia se crearon dos proyectos que se encargan de las especificaciones de las propuestas UTRA y CDMA 2000. Son, respectivamente, el 3GPP (**3**rd **G**eneration **P**artnership **P**roject), www.3gpp.org, y el 3GPP2 (**3**rd **G**eneration **P**artnership **P**roject **2**), www.3gpp2.org.

El 3GPP se creó en diciembre de 1998 para trabajar hacia un estándar radio móvil para los sistemas de tercera generación que se ha denominado UTRA (**U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess). Está formado por miembros de los organismos de estandarización de Europa (ETSI), de Japón (ARIB y TTC: **T**elecommunication **T**echnology **C**ommittee), de Estados Unidos (T1), de Corea (TTA) y de China (CCSA - **C**hina **C**ommunications **S**tandards **A**ssociation, anteriormente a diciembre de 2002 CWTS – **C**hina **W**ireless **T**elecommunication **S**tandard) [17], en la Figura 2-5 se muestra el logotipo de esta iniciativa.

Mientras que el 3GPP2 está formado por miembros de la TIA (**T**elecommunications **I**ndustry **A**ssociation) de Estados Unidos, del CCSA, de la TTA, de la ARIB y del TTC también de Japón.

Figura 2-5. Logotipo del 3GPP

(Fuente: www.3gpp.org)

Paralelamente, los operadores radio comerciales crearon el OHG (**O**perators **H**armonization **G**roup) con el objetivo de obtener una especificación global común para los sistemas CDMA de tercera generación. Su marco de trabajo se basa principalmente en las propuestas UTRA y CDMA 2000 hechas en la UIT, pero seleccionando los parámetros técnicos que protegen las inversiones de infraestructuras hechas por los operadores actualmente, y que permiten la evolución de sus sistemas de segunda generación hacia la tercera generación. La filosofía del OHG permite a cada operador escoger un subconjunto de especificaciones globales armonizadas dependiendo de sus necesidades de negocio y de mercado [18].

En junio de 1999, el Grupo de Expertos en Radiocomunicaciones de la UIT (Grupo de Tareas Especiales 8/1 del UIT-R) en su reunión sobre las IMT-2000 refrendó los esfuerzos de armonización realizados por el OHG sobre la componente CDMA de la norma IMT-2000, y aseguró que se adoptarían las recomendaciones de este grupo conocidas como G3G (Harmonised **G**lobal **3G**). Como consecuencia de ello, el 3GPP2 pasó a ceñirse exclusivamente en la componente de banda estrecha de la opción CDMA 2000, ya que el resto pasaba a unificarse con la UTRA. Este intento de armonización cierra prácticamente el proceso de selección de las tecnologías radio de la componente terrestre de IMT-2000, sin embargo el OHG indicó que para completar la armonización, debía considerarse la fusión del 3GPP y el 3GPP2 en un

sóloorganismo, a más tardar en diciembre de 2000 [19]. Esta fusión no se ha realizado, todavía, pero el principal objetivo del 3GPP y 3GPP2 es alinearse con el marco estándar para CDMA definido como G3G.

La Figura 2-6 muestra las colaboraciones a nivel internacional entorno a los sistemas de 3G.

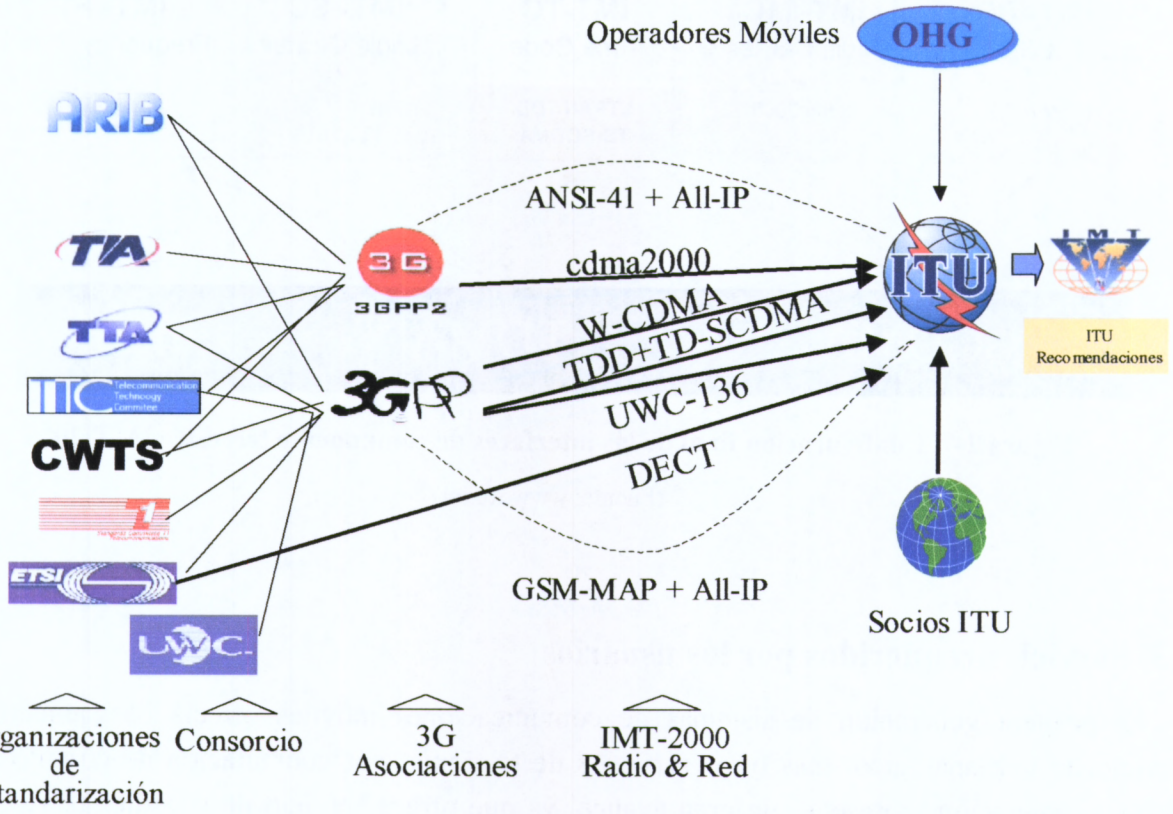

Figura 2-6. Colaboraciones a nivel internacional.

Todos estos esfuerzos de armonización culminaron con la redacción por parte de la UIT de la Recomendación RSPC, denominada oficialmente como ITU-R M.1457 "*Detailed Specifications of the Radio Interfaces of IMT-2000*". Este documento recoge la especificación de cada una de las tecnologías radio que forman parte de la familia IMT-2000, tanto para la componente terrestre como para la satelital. La configuración final de las interfaces de componente terrestre IMT-2000 se muestra en la Figura 2-7.

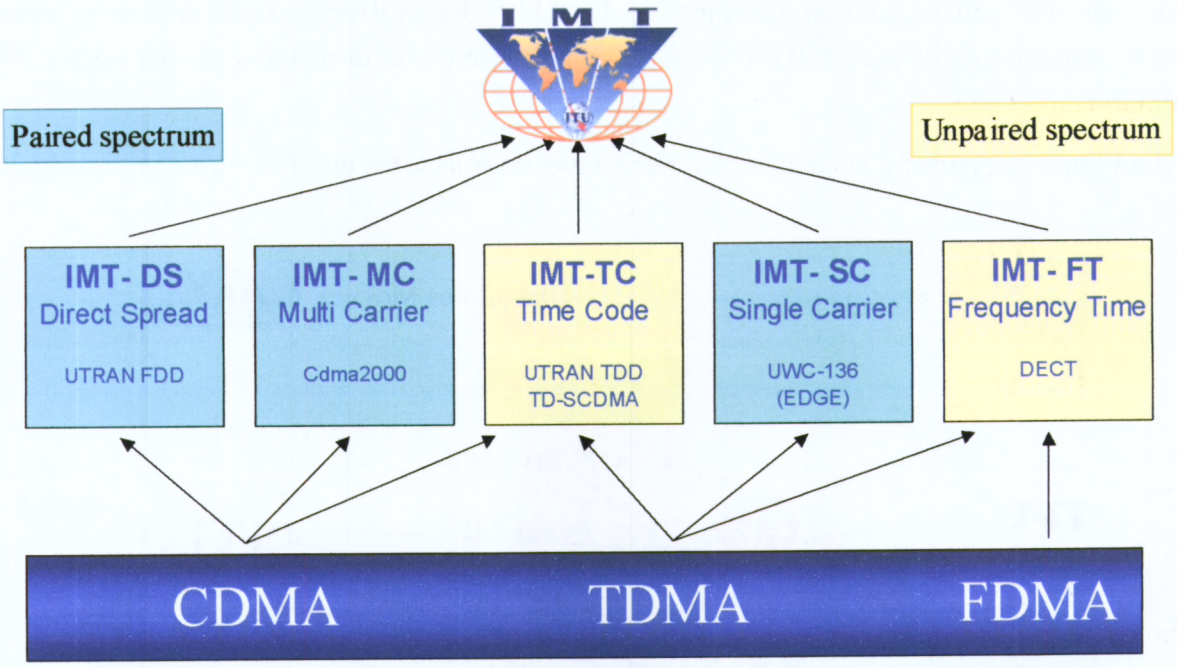

Figura 2-7. Configuración final de las interfaces de componente terrestre IMT-2000

(Fuente: www.itu.int)

2.3. Servicios requeridos por los usuarios

La primera generación de sistemas de comunicaciones móviles ofrecía básicamente un servicio de voz analógico, más otros servicios de telefonía, por conmutación de circuitos. La segunda generación representó un gran avance, ya que ofrece servicio de voz digital. Además introduce servicios de datos a baja velocidad usando también conmutación de circuitos.

Con la introducción de los sistemas de tercera generación se ampliarán los servicios ofrecidos por el sistema, añadiendo conmutación de paquetes y capacidades multimedia a las comunicaciones móviles. Esto significa que los usuarios tendrán acceso no sólo a los servicios vocales, sino también a las transmisiones de vídeo, imagen, texto, gráficos y datos, por ejemplo servicios tales como videoconferencia, el acceso a Internet y a las Intranet empresariales, la posibilidad de navegar por Internet y todo un conjunto de modernas aplicaciones. Los puntos más conflictivos son: la aceptación de los servicios multimedia por parte del mercado masivo y encontrar tecnologías capaces de ofrecer estos servicios de manera eficiente. Durante tiempo se dudó de la aceptación de los servicios que no son de voz por parte de la mayoría del mercado, sin embargo la importante expansión de Internet y de las técnicas, basadas en Internet, para ofrecer servicios multimedia a todo el mundo hacen prever una buena aceptación de estos servicios.

Con el gran crecimiento de Internet, en paralelo con el gran crecimiento de la telefonía móvil, proporcionar capacidades multimedia a las comunicaciones móviles es equivalente a proporcionar un buen acceso a Internet a los usuarios móviles [1].

Además la tendencia de las telecomunicaciones está enfocada a ofrecer un conjunto diversificado de servicios personalizados a cualquier persona, en cualquier lugar, en cualquier momento, pero no a cualquier precio. Los límites entre las telecomunicaciones, la tecnología de la información y los servicios de entretenimiento están desapareciendo, y los usuarios pueden combinar los servicios ofrecidos por varios operadores. Un mercado a escala mundial liberalizado y la rápida introducción de los servicios móviles de segunda generación, especialmente el GSM, han llevado a la conclusión que una red de acceso radio, y una única red troncal estandarizada no son una solución realista. La flexibilidad y la opción de elegir son dos aspectos clave de los sistemas de comunicaciones de 3G [3].

En las redes de 3G se prevé que la mayoría de tráfico sea de naturaleza a ráfagas por lo que la conmutación de paquetes adquiere todo el protagonismo ya que los nuevos servicios no requieren tasas de transmisión fijas, ni tienen porque generar el mismo volumen de tráfico en las dos direcciones. Estas diferencias respeto a los servicios de las generaciones anteriores ha impulsado a definir el concepto de calidad de servicio (QoS: **Q**uality **o**f **S**ervice). La QoS por si sola es un parámetro subjetivo ya que describe el "factor humano" relacionado con la calidad de la conexión, en efecto, si el retardo en entregar la información es menor la impresión del usuario es que la conexión tiene mejor calidad. Sin embargo la reducción del retardo en la red está directamente relacionada con los recursos usados (más recursos menor retardo) y los buffers usados para guardar la información a transmitir (menor retardo menor tamaño de buffer).

Para los operadores de 3G, ofrecer una QoS muy buena significa invertir mucho dinero en recursos pero tener los usuarios muy satisfechos, mientras que ofrecer una QoS muy pobre significa ahorrar en recursos pero tener los usuarios descontentos y arriesgarse a perder clientes. Por lo que no es aconsejable ni ofrecer una QoS muy buena ni muy mala desde el punto de vista de coste de los operadores. Así pues, la QoS se convierte en uno de los elementos a optimizar en las redes de 3G, se trata de ofrecer una QoS suficientemente buena para que la competencia no se lleve los clientes pero que minimice las inversiones respeto a los beneficios.

En relación a la QoS, para UMTS se han definido cuatro clases de QoS también conocidas como clases de tráfico (ver apartado 3.1.6 página 3-9): *conversational*, *streaming*, *interactive*, y *background*.

Aunque estas cuatro clases de tráfico se han definido independientemente de las aplicaciones, si es cierto que de forma natural se han establecido algunas relaciones. Así pues, el tráfico *conversational* se ha asociado a las aplicaciones de voz y videotelefonía; el tráfico *streaming* se ha asociado a aplicaciones que generan un flujo multimedia continuo como por ejemplo la transferencia de un video; el tráfico *interactive* se ha asociado a aplicaciones de consulta de

páginas web y a juegos en red; y el tráfico *background* se ha asociado a aplicaciones de correo electrónico o descarga de ficheros. Evidentemente en UMTS se prevé más diversidad de aplicaciones nuevas que se irán mapeando en estas clases de tráfico en función de sus requerimientos.

Para soportar las necesidades de los nuevos servicios, los estándares de 3G deben ofrecer velocidades superiores a las de las generaciones anteriores. En concreto en UMTS se especifican velocidades de 144 kbps en entornos móviles, de 384 kbps en entorno peatonal, y de 2 Mbps en entornos fijos [20].

Los sectores clave del mercado para introducir los sistemas móviles de 3G serán sin duda los comerciales y las personas que viajan frecuentemente y necesitan acceder a información de su empresa durante el viaje, así como también los usuarios de aplicaciones que requieren un flujo intenso de información, p.e. el video.

Un aspecto muy interesante relacionado con estos nuevos servicios de la 3G es el denominado Entorno Personalizado de Servicios PSE (**P**ersonal **S**ervice **E**nvironment) que determina como desea el usuario percibir e interactuar con los servicios que tiene suscritos. En UMTS el conjunto de características asociadas a un usuario se denomina Perfil de Usuario y es el medio con el que se materializa el PSE. En GSM también se podía definir un cierto perfil de usuario por medio de la tarjeta SIM, pero en UMTS se quiere ir más allá por medio del concepto de VHE (**V**irtual **H**ome **E**nvironment). El VHE implica que el usuario pueda acceder a sus servicios personalizados a través de redes diferentes a la suya propia, garantizando la máxima transparencia en la provisión del servicio. Esto significa que debe existir independencia de la red a la que uno se conecta y de los terminales con los que se conecta. Esta independencia se consigue definiendo un conjunto de interfaces abiertas OSA (**O**pen **S**ervice **A**ccess) de forma similar a las que se utilizan en las redes IP (**I**nternet **P**rotocol).

Con la introducción de OSA el diseño de la red sufre un cambio muy importante que, además, asegura evolución ya que el desarrollo de las aplicaciones no se ve limitado por la arquitectura de la red. En efecto, la inteligencia de las aplicaciones se aleja cada vez más de la red en sí misma y pasa a ser dependiente de los extremos: terminales de usuario y servidores de aplicaciones. Ello tiene una implicación importante en el interfaz radio ya que éste debe ser flexible para soportar los distintos servicios, con diferentes tasas y con cierta capacidad de garantizar las calidades de servicio que requieran las aplicaciones. Todo ello debe realizarse de manera que se mantenga la eficiencia espectral.

El reto de ofrecer todos estos servicios de la mejor manera posible, posiciona las comunicaciones móviles en un sitio destacado dentro del campo de la investigación y el desarrollo (I+D).

2.4. Bibliografía

[1] Erik Dahlman, Björn Gudmundson, Mats Nilsson, and Johan Sköld, "UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA", IEEE Communications Magazine, September 1998, pp 70-80.

[2] Tero Ojanperä, Ramjee Prasad, "An Overview of Third-Generation Wireless Personal Communications: A European Perspective", IEEE Personal Communications, December 1998, pp 59-65.

[3] Antun Samukic, "UMTS Universal Mobile Telecommunications System: Development of Standards for the Third Generation", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 47, No. 4, November 1998, pp 1099-1104.

[4] Michel Mouly and Marie-Bernadette Pautet, The GSM System for Mobile Communications, Ed. CELL&SYS, 1992.

[5] http://www.emc-database.com

[6] Götz Brasch and Bernhard Walke, "Concepts, Services, and Protocols of the New GSM Phase 2+ General Packet Radio Service", IEEE Communications Magazine, August 1997, pp 94-104.

[7] Jian Cai and David J. Goodman, "General Packet Radio Service in GSM", IEEE Communications Magazine, October 1997, pp 122-131.

[8] P. de Bruin, A. Furuskär, C. Lindheimer, F. Müller, J. Sorelius and D. Turina, "GERAN – the GSM/EDGE Radio Access Network", IEEE Vehicular Technology Society News, February 2002, pp 14-20.

[9] Daniel Bieler and Iain Stevenson, "Internet Market Forecast: Global Internet Growth 1998-2005", Report by Ovum, December1998, http://www.gsmdata.com/repovum2.htm

[10] Manuel Dinis and José Fernandes, "Provision of Sufficient Transmission Capacity for Broadband Mobile Multimedia: A Step Toward 4G", IEEE Communications Magazine, August 2001, pp 46-54.

[11] Tero Ojanperä, Ramjee Prasad, "An Overview of Air Interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS", IEEE Communications Magazine, September 1998, pp 82-95.

[12] E. Nikula et al., "FRAMES Multiple Access for UMTS and IMT-2000", IEEE Personal Communications, April 1998, pp. 16-24.

[13] Harri Holma, Fredrik Ovesjö, Erik Dahlman, Matti Latva-aho, Antti Toskala, "Physical Layer of FRAMES mode 2 – Wideband CDMA", VTC congress, Ottawa, May 1998.

[14] ETSI Technical Report, "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA); Concept evaluation (UMTS 30.06 version 3.0.0)", TR 101 146 v3.0.0, December 1997.

[15] S.Chia, "Will cdmaOne be the third choice", CDMA Spectrum, September 1997, pp 30-34.

[16] C. Lluch Mesquida, J.Mª Hernando Rábanos, "Comunicaciones móviles de tercera generación UMTS", Telefónica Móviles España, S.A., Volumen I.

[17] Martin Haardt and Werner Mohr, "The Complete Solution for Third-Generation Wireless Communications: Two Modes on Air, One Winning Strategy", IEEE Personal Communications, December 2000, pp. 18-24.

[18] OHG Technical Framework, "Harmonised Global 3G (G3G) Technical Framework for ITU IMT-2000 CDMA Proposal", Toronto_output 001, June 1999.

[19] Comunicado de prensa UIT 15 de junio de 1999, "Importantes progresos en Pekín sobre la normalización de las IMT-2000", UIT/99-7, Junio 1997, http://www.itu.int/newsroom/press/releases/1999/99-07-es.html

[20] "The Road to IMT-2000", http://www.itu.int/imt/what_is/roadto/index.html