



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**SISTEMA UNIVERSAL DE  
TELECOMUNICACIONES MOVILES (UMTS)**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**P R E S E N T A:**

**Francisco Müller Sánchez**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. VICTOR GARCIA GARDUÑO.**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. EDUARDO CARRASCO YEPEZ**



*Ciudad Universitaria, México D.F., Abril de 2002*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradecimientos.*

*A mi madre por haber repartido tanto amor en su paso por este mundo, por haberse entregado a todos los que conocía buscando la felicidad de cada uno de ellos y por representar un ejemplo a seguir para todos los seres humanos. Mamá, tu recuerdo es la imagen del amor incondicional y de la comprensión. Donde quiera que estés espero siempre puedas estar orgullosa de mí. Todo te lo debo a ti y siempre te estaré infinitamente agradecido.*

*A mi hermano por haberme ayudado en los momentos difíciles y ser además de eso, mi mejor amigo y al mismo tiempo un segundo padre y madre. Adolfo, tú has sabido seguir hasta ahora el ejemplo de mi mamá y eso te hace un ser humano muy especial. Sigue trabajando y no tengas miedo de nada y de nadie. Recuerda que siempre puedes contar conmigo.*

*A mi padre porque a pesar de lo difícil que ha sido su vida supo hallar la manera de encontrar la estabilidad. Gracias por conocer a mi mamá y por haberme dado la vida.*

*A mi madrina Rebeca por preocuparse siempre por nuestro bienestar y por todos los consejos, libros y mensajes que me ha brindado. Rebe, te quiero mucho y estoy seguro de que mi mamá está orgullosa de su mejor amiga que siempre has sido tú. Como tu ahijado trataré de darte muchas satisfacciones más. A mi tía Ericka por ser un ejemplo de superación y tratar de ser siempre mejor cada día. Espero todas tus sueños se hagan realidad, al igual que los de Lillian e Itzel. Gracias por ayudarme en la distancia, por ser tan amigable y por querer la unidad familiar.*

*A Claudia por todos los momentos felices que he vivido a tu lado. Gracias por permitirme haber crecido a tu lado y por el futuro que nos espera.*

*A Karina por ser además de mi mejor amiga, un ángel de la guarda que siempre ha estado conmigo en los momentos felices y difíciles. Sé que siempre puedo contar contigo Cariño.*

*A todos los profesores que he tenido a lo largo de mis estudios. Me resulta imposible mencionarlos a todos, pero quiero que sepan que todos han contribuido de manera muy importante en mi educación, espero darles muchas satisfacciones como formadores de no sólo un buen alumno sino también una buena persona. Hago mención especial al Dr. Víctor García Garduño por todos los consejos a lo largo de la carrera, a Yukihiro Minami (Yuki) que más que un tutor y una guía lo considero mi gran amigo, al Dr. Rodolfo Neri Vela por ser una inspiración, al Dr. Salvador Landeros por todas las oportunidades que me ha ofrecido y creo he aprovechado, al Ing. Jesús Reyes por siempre querer conocer más y enseñarnos tantas cosas, al Ing. Rolando Peralta por lo interesante y divertidas de sus clases, al Ing. Erick Castañeda por ser un muy buen profesor y por preocuparse por el aprendizaje de sus alumnos y al Ing. Eduardo Carrasco por no haber sido precisamente un profesor pero por enseñarme muchas cosas en España y por haberme ayudado a terminar esta tesis.*

*A Fernando Vázquez, Luis Miguel, Andrés, David, Juan Carlos, Joaquín, Leonardo, Héctor (Guillote), Héctor (Tomate), Priscila, Janet, Leticia, Carlos, Oscar, Poncho, Oliver, Roberto, los chilenos, en fin, todos mis amigos de siempre, con los que he vivido momentos maravillosos que si no los menciono es por culpa de mi memoria, pero ustedes saben quiénes son.*

*Con mis mejores deseos esperando contribuir para la creación de un mundo mejor.*

*Frank Müller.*

## ÍNDICE.

### Introducción.

#### 1. Antecedentes.

##### 1.1. Situación mundial de las Comunicaciones Móviles.

##### 1.2. El mercado Europeo de servicios móviles multimedia.

#### 2. El Sistema de Radiotelefonía Celular.

##### 2.1. Características del sistema celular.

###### 2.1.1. Configuración básica del Sistema.

###### 2.1.2. Métodos de Acceso Múltiple.

###### 2.1.2.1. FDMA.

###### 2.1.2.2. TDMA.

###### 2.1.2.3. CDMA.

###### 2.1.3. Modulaciones digitales.

###### 2.1.3.1. Modulación en Amplitud (ASK).

###### 2.1.3.2. Modulación en Frecuencia (FSK).

###### 2.1.3.3. Modulación en Fase (PSK).

###### 2.1.4. Paging o Radiolocalización.

###### 2.1.5. Trunking

##### 2.2. Tecnologías Celulares en el mundo.

###### 2.2.1. Sistemas de Telefonía celular digital.

###### 2.2.2. IS-95 CDMA (Code Division Multiple Access).

###### 2.2.3. NADC (IS-54 e IS-136).

###### 2.2.4. GSM (Global System for Mobile Communications).

**2.2.5. WAP (Wireless Application Protocol).**

**3. Tercera Generación de Telefonía Celular.**

**3.1. Evolución a los sistemas de tercera generación.**

- 3.1.1 Factores del éxito de GSM.
- 3.1.2 GPRS (General Packet Radio Service).
- 3.1.3 HSCSD (High Speed Circuit Switched Data).
- 3.1.4 EDGE (Enhanced Data-rates for Global Evolution).
- 3.1.5 Comparación entre 2G y 3G.

**3.2. CDMA y 3G.**

**3.3. Tecnologías móviles 3G.**

- 3.3.1 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000).
  - 3.3.1.1 Bandas de Frecuencia.
  - 3.3.1.2 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
  - 3.3.1.3 CDMA-2000.

**4. Tecnología UMTS.**

**4.1. Arquitectura UMTS.**

- 4.1.1. Núcleo de Red (CN).
- 4.1.2. Evolución del Núcleo de Red.
- 4.1.3. Numeración y Direccionamiento.

**4.2. Acceso Radio.**

- 4.2.1. Interfaz Radio (Uu).
  - 4.2.1.1. Técnica de acceso DS-CDMA.

- 4.2.1.2. Estructura general del protocolo de la interfaz radio.
- 4.2.1.3. Canales de la Interfaz Radio UMTS.
- 4.2.1.4. Bandas de funcionamiento y ancho de banda de RF.
- 4.2.1.5. Modo FDD.
- 4.2.1.6. Modo TDD.

4.2.2. Interfaces Ix.

**4.3. Tecnología Radio.**

- 4.3.1. Estructuras Celulares.
- 4.3.2. Traspasos en UMTS.
- 4.3.3. Cobertura Celular.
- 4.3.4. Nodos B.
- 4.3.5. Antenas a usar en UMTS.

**4.4. Componente Satelital de UMTS.**

**4.5. Modelos de propagación.**

- 4.5.1. Modelos de propagación para macrocélulas.
- 4.5.2. Predicción de la pérdida en picocélulas de interiores.

**4.6. Planificación Radio.**

- 4.6.1. Capacidad de las Células.
  - 4.6.1.1. Capacidad del Enlace ascendente.
  - 4.6.1.2. Capacidad del Enlace descendente.

**4.7. Terminales y tarjetas USIM.**

- 4.7.1. Vídeo y Audio.

**4.8. Servicios y aplicaciones de UMTS.**

**4.9. Cálculo de enlaces en UMTS.**

**5. Estandarización y Regulación de UMTS.**

**5.1. Proceso Normativo de Tercera Generación.**

**5.2. Organización del 3GPP.**

**5.3. Compatibilidad Global y Ambiente regulatorio en el mundo.**

**5.4. Ambiente regulatorio en la Unión Europea para UMTS.**

**5.5. Licencias para UMTS.**

**5.6. Calendario de UMTS.**

**6. El Sistema UMTS en México y en el mundo.**

**6.1. Situación actual de la Telefonía Celular en México.**

**6.2. Panorama y perspectivas de UMTS.**

**6.2.1. Caso mundial.**

**6.2.2. Caso de México.**

**6.3. Modelos de Negocio en el mundo.**

**7. Conclusiones.**

**Referencias.**

**Anexo 1. Glosario de abreviaturas**

**Anexo 2. Programa en Matlab para el modelo de propagación Hata-COST231**

## Introducción

Gracias al avance de la ciencia y la tecnología existente en nuestros días, se observa que hay una tendencia a hacer las comunicaciones móviles más extensas, sencillas y con una gran cantidad de servicios. El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS Universal Mobile Telecommunications System) es el primer estándar mundial para la comunicación desde dispositivos móviles que representa una evolución respecto a los actuales sistemas. Se le denomina de comunicaciones de tercera generación (3G), representando GSM la segunda generación y GPRS la segunda y media.

Hasta ahora, en la red GSM todas las llamadas se realizan en modalidad de conmutación de circuitos, es decir, cuando el usuario hace su llamada se establece un camino en la red y no se libera hasta el final de la comunicación. Por ese camino viajan la voz y los datos sin distinción entre ellos.

El primer paso en la separación entre voz y datos lo ha marcado la tecnología GPRS. Esta tecnología permite que la red GSM introduzca conmutación de paquetes para la transferencia de datos, mecanismo que resulta mucho más eficiente para este tipo de transmisión y que ha supuesto la puesta a punto de una nueva red de conmutación.

En la tecnología UMTS las llamadas de voz y datos recorren el mismo camino en la Red de Acceso, pero se bifurcan en la Red de Conmutación, donde hay una red para atender a las llamadas de voz, y otra para las llamadas de datos. Los elementos que administran estas llamadas son diferentes, y los lenguajes o protocolos que utilizan también lo son.

El despliegue de la tecnología UMTS supone un cambio importante en todas las infraestructuras de telefonía móvil, ya que implica la implantación de Redes totalmente nuevas tanto para el Acceso como para la Conmutación.

La industria de las Telecomunicaciones se enfrenta a demandas cada vez más crecientes y complejas por parte de los usuarios. Aprovechando la excelencia en la tecnología celular, de satélites y de banda ancha, la 3G garantizará el acceso, desde la simple telefonía vocal hasta los servicios multimedia de alta velocidad y calidad, independientemente de la ubicación física del usuario.

Por medio del presente trabajo de tesis se piensa describir detalladamente el funcionamiento de la tecnología UMTS para conocer su impacto en las telecomunicaciones móviles del siglo XXI y su posible utilización en México. Se hace un estudio detallado del Acceso Radio en UMTS por ser uno de las principales temas del sistema a analizar y evaluar en todos los países, ya que éste representa un cambio total a lo que se tenía con los sistemas de segunda generación, presentándose una propuesta, con una aplicación práctica, sobre cómo realizar cálculos de enlace en UMTS.

De esta manera se pretende aportar una referencia para el cálculo de enlaces en comunicaciones móviles como posible procedimiento a utilizar en sistemas 3G. Además, la descripción realizada en este documento sobre UMTS nos da la posibilidad de predecir la manera en que serán las comunicaciones móviles en el futuro y cómo México debe aprovechar estas nuevas tecnologías para estar en la vanguardia de las telecomunicaciones en el mundo.

El contenido de este trabajo de tesis se estructura en seis partes: la primera es de carácter introductorio y recoge la situación actual mundial de las telecomunicaciones dando a conocer la necesidad de una 3G como evolución natural de las comunicaciones móviles. La segunda parte se ocupa del funcionamiento de la telefonía celular en general mencionando algunas tecnologías celulares que han sido utilizadas en el mundo. La tercera parte recoge los aspectos evolutivos que han dado como resultado la versión actual de la norma UMTS, presentando una visión general del sistema y de otros sistemas de la familia IMT-2000. El siguiente capítulo se ocupa de la descripción completa de la tecnología UMTS y, por consiguiente, incluye: la tecnología de acceso WCDMA, la descripción de la Arquitectura del Sistema UMTS, la administración de los recursos de radio, la descripción de los modelos de propagación, una metodología de planificación, y los aspectos satelital, de construcción e ingeniería radio. Es en este cuarto capítulo donde se propone un método para cálculo de enlace en UMTS.

La quinta parte hace mención de los aspectos relacionados con el proceso de elaboración del conjunto de normas de los sistemas de 3G. Explica la filosofía del proceso normativo, los documentos que definen la 3G, las Organizaciones involucradas en la Normalización, las licencias para UMTS y las líneas futuras de evolución de la norma UMTS. La sexta se ha dedicado a los usuarios y negocios en UMTS. Se presenta la situación actual de la telefonía celular en México y se hace un análisis de las perspectivas de UMTS para México y el mundo. La tesis se completa con un capítulo de Conclusiones.

Con este trabajo se pretende tener una visión general de las comunicaciones móviles terrestres, explicando cada uno de los conceptos fundamentales de la telefonía inalámbrica. Una vez introducidos en la telefonía celular, se explicará a grandes rasgos el estándar de comunicaciones móviles UMTS, y posteriormente se profundizará en el estudio de su interfaz de radio, tratando de comprender tanto el canal de radio, como los métodos de comunicación de esta interfaz. Finalmente, se va a realizar un procedimiento para el cálculo de enlace en UMTS con algunas simulaciones en el programa Matlab, en las que se podrá apreciar mejor los conceptos explicados durante el desarrollo de este trabajo.

## 1. Antecedentes

En el desarrollo evolutivo de las Telecomunicaciones son destacables los hitos de la aparición de Internet, a finales de los años 80's y el desarrollo de las Comunicaciones Móviles, en la segunda mitad de la década de los 90's. Si además se produce una conjunción entre ambas tecnologías como está sucediendo actualmente, la sinergia actúa como un potente catalizador del ritmo de crecimiento, tanto en la adopción de nuevas técnicas como en la trascendencia y nivel de penetración en la sociedad.

En los últimos años, las telecomunicaciones están sometidas a continuos cambios impulsados por la evolución tecnológica, las modificaciones regulatorias, la liberalización de los mercados, la privatización de los monopolios estatales y, de forma especial, por los cambios en las exigencias y demanda de los consumidores. La idea de estar comunicado en cualquier momento y en cualquier lugar es ahora una realidad con la aparición de los sistemas 3G, produciéndose un fenómeno muy importante para los sistemas de telefonía celular: la existencia en el mundo de más líneas móviles que fijas capaces de proporcionar todo tipo de servicios de comunicaciones.

### 1.1. Situación Mundial de las Comunicaciones Móviles.

La industria de telecomunicaciones global se está transformando para adaptarse a los requisitos impuestos por los usuarios en una sociedad interconectada. Los sistemas de comunicaciones móviles contribuyen decisivamente a esta transformación y constituyen un servicio imprescindible para el usuario itinerante.

El éxito espectacular de los sistemas de comunicaciones móviles de Segunda Generación, como el GSM justifica que apenas implantado dicho sistema comenzasen los trabajos de investigación y desarrollo para la génesis de nuevos sistemas de Tercera Generación, con el objetivo de proporcionar medios de comunicación para todos, para cualquier clase de información, desde cualquier lugar y en cualquier momento (anyone, anykind, anywhere, anytime), además de contar con cobertura mundial y una amplia gama de servicios. Por otro lado, los nuevos sistemas de la 3G continuarán acentuando la convergencia de las redes de telecomunicación hacia una estructura potente y versátil de servicios, propiciando una intensa actividad económica con una creciente generación de empleo y contribuyendo, decisivamente, al desarrollo de los países.

Por áreas geográficas, las telecomunicaciones están desigualmente distribuidas, concentrándose en los países económicamente más avanzados. El 62% de las líneas telefónicas mundiales están instaladas en 23 países desarrollados, los cuales, en contraste, sólo tienen el 15% de la población mundial. Más del 50% de las líneas telefónicas, el 60%

del tráfico internacional y el 80% de los servicios de Internet se concentran en Norteamérica y la Unión Europea.

Los indicadores anteriores, señalados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), muestran la estrecha relación entre el nivel de penetración de las telecomunicaciones y el desarrollo económico y ponen de manifiesto su relevancia para la evolución económica y social de los países. El mundo necesita más teléfonos y las sociedades precisan más y mejores telecomunicaciones, no sólo para crecer económicamente, sino también para informarse, educarse y entretenerse.

El ciudadano demandará voz, datos, imágenes, así como comunicación, información y entretenimiento. El consumidor solicitará también conjuntos de servicios sin la diferenciación clásica de comunicaciones locales, de larga distancia, internacionales, móviles o fijas. El mercado se configurará más bien por tipos de clientes, residenciales, de negocios e internacionales, que por tipos de servicios segmentados por las tecnologías o redes que los soporten. En la Figura 1.1 se representa la convergencia del mundo de los ordenadores, las comunicaciones y los contenidos.

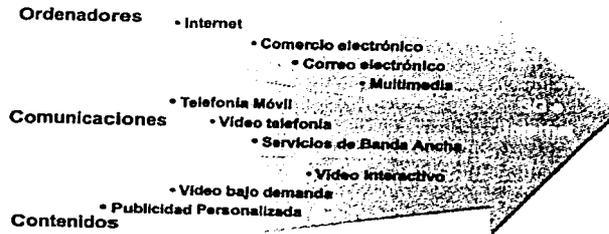
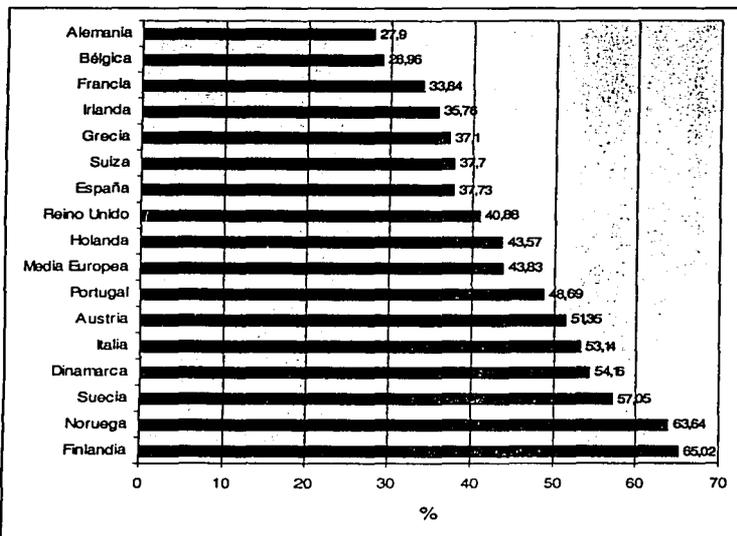


Figura 1.1 *Convergencia hacia 3G.*

La Figura 1.2 muestra los niveles de penetración de la telefonía móvil en los países europeos [1]. Como se puede ver, los países nórdicos se encuentran a la cabeza.



**Figura 1.2** Nivel de penetración de la telefonía móvil en Europa a finales de 1999.

Mayor evidencia del crecimiento del mercado de las comunicaciones móviles es ilustrada por medio del éxito observado de GSM en el mundo. El número de suscriptores de teléfonos móviles alrededor del mundo alcanzaba los 820 millones en Octubre del 2001 y se prevé que para el 2003 este número alcance un poco más de mil millones de usuarios. Al comienzo de la década pasada existían solamente 10 millones de teléfonos celulares en el mundo, y a principios del 2001 existían 725 millones de suscriptores observándose un crecimiento de más de 70 veces del original [2].

Dicho crecimiento se ha mantenido estable en un promedio de 50% por año desde 1996. La penetración de los servicios móviles en Europa en estos momentos es de aproximadamente el 60% y la tendencia es que crezca a un 80% para el 2004 [3]. De esta manera el número de suscriptores móviles sobrepasará al de teléfonos fijos a mediados de esta década en todos los países del mundo, como puede observarse en la Figura 1.3.

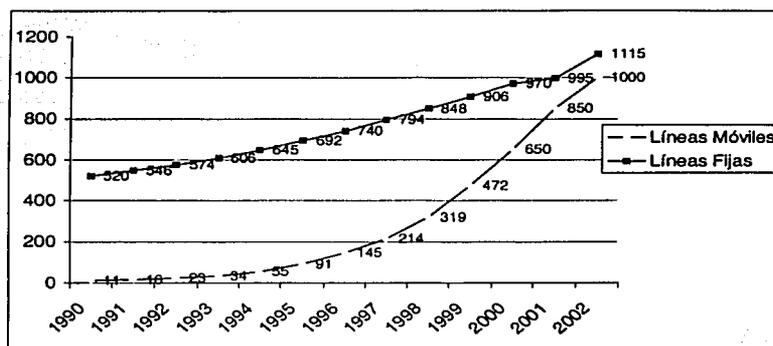


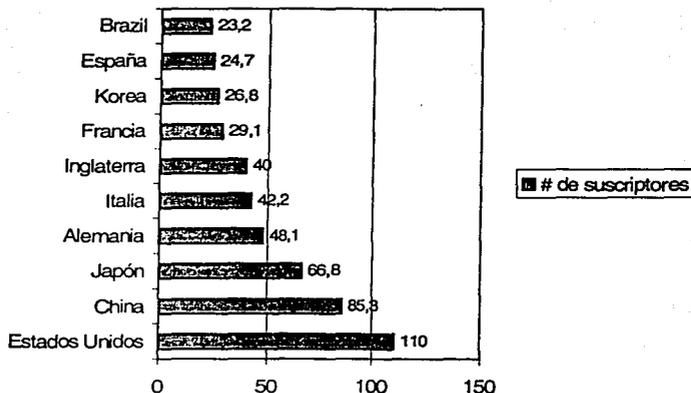
Figura 1.3 Número de Líneas Móviles contra Líneas Fijas en el mundo. Datos en millones de líneas

De acuerdo con datos de la UIT existen 35 mercados en el mundo donde el número de líneas móviles es mayor al de líneas fijas [4]. Estos países se pueden observar en la Tabla 1.1.

1998	1999	2000	
Finlandia	Austria	Bahrein	Filipinas
	Costa de Marfil	Bélgica	Ruanda
	Hong Kong	Botswana	Senegal
	Israel	Chile	Seychelles
	Italia	El Salvador	Singapur
	Corea del Sur	Grecia	Eslovenia
	Paraguay	Islandia	Sudáfrica
	Portugal	Luxemburgo	Taiwan-China
	Uganda	México	Emiratos Árabes Unidos
	Venezuela	Marruecos	Reino Unido
		Holanda	

Tabla 1.1 Economías del mundo donde el número de líneas móviles es mayor que la de fijas.

En la mayoría de los países, la competencia y los sistemas prepago han producido una combinación poderosa para el crecimiento de la telefonía celular. De esta manera, en los países desarrollados donde estos servicios representan una gran inversión para sus economías, las ganancias han sido millonarias en el año 2000, debido al gran número de usuarios [4], como puede notarse en la Figura 1.4. China sobrepasará a los Estados Unidos y probablemente se convertirá en el mercado celular más grande del mundo para finales del año 2002.



**Figura 1.4.** Economías con facturación de servicios móviles más altas en el mundo (cantidad de usuarios en millones).

Las conexiones móviles en Europa se espera que crezcan de 154.1 millones en 1999 a 325.3 millones de conexiones en el 2004 [5]. En la Tabla 1.2. pueden observarse los datos actuales correspondientes a los servicios móviles en Europa y una predicción para el 2004.

	1999	2000	2004
Total de conexiones (miles)	154,112.3	211,862.0	325,283.0
Líneas Analógicas (miles)	5,704.7	3,696.9	36.7
Líneas Digitales (miles)	148,407.5	208,165.1	325,246.3
Conexiones Prepago (miles)	75,294.9	117,899.1	198,590.1
Conexiones Postpago (miles)	78,817.4	93,962.9	126,692.9
Ganancias Totales (miles de dólares)	64,048,845.2	84,558,884.5	139,899,264.0
Ganancia total por transmisión de datos (miles de dólares)	2,150,111.5	6,142,510.1	45,608,645.9
Ganancia total por unidad.	521.4	462.1	439.4

**Tabla 1.2** Datos y perspectiva de los servicios móviles en Europa.

Los servicios ofrecidos a través de Internet se soportan por orden de importancia en el siguiente catálogo de productos: acceso a Internet Corporativo, acceso a Internet individual, comercio electrónico, correo electrónico, diseño y producción web, hospedaje web, publicidad y marketing, servidor FTP y otros, estando toda esta gama extendida mundialmente. En la Figura 1.5 se muestran los datos reales de conectividad a Internet y las previsiones hasta el año 2004 en el mundo. Los valores miden simultáneamente los millones de usuarios de telefonía móvil, terminales móviles con acceso a Internet y los ordenadores conectados a Internet. Se prevé que en los próximos años, los usuarios

conectados a Internet a través de dispositivos móviles, alcanzarán a los usuarios que se conectan a Internet vía ordenador fijo, y así los terminales móviles se constituirán en la primera vía de acceso a Internet.

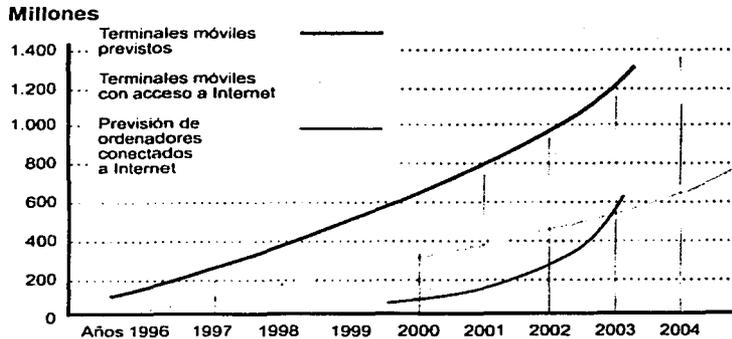


Figura 1.5 Tipología de conectividad a Internet (Fuente: Gartner Dataquest)

## 1.2. El Mercado Europeo de Servicios Móviles Multimedia.

El mercado de servicios móviles por un lado y de servicios multimedia fijos por el otro, son en estos momentos muy elevados, con crecimientos casi exponenciales. Los clientes desearán combinar movilidad con multimedia, lo cual llevará a una demanda de mayor ancho de banda y un desplazamiento de las necesidades hacia los servicios de datos, aunque en la actualidad sólo suponen del orden del 5% de los ingresos del total de los servicios móviles.

Desde el punto de vista físico, la 3G pretende combinar de forma modular los nuevos elementos de red y los elementos de las redes fijas y móviles pre-UMTS, en el supuesto de que éstas hayan realizado los procedimientos previos necesarios para permitir la evolución. Esta filosofía permitirá que nuevas empresas establezcan redes 3G y que los operadores existentes tengan un camino de transición suave, mediante la reutilización de parte de la infraestructura que poseen actualmente.

Para el usuario, la 3G deberá proporcionar terminales multimodo/multibanda o terminales con una interfaz flexible, que permita el roaming mundial con otros sistemas 3G y también con sistemas 2G.

La 3G será un facilitador clave para la convergencia de la telefonía móvil, internet, multimedia, etc.; y se considerará un elemento importante para la construcción de la Sociedad de la Información. La 3G jugará un papel fundamental dotando de acceso móvil a

servicios de comunicación e información más avanzados, de mayor calidad y a mayor velocidad de lo que es hoy posible con los sistemas móviles actuales [1].

En la Figura 1.6 puede observarse el incremento en la demanda de datos en movilidad y el estabilizamiento en la demanda de voz en Europa:

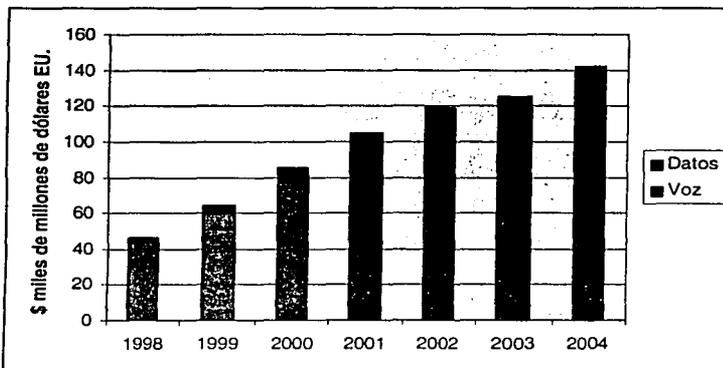


Figura 1.6 Ganancias previstas para servicios de voz y datos móviles.

Estos servicios móviles de datos se espera evolucionen en aplicaciones multimedia móviles. Actualmente con GSM no existen servicios móviles multimedia. El envío de mensajes cortos y la posibilidad de un Internet móvil con WAP (Wireless Access Protocol) es muy utilizado en los países europeos, pero no son aplicaciones multimedia. GPRS está entrando en estos momentos en el mercado europeo y con esta nueva tecnología se espera tener aplicaciones multimedia móviles. Pero el gran cambio se va a presentar con UMTS. Estos sistemas van a revolucionar los servicios proporcionados por las comunicaciones móviles. En la Tabla 1.3 se presenta una comparación entre las tecnologías actuales y UMTS en lo referente a servicios y tiempos de descarga de los mismos. El tiempo de descarga está relacionado con el ancho de banda que dispone cada una de las tecnologías, concepto que se verá más adelante en los capítulos 2 y 3 para cada una de ellas.

Servicios	2G	RTB	RDSI	2G+ (GPRS)	UMTS-3G
Correo Electrónico (10Kb)	8 seg	3 seg	1 seg	0.7 seg	0.04 seg
Página Web (9 Kb)	8 seg	3 seg	1 seg	0.9 seg	0.04 seg
Archivo texto (40 Kb)	33 seg	11 seg	5 seg	3 seg	0.2 seg
Archivo con imágenes (2Mb)	28 min	9 min	4 min	2 min	7 seg
Vídeo Clip (4Mb)	48 min	18 min	8 min	4 min	14 seg
Vídeo Calidad Película (600 Mb)	1100 hrs	350 hrs	104 hrs	52 hrs	5 hrs

Tabla 1.3 Prestaciones multimedia y sus tiempos de descarga.

Concretamente, dentro de los servicios multimedia, la preferencia de los usuarios se distribuye de acuerdo con los datos observados en la Figura 1.7:



**Figura 1.7** Preferencia multimedia de los usuarios (Fuente: UMTS Forum)

Existen varios factores importantes a considerar para la implementación de la tecnología móvil multimedia en UMTS:

- Los nuevos servicios permitirán la situación "always on" (siempre conectado), las conexiones a sistemas 3G y conmutación de paquetes (IP enabled), proveen un acceso instantáneo a la Red. Asimismo, esta tecnología permitirá un uso más eficiente de la capacidad de la red que la actual de conmutación de circuitos, siendo hasta un 70% más barato el coste de red para los operadores.
- La estandarización de las interfaces entre los terminales móviles y los distintos dispositivos a interconectar al móvil: PDA's, máquinas de videojuegos, PC's portátiles, instrumentos de telemetría, periféricos de reproducción de señales de vídeo y otras aplicaciones multimedia, así como la utilización generalizada de aplicaciones comerciales estándares y las arquitecturas abiertas se desarrollarán en todas las áreas de la cadena de valor del mercado móvil multimedia.
- La personalización del servicio o "Virtual Home Environment", será un elemento novedoso y sustancial de los nuevos sistemas que ofrecerá 3G. El VHE es un concepto de sistema que permite la portabilidad de servicios en el UMTS a través de las diferentes fronteras entre redes. Según este concepto, la red visitada emula para cada usuario particular las condiciones de su entorno de origen. El concepto de VHE está propuesto como la base técnica para simplificar el manejo de los servicios por parte del usuario. Si se utilizan los terminales multimodo adecuados, los usuarios podrán conectarse a redes de segunda y de tercera generación de forma directa.

## 2. El sistema de radiotelefonía celular

La idea de comunicación instantánea independientemente de la distancia es parte de los sueños más antiguos del hombre, y su sueño se hizo realidad tan pronto como se lo permitió la tecnología. La primera utilización de las ondas de radio para comunicarse se efectuó a finales del siglo diecinueve para radiotelegrafía (en 1880, Hertz realiza una demostración práctica de radiocomunicaciones; en 1897, Marconi realiza una transmisión de radio a más de 25 km de distancia).

Desde entonces, la radio se convirtió en una técnica ampliamente utilizada en comunicaciones militares. Las primeras aplicaciones públicas de la radio fueron de difusión (primero sonido, luego imágenes): esto es mucho más sencillo que la radiotelefonía, dado que el terminal móvil es sólo un receptor. El auge real de los sistemas públicos bidireccionales de radiocomunicaciones móviles tuvo lugar justo después de la segunda guerra mundial, cuando el uso de la modulación de frecuencia y de la tecnología electrónica, como la válvula de vacío, permitieron el desarrollo de un servicio de telefonía a escala real para vehículos. El primer servicio telefónico móvil real nació oficialmente en St. Louis (Missouri, EE.UU.) en 1946. Europa, que se estaba recuperando de la guerra, le siguió algunos años después.

Las primeras redes móviles de telefonía se operaban manualmente; es decir, era necesaria la intervención de un operador para conectar cada llamada a la red fija. Además, los terminales eran muy voluminosos, pesados y caros. El área de servicio estaba limitada a la cobertura de un único emplazamiento de transmisión y recepción (sistemas unicelulares). Había muy poco espectro de radio disponible para este tipo de servicios, dado que éste se asignaba fundamentalmente a propósitos militares y a radiodifusión, en particular, televisión. En consecuencia, la capacidad de los primeros sistemas era pequeña y la saturación de los mismos fue muy rápida, a pesar del alto coste de los terminales. La calidad del servicio empeoró rápidamente debido a la congestión y la capacidad de procesar llamadas caía algunas veces hasta paralizar la red.

Entre 1950 y 1980 los sistemas evolucionaron hasta automatizarse y los costes disminuyeron gracias a la introducción de los semiconductores. La capacidad se incrementó un poco, aunque aún era demasiado escasa para la demanda existente: la radiotelefonía pública seguía siendo un lujo para unos pocos.

Durante los años 70, la integración a gran escala de dispositivos electrónicos y el desarrollo de los microprocesadores abrió las puertas a la implementación de sistemas más complejos. Dado que el área de cobertura de una antena está fundamentalmente limitada por la potencia de transmisión de las estaciones móviles, los sistemas se plantearon con varias estaciones receptoras para una única estación transmisora. Se permitía así la cobertura de

un área mayor a costa de una mayor complejidad en la infraestructura. Pero la verdadera revolución se produjo con los sistemas celulares, donde hay numerosos emplazamientos que tanto transmiten como reciben y sus respectivas áreas de cobertura se solapan parcialmente.

En lugar de intentar incrementar la potencia de transmisión, los sistemas celulares se basan en el concepto de reutilización de frecuencias: la misma frecuencia se utiliza en diversos emplazamientos que están suficientemente alejados entre sí, lo que da como resultado un aumento en capacidad. En contraste, el sistema es mucho más complejo, tanto en la parte de la red como en las estaciones móviles, que deben ser capaces de seleccionar una estación entre varias posibilidades. Además, el coste de infraestructura aumenta considerablemente debido a la multiplicidad de emplazamientos.

El concepto celular se introdujo por los laboratorios Bell y se estudió en varios lugares durante los 70's.

En los sistemas de telefonía móvil celular la zona de cobertura deseada se divide en zonas más pequeñas llamadas células, a las que se asigna un cierto número de radiocanales, cumpliendo con los siguientes objetivos:

- Gran capacidad de abonados.
- Calidad telefónica similar al servicio telefónico convencional.
- Utilización eficaz del espectro.
- Conmutación automática de radiocanales.
- Capacidad de expansión.
- Gran movilidad.
- Poder constituir una red de comunicaciones completa en sí misma.

### 2.1. Características del sistema celular

Los diferentes subsistemas de que consta cualquier red celular, teniendo en cuenta sus características básicas son:

**Radio:** El subsistema de radio es el que realiza el enlace entre los terminales móviles y las redes terrenas. El diseño de esta red es muy importante en la configuración de una red celular, y gran parte del éxito o fracaso de la calidad de una red depende de la planificación adecuada de este subsistema.

**Conmutación:** La conmutación o estructura de red es el subsistema encargado de llevar las comunicaciones por tierra desde la estación base a la que se conecta el terminal móvil hasta su conexión con la red destino de la llamada (generalmente la red fija) o hacia otra estación base a la que se encuentra conectado otro terminal móvil. Se incluyen dentro de los sistemas de red todas aquellas bases de datos que apoyan a las distintas funciones del sistema.

**Transmisión:** Es la estructura de enlaces que soporta las comunicaciones entre los diversos elementos de red. Es un elemento importante en la planificación, dado que implica grandes costes de explotación. Este subsistema es común a cualquier red de telecomunicaciones.

**Operación y Mantenimiento:** Otro de los subsistemas importantes en una red celular es el subsistema de operación y mantenimiento. Suele quedar fuera de todos los planes de estudio, dado que el funcionamiento teórico de la red no necesita de este subsistema. No obstante, no sería posible mantener en un correcto funcionamiento una red de telecomunicaciones sin un sistema de operación y mantenimiento que permita detectar y corregir los posibles fallos que se producen en cualquier red.

**Explotación:** Al igual que el anterior, el subsistema de explotación no suele aparecer en la bibliografía básica. El subsistema de explotación es el que permitirá al operador cobrar por el uso de su red, así como administrar la base de datos de sus clientes y configurar sus perfiles de usuario en función de las políticas comerciales desarrolladas.

### 2.1.1. Configuración básica del sistema

A continuación se describen los conceptos básicos de un sistema celular [6].

**Célula o celda:** Célula es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula contiene un transmisor (que puede estar en el centro de la célula, si las antenas utilizadas son omnidireccionales; o en un vértice de la misma, si las antenas tienen un patrón de radiación directivo) y transmiten un subconjunto del total de canales disponibles para la red celular a instalar. Cada célula, además de varios canales de tráfico, tendrá uno o más canales de señalización o control para la administración de los recursos radio y la movilidad de los teléfonos a ella conectados.

**“Cluster” o “Racimo”:** Lo forman un conjunto de células. Entre todas, agrupan la totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular. Sumando varios racimos es como se alcanza la cobertura final del sistema celular, reutilizándose de esta manera las mismas frecuencias en todos los racimos.

**Cobertura:** En sentido genérico, se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. Es en el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles. Ahora bien, debemos tener en cuenta que no basta con realizar el cálculo de potencia en el sentido estación base a móvil; también es necesario que el terminal, en función de su capacidad de transmisión, pueda enlazar hasta la estación de base. Por ello, la cobertura de la red debe planificarse haciendo un cálculo de enlace.

Debido a las características particulares del trayecto radioeléctrico, únicamente puede hablarse de cobertura en sentido estadístico. Esto implica que, las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo. Existen gráficas, obtenidas de medidas empíricas sobre propagación, que muestran las

correcciones en atenuación que se deben realizar para calcular correctamente el área de cobertura de un transmisor radio, así como la probabilidad de cobertura asociada a dichas correcciones.

La técnica consiste en dividir el área a cubrir en un número de células suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias. Estos conceptos serán explicados con más detalle más adelante. Desde el punto de vista de cobertura, lo que esta división en pequeñas células implica es que la cobertura de cada célula va a estar limitada por interferencia; es decir, el diseño se hará de forma tal que las células que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no interferirse entre si y, a su vez, no interferir a los teléfonos a los que están dando servicio. En definitiva, el máximo alcance de una célula sólo se podrá conseguir en lugares de poca densidad de tráfico, que no son los más adecuados para este tipo de sistemas.

**Capacidad:** Es la cantidad de tráfico que puede soportar este tipo de sistemas. El diseño de una red celular está pensado para soportar, gracias a la compartición de canales y a la división celular, una gran capacidad de tráfico.

Al ser un sistema de concentración de canales, la capacidad por cada bloque de canales se calcula mediante la aplicación de la fórmula de Erlang B, es decir, como un sistema de llamadas perdidas (sin colas). Esta fórmula fue desarrollada por A.K. Erlang, y es ampliamente utilizada para determinar el número de troncales necesarias para administrar una carga de llamadas determinada durante una hora. La fórmula supone que si los clientes oyen tono de ocupado, se irán para no volver jamás, sin reintentar la llamada ("llamadas perdidas definitivamente"). Dado que algunos clientes reintentan la llamada, la fórmula Erlang B puede calcular una cantidad insuficiente de troncales. Sin embargo, por lo general resulta exacta en aquellas situaciones en que los tonos de ocupado son escasos.

La capacidad que aporta este tipo de sistemas es función del número de canales utilizado, o ancho de banda disponible, del tamaño de las células y de la configuración en racimos o "clusters". La capacidad será mayor cuanto mayor ancho de banda se disponga, cuanto menor sea la célula y cuantas menos células sean necesarias por "cluster". Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia co-canal que el sistema sea capaz de soportar. Respecto al tamaño de la célula, este estará limitado por la capacidad del protocolo de administración de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio.

El diseño de la capacidad de los sistemas se realiza por zonas, tomando cada estación de base independientemente, suponiendo el caso de tráfico más desfavorable; es decir, el tráfico en la hora pico.

**Reutilización de frecuencias:** Esta es la técnica que permite diferenciar a los sistemas de concentración de canales frente al resto. Se trata de tomar todo el grupo de frecuencias asignado a la red, dividiendo el grupo en varios subgrupos (células) y ordenándolo según una estructura celular (racimo). Así se pueden construir grandes redes con las mismas frecuencias sin que éstas se interfieran entre sí. El concepto de reuso de frecuencias se basa

en la modulación en frecuencia, se controla mediante la relación de "portadora a interferencia"  $C/I$ , esta relación está íntimamente ligada al espacio de separación entre células.

Actualmente existen muchos tipos de patrones de reuso de frecuencia, algunos de ellos involucran  $N = 4, 7, 8, 9, 12$  y  $21$ ; donde  $N$  es el número de celdas con diferentes grupos de frecuencias. La separación entre células se determina a través de la relación  $D/R$ , llamada también razón de reuso, donde  $D$  es la distancia entre el centro de una célula y el centro de otra célula que tenga el mismo grupo de frecuencias asignado, y  $R$  es el radio de cada célula.

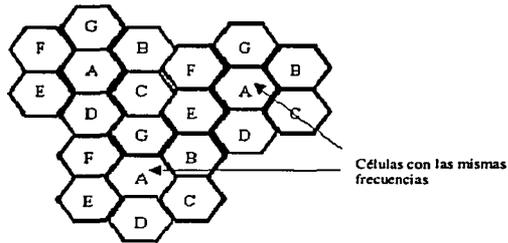


Figura 2.1 Cuadro de frecuencias  $N = 7$

**Señalización:** Es toda comunicación dedicada a administrar los recursos del sistema para permitir la comunicación. Al hablar de comunicaciones celulares, se va a tratar de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relativa a la propia estructura de red. Funcionalmente, se puede distinguir entre:

- señalización destinada a la administración de los recursos de radio;
- señalización destinada a la administración de la movilidad; y,
- señalización destinada al establecimiento de la comunicación, que además, puede ser común con otros sistemas de comunicación y, en particular, debe ser compatible con las redes fijas a las que las redes celulares se conectan.

**“Hand-over” o “Traspaso”:** Consiste en el proceso de pasar una comunicación de un mismo teléfono de un canal a otro. Es lo que diferencia a un sistema celular de otro tipo de sistemas de radiocomunicaciones de concentración de enlaces. En función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los handover pueden clasificarse en:

- handover intercelular, si el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula;
- handover interBSC (Base Station Controller), cuando hay cambio de célula pero ambas células se encuentran dentro del mismo sistema controlador de estaciones base;

- handover interMSC (Mobile Switching Centre), cuando hay cambio de célula y de controlador de estaciones base (BSC), pero ambos BSC's dependen de la misma central de conmutación móvil (MSC); y, finalmente,
- handover entre MSCs, cuando hay cambio de célula y ambas células dependen de MSC's distintas.

**Área de Localización:** Está formada por un conjunto de células, y determina el área donde se encuentra el terminal móvil y las células a través de las cuales se emitirá un mensaje de búsqueda para este terminal, en caso de llamadas entrantes al mismo.

**Registro:** Es el proceso mediante el cual un terminal móvil comunica a la red que está disponible para realizar y recibir llamadas. La red, por su parte, llevará a cabo una serie de intercambios de información con sus bases de datos antes de permitir o "registrar" al móvil. Gracias a este registro, la red sabrá en cada momento dónde localizar dicho móvil en caso de recibir una llamada.

**"Roaming" o "Itinerancia":** Es la capacidad que ofrece una red móvil para poder registrarse en cualquier VLR de la red. Actualmente, este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia.

A continuación se muestra en la Figura 2.2 el funcionamiento de una red celular básica.

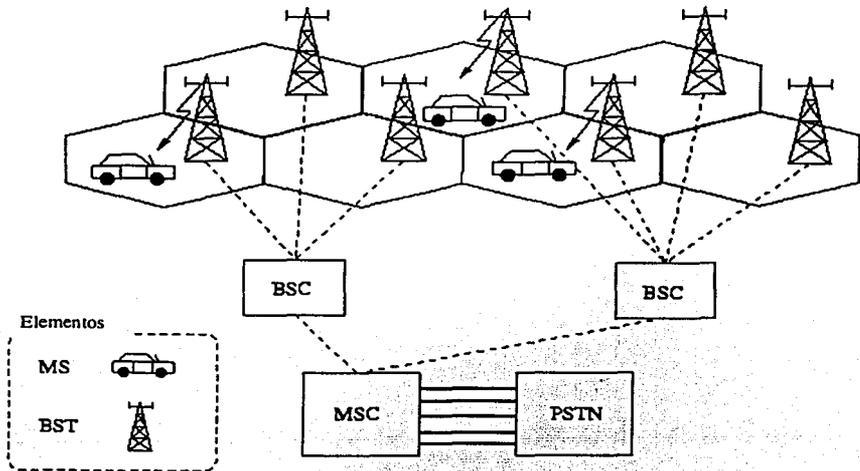


Figura 2.2 Elementos y funcionamiento de una red de telefonía celular.

### 2.1.2. Métodos de acceso Múltiple

La división en celdas permite utilizar mejor el recurso más limitado: el espectro electromagnético. En un sistema de comunicaciones vía radio, los usuarios compiten por las frecuencias disponibles. La solución al problema del acceso múltiple tiene grandes implicaciones desde el punto de vista económico pues limita el número de usuarios que pueden utilizar el sistema y por lo tanto, las utilidades que se obtienen.

En sistemas de radio móviles celulares el problema del acceso múltiple se puede resolver utilizando varios esquemas de acceso múltiple: acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA - Frequency División Multiple Access), por división de tiempo (TDMA - Time Division Multiple Access) y por división de código (CDMA - Code División Multiple Access) [7]. La selección del esquema de acceso múltiple se hace básicamente buscando ampliar la capacidad del sistema celular, y esto se debe al hecho de que las comunicaciones vía radio se están popularizando y el espectro electromagnético disponible es limitado. La capacidad de un esquema de acceso múltiple se mide en número de usuarios que pueden compartir simultáneamente un canal con un ancho de banda fijo. Como es obvio, es preferible un esquema de acceso que permita más usuarios pues se hace un uso más eficiente del espectro.

Aunque no son todos los esquemas posibles, en la telefonía celular se utilizan FDMA, TDMA y CDMA. Vale la pena notar que en el concepto mismo de la telefonía celular está implícito un esquema de acceso múltiple por división de espacio (SDMA - Space División Multiple Access), que consiste en dividir el espacio en unidades independientes (células) cada una de ellas con una antena (estación base) encargada de atender todas las comunicaciones en su área de cobertura.

#### 2.1.2.1. FDMA

La tecnología FDMA separa el espectro en distintos canales de voz, al separar el ancho de banda en secciones (frecuencias) uniformes. La tecnología FDMA es mayormente utilizada para la transmisión analógica. Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital. En este esquema, a cada comunicación se le asigna un canal virtual particular. El móvil y la base deben filtrar la información recibida de tal manera que sólo escuchen la conversación que están llevando a cabo.

Este esquema de acceso es muy común. De hecho se utiliza en todos los sistemas para dividir el espectro de frecuencias en dos canales: Un canal que lleva información de la base al móvil y que se llama forward-link, y un canal que lleva información del móvil a la base y que es el reverse-link.

### 2.1.2.2. TDMA

Consiste en dividir un canal con ancho de banda determinado en ranuras de tiempo, de manera que los canales virtuales se crean asignando a cada comunicación una ranura de tiempo. La primera comunicación utilizaría siempre la primera ranura, la segunda comunicación la segunda y así sucesivamente. Por el canal de comunicaciones se transmiten en secuencia la primera ranura, la segunda, la tercera, de nuevo la primera, la segunda, etc.

El esquema de acceso múltiple TDMA sólo puede ser utilizado en telefonía celular digital. Requiere que se implementen mecanismos de sincronización, especialmente en el enlace móvil-base, para garantizar que cada móvil está transmitiendo durante el tiempo que le corresponde y que no va a interferir con los otros móviles que están utilizando otras ranuras. En el enlace base-móvil la sincronización se requiere para garantizar que cada móvil esté procesando únicamente la información que va dirigida hacia él. Normalmente se aplica en conjunto con el FDMA. Se utiliza FDMA para dividir el canal físico en varios canales lógicos, y cada canal lógico se multiplexa utilizando TDMA.

### 2.1.2.3. CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access, acceso múltiple por división de código) es un nuevo concepto en las comunicaciones radioeléctricas. Ha ganado una aceptación general por los operadores de sistemas radio celulares como una actualización que incrementará notablemente la capacidad del sistema y la calidad del servicio. Este sistema ha sido elegido por la mayoría de los ganadores de las subastas de licencias que se han hecho en EEUU para dar servicios celulares.

Al principio no estaba muy claro si CDMA era una mejor opción que las otras dos técnicas tradicionales: TDMA ( sistema de acceso utilizado por GSM) y FDMA. Viterbi comparó la capacidad de CDMA en aplicaciones para satélites con las otras dos técnicas y no quedó claro cual era mejor. Pero esto cambió al observar que CDMA era robusto ante las interferencias. Este factor provoca un aumento en la capacidad del sistema y que viene muy bien en aplicaciones de voz [8].

El origen de esta tecnología está en las comunicaciones militares, al tratar de rechazar energicamente las interferencias provocadas, superponiéndose a ellas y asegurando las comunicaciones mediante códigos, lo que por otro lado no es sino lo que se desea alcanzar en las comunicaciones móviles celulares.

El primer punto a considerar es que en CDMA todos los usuarios, mientras duran sus comunicaciones, ocupan la totalidad del ancho de banda asignado a cada estación base, que puede ser de varios Mhz. Tanto en FDMA como en TDMA hay una separación de las señales de cada usuario, bien en frecuencia o bien en tiempo, mientras que en CDMA todos los usuarios en comunicación se están interfiriendo mutuamente, como grupos de parejas hablando en una recepción, en la que mientras todo el mundo está hablando a un

determinado nivel de volumen, cada persona se concentra en lo que dice su interlocutor, al menos que sobrevenga alguna información excepcional.

Si cada pareja hablara y entendiera un único código, su capacidad de dialogar, con un alto nivel de interferencia, sería mucho mayor, debido a la exclusividad del lenguaje. Este es el principio de supresión de interferencias utilizado en CDMA, donde las comunicaciones de cada móvil con su estación base se producen con una particular codificación semejante al uso de un solo código. Si además la codificación fuera ortogonal y las comunicaciones sobre un canal ideal, los usuarios ignorarían totalmente cualquier interferencia intercelular.

Se ha indicado que cada usuario transporta su señal utilizando la totalidad del ancho de banda disponible en su emplazamiento y como este ancho de banda es mucho mayor que la señal del mensaje del usuario, se produce un proceso de ensanchamiento del espectro, inevitable debido al uso de un código único asignado a cada usuario.

Para las comunicaciones desde la estación base hacia los móviles, las señales ensanchadas de cada usuario se combinan y aplican a un modulador. Un determinado móvil, después de demodular la señal de RF se presenta junto con todas las demás señales CDMA, y de la misma manera en los enlaces móvil-base, ésta recibe todas las señales CDMA y decodifica cualquiera de ellas en presencia de todas las demás.

Mezclando la totalidad de las señales con el código único asignado a un móvil determinado, resulta que la señal de este móvil aparece reconstruida. Para apreciar esta reconstrucción se supone que el código tiene chips cuyos niveles de voltaje son  $\pm 1$  y son multiplicados por sí mismo. El resultado es un nivel de voltaje 1, es decir, no hay cambios mientras dura el código. Evidentemente esta técnica precisa de un perfecto sincronismo entre las señales de entrada CDMA con el código generado en el receptor.

Otra característica de CDMA es la forma en que efectúa el handover (traspaso entre células), que es siempre blando (soft handover), ya que no hay cambios de frecuencia durante el proceso, de forma que en la frontera de las células, dos estaciones base comunican simultáneamente con la estación móvil que se desplaza, lo que resulta más favorable para las comunicaciones y proporciona mejor calidad de voz en los extremos de las células comparado con los sistemas FDMA y TDMA.

En la Figura 2.3 se puede observar el funcionamiento de cada una de estas técnicas de acceso múltiple.

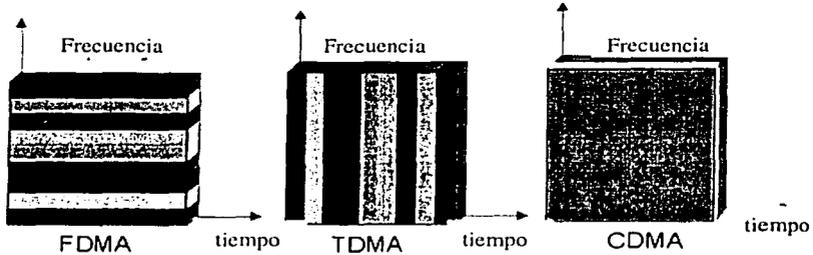


Figura 2.3 Técnicas de Acceso Múltiple.

### 2.1.3. Modulaciones Digitales

#### 2.1.3.1. Amplitude Shift Keying (ASK)

En un sistema de comunicaciones digitales la forma de onda moduladora será cuadrada, o un tren de impulsos. ASK es una forma de modulación de amplitud donde la portadora es modulada por el tren de impulsos [6]. Esta modulación puede estar entre dos niveles de amplitud o, más usualmente, intercambiando la portadora on y off. Esto es conocido como ASK on-off, o clave on-off (OOK). Si la forma de onda moduladora no es una senoide pero es una onda cuadrada, o un tren de impulsos, utilizando OOK la ecuación es:

$$\begin{aligned} v(t) &= A \cos w_c t && \text{durante el período y} \\ v(t) &= 0 && \text{en otra parte.} \end{aligned} \quad (2.1)$$

donde:

$v(t)$ : señal de voltaje modulada en el tiempo  $t$ .

$w_c$ : frecuencia de la portadora.

$A$ : amplitud de la señal.

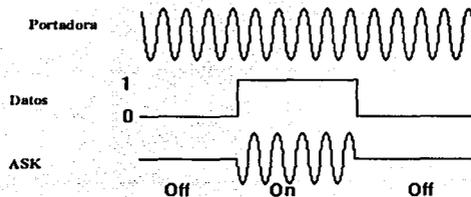


Figura 2.4 Modulación OOK.

Si se aplica una transformada de Fourier en esta ecuación para determinar el espectro, se encuentra que da un espectro que tiene muchas componentes, tanto por encima como por debajo de la frecuencia de la portadora, y que ocupan un amplio ancho de banda.

Las ecuaciones anteriores asumieron ASK on-off, donde la portadora es modulada por una forma de onda digital que tiene 0 y A como sus dos valores. Sin embargo, es posible modular la portadora con una forma de onda digital que tiene los dos niveles +A y -A. De esta manera se tiene:

$$\begin{aligned} v(t) &= +A \cos w_c t \text{ durante el período } 1 \text{ y} \\ v(t) &= -A \cos w_c t \text{ durante el período } 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Lo cual produce una forma de onda de portadora que esta alternativamente en fase y en contrafase como cambia el estado de la forma de onda moduladora. Una señal moduladora bipolar producirá así una señal de salida cuya fase cambiará de acuerdo con la información binaria. Si una transformada de Fourier es llevada a cabo en estas ecuaciones para determinar el espectro se obtiene un espectro que tiene muchos componentes, tanto adelante como detrás de la frecuencia de la portadora pero, como el nivel dc medio de la forma de onda es cero, el espectro no contiene componentes de frecuencia de portadora. Así la portadora es suprimida y la señal resultante es conocida como ASK de Portadora Suprimida.

Las señales digitales pueden ser transmitidas sobre canales de baja frecuencia, tal como circuitos de telefonía, o líneas directamente acopladas. Esto es referido como transmisión banda base. Sin embargo, la comunicación digital de ningún modo esta confinada a tales circuitos y puede haber ventajas económicas y técnicas al utilizar canales de alta frecuencia para la transmisión de señales digitales. Por ejemplo, puede ser requerida para enviar diferentes mensajes por el mismo circuito simultáneamente, o para cubrir largas distancias por un enlace de radio.

Como se muestra en la teoría, una señal ASK tiene tres componentes de frecuencia: la portadora, una banda lateral superior y una banda lateral inferior. Cada banda lateral ocupa un rango de frecuencias adyacentes a la portadora. Un espectro típico, con la portadora y bandas laterales es mostrado en la Figura 2.5.

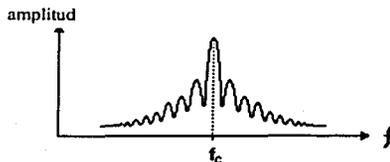


Figura 2.5 Espectro de la señal ASK.

A continuación en la Figura 2.6 se muestra el esquema de un modulador ASK.

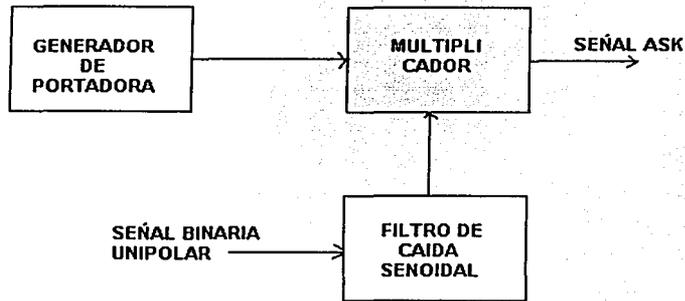


Figura 2.6 Modulador ASK

### 2.1.3.2. Frequency Shift Keying (FSK)

Una onda coseno puede ser representada por la ecuación:

$$v(t) = V \cos(\omega t + q) \quad (2.3)$$

donde  $v(t)$  es el valor instantáneo del voltaje de la forma de onda,  $V$  es la amplitud de la forma de onda,  $\omega$  es la frecuencia angular de la forma de onda,  $t$  es tiempo y  $q$  es el cambio de fase de una fase de referencia.

Las variables independientes en esta expresión son  $V$ ,  $\omega$  y  $q$ . Si alguna de estas variables es variada en respuesta a otra señal la onda se dice que está modulada. Con modulación de frecuencia la frecuencia instantánea es dependiente de la forma de onda.

Cuando la señal moduladora es una forma de onda binaria la señal transmitida es cambiada directamente de una frecuencia a otra. El sistema es descrito como Desplazamiento de Frecuencia (FSK). Las dos frecuencias pueden ser producidas por dos osciladores y sus salidas cambiadas por la señal moduladora, o un simple oscilador controlado por voltaje puede ser utilizado con su frecuencia alterada por el voltaje de la señal moduladora.

En la Figura 2.7 se presenta el modulador FSK, que requiere dos generadores de señal senoidal y un interruptor de doble tiro, de forma que un uno lógico lo levanta y un cero lógico lo baja.

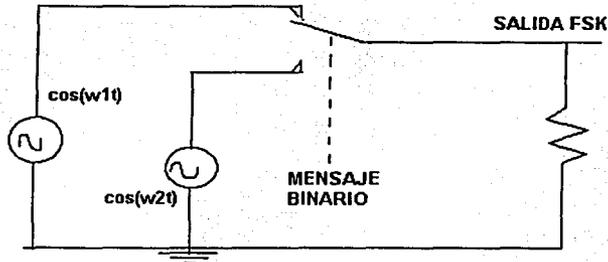


Figura 2.7 Modulador FSK.

En FSK se tiene:

$$\begin{aligned} V(t) &= E_c \cos \omega_1 t \text{ si } m(t) = 1 & \text{y} \\ V(t) &= E_c \cos \omega_2 t \text{ si } m(t) = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

MSK (Minimum Shift Keying) es un tipo especial de esquema de modulación FSK, con fase continua y un índice de modulación de 0.5. El índice de modulación de una señal FSK es similar al de FM. Un índice de modulación de 0.5 se corresponde con el mínimo espacio en frecuencia que permite que dos señales FSK sean ortogonales coherentes, y el nombre MSK significa la mínima separación en frecuencia que permite una detección ortogonal.

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es un esquema de modulación binaria simple que se puede ver como derivado de MSK. En GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen pasando los datos modulantes a través de un filtro Gaussiano de premodulación. El filtro gaussiano aplana la trayectoria de fase de la señal MSK y por lo tanto, estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea a través del tiempo. Esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de los lóbulos laterales en el espectro transmitido. La manera más simple de generar una señal GMSK es pasar una cadena de mensajes a través de un filtro gaussiano paso baja, seguido de un modulador de FM. Esta técnica de modulación se muestra en la Figura 2.8 y se usa actualmente en una gran cantidad de implementaciones analógicas y digitales, entre ellas en GSM [9]



Figura 2.8 Diagrama de bloques de un transmisor GMSK usando generación directa de FM

### 2.1.3.3. Phase Shift Keying (PSK)

Para obtener una señal modulada en fase, lo primero es tener presente cuántas fases va a tener la portadora. Para un mensaje binario, la portadora debe tener dos fases y la onda modulada se llamará 2PSK, para un mensaje cuaternario, la portadora tendrá cuatro fases y la señal modulada se llamará 4PSK y así sucesivamente. Ahora solo manejaremos el caso binario, por lo que la portadora solo tendrá dos fases: cero grados para el uno binario y 180 grados para el cero binario. De este modo:

$$\begin{aligned} 2PSK &= E_c \cos \omega_c t & \text{si } m(t) = 1 \text{ y} \\ 2PSK &= E_c \cos(\omega_c t + \pi) = -E_c \cos \omega_c t & \text{si } m(t) = 0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

El modulador 2PSK y el modulador ASK son idénticos; la única diferencia es que para ASK el mensaje es unipolar y para 2PSK el mensaje es polar.

La Figura 2.9 muestra un diagrama a bloques de un modulador PSK de dos fases [10].

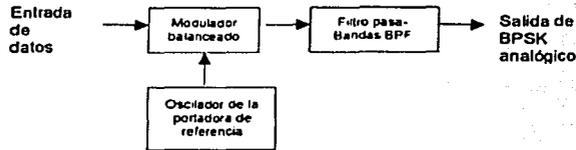


Figura. 2.9 Modulador de BPSK

A continuación en la Tabla 2.1 se describe el funcionamiento de las modulaciones digitales de fase más comunes y más utilizadas en comunicaciones móviles.

Modulación de fase	Características
<b>BPSK</b>	Dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase.
<b>QPSK (Desplazamiento de Fase en Cuadratura)</b>	Es una extensión del método de PSK simple. En QPSK la señal puede tomar uno de los cuatro ángulos de fase posibles, mutuamente en cuadratura, cada uno corresponden a una condición de entrada de datos particular.
<b>DPSK (Desplazamiento de Fase Diferencial)</b>	Con PSK normal hay una fase de referencia acerca de la cual la fase de la onda transmitida cambia cuando es modulada. Con este tipo de sistema, tanto el transmisor como el receptor tienen que mantener una referencia de fase absoluta contra la

	<p>cual la señal recibida es comparada. Con Desplazamiento de Fase Diferencial (DPSK) la información es transmitida en forma de cambios de fase discretos, donde la referencia de fase es la fase de la señal de fase previamente transmitida. La ventaja de esta técnica es que una referencia de fase absoluta no tiene que ser mantenida.</p>
<p><b>DQPSK (QPSK Diferencial)</b></p>	<p>De la misma forma que el cambio en DPSK es relacionado con el estado de la última fase transmitida, también lo es para DQPSK, excepto que hay cuatro fases de cambio posibles permitidas. La demodulación de señales DPSK puede ser lograda con un conjunto de circuitos más simple que para la demodulación de PSK o QPSK porque no se necesita referencia de fase absoluta. La referencia de fase es tomada de la fase del último bit recibido. Una constelación posible para DQPSK es mostrada en la Figura 2.10:</p> <div style="text-align: center;"> <p> <b>Data Stream</b>      00   11   11   01   00   00   10   → t  <b>Phase Change</b>    +45 -135 -135 -45 +45 +45 +135 → t  <math>\Delta \phi</math>  <b>Abs. Phase <math>\phi</math></b>    +45 -90 +135 +90 +135 +180 -45 → t    <b>+/- 4 Level Voltage For Phase Modulator</b>  180 135 90 45 0 -45 -90 -135 -180 </p> </div> <p><b>Figura 2.10 Constelación DQPSK</b></p>
<p><b>PSK de 8 fases</b></p>	<p>Un PSK de 8 fases, es una técnica para codificar M-ario en donde <math>M=8</math>. Con este modulador hay 8 posibles fases de salida. Con el 8-PSK la separación angular entre fases y salida adyacentes es de 45 grados.</p>
<p><b>PSK de 16 fases</b></p>	<p>El PSK de 16 fases es una técnica de codificación M-ario, en donde <math>M=16</math>; existen 16 diferentes fases de salida posibles. Con el 16-PSK la separación angular entre fases y salida adyacentes es de sólo 22.5 grados.</p>
<p><b>QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura)</b></p>	<p>El QAM es una forma de modulación digital en donde la información digital esta contenida, tanto en la amplitud, como en la fase de la portadora transmitida</p>
<p><b><math>\pi/4</math> DQPSK</b></p>	<p>La modulación <math>\pi/4</math> DQPSK se utiliza para modulación del canal de control y de voz en TDMA IS-136, y para IS-54 en el</p>

canal de voz. El termino diferencial significa que no existe una fase de referencia absoluta; cada símbolo se tiene como referencia al símbolo anterior. El termino cuadratura significa que existen cuatro cambios de fase posibles; por ello cada símbolo se compone de dos bits. El término  $\pi/4$  es un cambio de fase adicional que resuelve la ambigüedad de fase para DQPSK ordinario.

Tabla 2.1 Modulaciones digitales de fase.

#### 2.1.4. Radiomensajería (Paging)

La radiomensajería es una forma económica y popular de comunicaciones móviles. Por definición, radiomensajería es la transmisión unidireccional de un mensaje desde el originador hasta el terminal destino.

Hay varios tipos de mensajes que pueden originarse: desde un único tono o señal, donde el receptor sólo avisa al recibir un mensaje, pasando por la radiomensajería numérica, donde el terminal recibe un código en forma de dígitos (generalmente, con un máximo de 20 dígitos por mensaje) y, por último, la radiomensajería alfanumérica, donde se pueden enviar al receptor mensajes de hasta 1000 caracteres (dependiendo del sistema elegido y de la configuración que el operador haya hecho de su red).

En la Figura 2.11 se muestra un ejemplo de arquitectura de una red de radiomensajería.

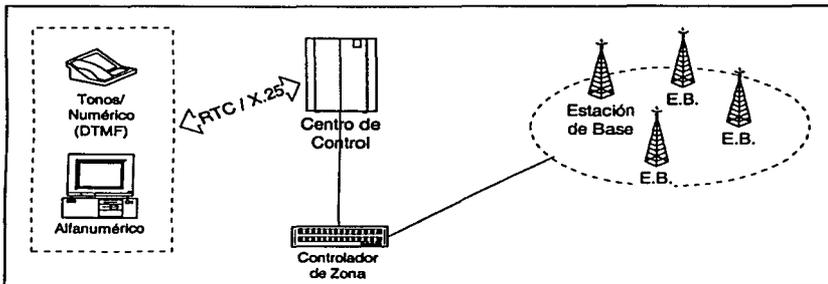


Figura 2.11 Arquitectura de una Red de Radiomensajería

Por la naturaleza de la radio, hay problemas en la recepción de señal si dicha señal se recibe a través de dos o más transmisores de manera simultánea fuera de fase. Los lugares donde se da esta posibilidad se denominan áreas de solape.

Hay tres maneras fundamentales para superar este problema. La primera es utilizar división en frecuencia, es decir, cambiar la frecuencia de transmisión en transmisores adyacentes para que no se produzcan solapes de cobertura en la misma frecuencia.

La segunda posibilidad es transmitir en turnos. En este método, hay varios grupos de transmisores situados de tal forma que cuando un grupo transmite, sus transmisores no se interfieren el uno al otro. En la segunda fase, transmite un segundo grupo y así sucesivamente.

Ambas propuestas presentadas tienen como objetivo final evitar que existan áreas de solapamiento. La última de las soluciones se basa en la sincronización de los transmisores y la emisión simultánea, o "simulcast". Esta es la técnica más utilizada actualmente por los sistemas de radiomensajería. El "simulcast" ofrece dos ventajas: en primer lugar, el radiocanal tendrá una capacidad entre 4 y 8 veces superior a la transmisión "por turnos"; en segundo lugar, la suma de las señales mejorará la recepción en las áreas de solape.

### 2.1.5. TRUNKING

En sentido estrictamente técnico, el término denominado en inglés TRUNKING denota un método de utilización para pocos canales de comunicación, por parte de un gran número de usuarios potenciales. De esto se desprende que, el concepto de TRUNKING permea casi todas las comunicaciones que implican la óptima utilización de un número predeterminado de canales de comunicación, como ocurre en la telefonía y en la administración de tráfico en los aeropuertos.

Ahora, el principio "TRUNKING" aplicado a la radiocomunicación de doble vía (tal como la usan actualmente los sistemas de transporte o de seguridad pública ambulatoria) implica varios tipos de tecnología, incluida la utilizada por los concesionarios de red pública para la radiocomunicación especializada de flotillas, o TRUNKING, así como la utilizada por los sistemas privados de radiocomunicación.

En suma, tanto la radiocomunicación privada, como el TRUNKING ofrecido por los concesionarios de redes públicas comprende un conjunto de tecnologías de uso de canales de radio para la comunicación de doble vía, tal como comúnmente lo utilizan los diversos sistemas de transporte por flotillas.

La tecnología utilizada como TRUNKING requiere como mínimo de la asignación de 5 canales dúplex para su operación. La experiencia indica (en el caso de sistemas concesionados) que con 5 canales dúplex es posible atender de 300 a 500 equipos de usuarios, y en el caso de 20 canales dúplex la cifra se incrementa de 1,500 a 2,500 equipos de usuarios. De aquí se observa que los sistemas "TRUNKING" son más eficientes si cuentan con un mayor número de frecuencias asignadas.

En el caso de sistemas privados, la eficiencia en cuanto al número de equipos puede ser menor pero se justifica por su eficacia en el campo operativo y depende de las necesidades de la empresa. Por ejemplo, la interconexión a la red telefónica pública de conmutación de equipos de usuarios, disminuye la posibilidad técnica de incrementar o mantener en operación el número óptimo de equipos móviles y portátiles en el sistema. Como se

observa, la tecnología TRUNKING es atractiva, aunque no debe descartarse la tecnología convencional, sobre todo para ciertas aplicaciones de índole privado.

## 2.2. Tecnologías Celulares en el mundo

En la evolución de las comunicaciones móviles se han definido claramente 2 generaciones de tecnologías celulares dependiendo de cuando se trataba de sistemas analógicos y en la segunda generación sistemas digitales [6][11]. La Tabla 2.2 recoge los datos de los sistemas de la 1G (analógicos) y la Tabla 2.3 de los correspondientes a la 2G (digitales) con una explicación completa de cada uno de ellos y posteriormente se analiza con más detalle los más importantes:

<b>Tecnologías Celulares Analógicas (1G)</b>	
AMPS	Advanced Mobile Phone System. Desarrollado por Bell Labs en los años 70, y usado en un primer momento comercialmente en los EE.UU. en 1983. Opera en la banda de 800 Mhz y por un tiempo fue el estándar celular más extendido en el mundo.
C-450	Instalado en Sudáfrica durante los años 80. Usa la banda de los 450 Mhz, como el C-Netz. Ahora conocido como Motorphone y en uso por Vodacom.
C-Netz	La más antigua tecnología celular, encontrada principalmente en Alemania y Austria. Usa la banda de 450 MHz.
Comvik	Establecido en Suecia en Agosto de 1981 en redes Comvik.
N-AMPS	Narrowband Advanced Mobile Phone System (Sistema de Telefonía Móvil Avanzado de Banda Estrecha). Desarrollado por Motorola como una tecnología intermedia entre analógica y digital. Tiene una capacidad de hasta tres veces superior a la de AMPS y opera en el rango de 800 Mhz.
NMT450	Nordic Mobile Telephones/450. Desarrollado especialmente por Ericsson y Nokia para dar servicio a los angostos y desérticos terrenos que caracterizan a los países nórdicos. Alcance 25km. Opera a 450 MHz. Usa FDD FDMA.
NMT900	Nordic Mobile Telephones/900. Actualización a 900 Mhz del NMT 450 desarrollado por los países nórdicos para acomodar sus altas capacidades y portabilidad manual. Rango 25km. Usa tecnología FDD FDMA.
NMT-F	Versión francesa del NMT900
NTT	Nippon Telegraph and Telephone. Antiguo estándar digital de Japón. Una versión de altas capacidades es el HICAP.
RC2000	Radiocom 2000. Sistema francés establecido en 1985.
TACS	Total Access Communications System. Desarrollado por Motorola, es similar al AMPS. Primero se usó en Reino Unido en 1985, aunque en Japón se llama JTAC. Opera en el rango de frecuencias de 900 MHz.

**Tabla 2.2 Tecnologías celulares analógicas.**

<b>Tecnologías celulares digitales (2G)</b>	
AI-Net	Nombre Austríaco para redes GSM 900.
Composite CDMA/TDMA	Tecnología inalámbrica que usa CDMA TDMA. Para aplicaciones de licencia de célula grande y sin licencia de célula pequeña. Usa CDMA entre células y TDMA sin células. Basado en Tecnología Omnipunto.
CDMA	Code Division Multiple Access. Hoy día hay un número de variaciones de CDMA, sumándose al originalmente inventado por Qualcomm N-CDMA (originalmente sólo 'CDMA', ahora conocido en los EE.UU. como IS-95. Ver debajo N-CDMA).
CT-2	Un estándar de telefonía inalámbrica de segunda generación. CT2 tiene 40 portadoras.
CTS	GSM Cordless Telephone System. En un entorno doméstico, los teléfonos GSM-CTS comunican con una Estación Base para el Hogar CTS (HBS), que ofrece un radio de cobertura en interiores perfecto. El CTS-HBS engancha con la red y ofrece lo mejor de la unión con el mundo móvil: bajo coste y alta calidad desde la Red Pública de Telefonía Conmutada y los servicios y movilidad del GSM.
D-AMPS (IS-54)	Digital AMPS, una variación del AMPS. Usa 3-timeslot, variación con respecto al TDMA, también se conoce como IS-54. Una mejora del analógico AMPS. Diseñado para direccionar el problema de usar canales existentes más eficientemente, DAMPS (IS-54) emplea el mismo espacio de canal de 30 kHz y banda de frecuencias (824-849 y 869-894 MHz) como AMPS. Por el uso de TDMA en lugar de FDMA, IS-54 incrementa el número de usuarios de 1 a 3 por canal (hasta 10 con TDMA mejorado). Una infraestructura AMPS/D-AMPS puede soportar el uso de teléfonos analógicos AMPS o teléfonos D-AMPS. Esto es así porque la Comisión Federal de Comunicaciones - Federal Communications Commission - estableció que las células digitales en EE.UU: pueden actuar en modo dual con las analógicas. Ambas operan en 800 Mhz.
DCS 1800	Digital Cordless Standard. Ahora conocido como GSM 1800. GSM opera en el rango de 1800 MHz. Esta es una frecuencia diferente al GSM, y los teléfonos GSM (900 Mhz) no pueden usarse en redes DCS 1800, a menos que sean de banda dual.
EDGE	UWC-136, la siguiente generación del encabezamiento de datos hacia la tercera generación y entornos personales

	multimedia construidos sobre GPRS, y se conoce como Enhanced Data rate for GSM Evolution (EDGE) - Algo así como proporción de Datos Mejorados para la Evolución del GSM -. Permitirá a las operadoras de GSM usar las bandas de radio GSM ya existentes para ofrecer servicios multimedia inalámbricos basados en IP y aplicaciones en teoría a la velocidad máxima de 386 kbps con una media de entre 48 kbps y hasta 69.2 kbps en buenas condiciones de radio.
E-Netz	Nombre alemán para redes GSM 1800
GMSS	Geostationary Mobile Satellite Standard, un estándar de interfaz aéreo por satélite desarrollado a partir del GSM y formado por Ericsson, Lockheed Martin, U.K. Matra Marconi Space y los operadores de satélite Asia Cellular Satellite y Euro-African Satellite Telecommunications.
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles - Global System for Mobile Communications -. Primer estándar digital europeo, desarrollado para establecer una compatibilidad celular en Europa. Su éxito se ha extendido a todo el mundo y hoy día hay más de 80 redes GSM operativas. Usa la banda de 900 Mhz.
IDEN	iDEN (Integrated Digital Enhanced Network). Fundada por Motorola en 1994, es un sistema Privado de Radio para Móviles de Motorola's Land Mobile Products Sector (LMPS) tecnología iDEN, actualmente disponible en las bandas de 800 MHz, 900 Mhz y 1.5 GHz. Utiliza una variedad de avanzadas tecnologías, incluyendo 'state-of-the-art vocoders', modulación M16QAM y TDMA (Time Division Multiple Access). Permite operadoras CMRS (Commercial Mobile Radio Service) para maximizar la capacidad de envío y provee flexibilidad de añadir servicios opcionales tales como interconexión telefónica full-duplex, paginación alfanumérica y servicios de comunicaciones de datos/fax.
IS-54	Basado en tecnología TDMA, usado por el sistema D-AMPS a 800 MHz
IS-95	Basado en tecnología CDMA y usado en 800 MHz
IS-136	Basado en tecnología TDMA
JS-008	Basado en el estándar CDMA para 1,900 MHz.
N-CDMA	Acceso Múltiple por División en Código para Banda estrecha - Narrowband Code Division Multiple Access -, o el antiguo CDMA. También conocido en EE.UU. como IS-95. Desarrollado por Qualcomm y caracterizado por su alta capacidad y radio de células pequeño, tiene un espectro de propagación de 1.25Mhz en el aire. usa la misma banda de

	frecuencia que AMPS y soporta AMPS, empleando la tecnología de propagación de espectro y un esquema de codificación especial. Fue adoptado por la TIA en 1993. Las primeras redes basadas en CDMA están operativas.
PACS-TDMA	Un estándar basado en TDMA con 8 espacios de tiempo, primeramente para uso 'peatonal'. Soportado por Motorola.
PCS	Servicio Personal de Comunicaciones (Personal Communications Service). La banda de frecuencia del PCS es desde 1850 hasta 1990 MHz. Los teléfonos de banda simple GSM 900 no se pueden usar en redes PCS. Las redes PCS operan en Norte América.
PDC	Personal Digital Cellular se basa en el estándar japonés TDMA operando en las bandas de 800 y 1500 MHz.
PHS	Personal Handy System. Sistema céntrico japonés que ofrece servicios de alta velocidad de datos y extraordinaria claridad de voz. Realmente es un sistema WLL con 300 m a 3 Km de cobertura.
TDMA	Time Division Multiple Access. El primer estándar digital de EE.UU. que se desarrolló. Fue adoptado por la TIA en 1992. El primer sistema comercial TDMA comenzó en 1993. Existen variaciones.
Telecentre-H	Sistema propietario WLL de Krone. Rango 30 km, en el intervalo de 350-500 MHz y 800-1000 Mhz. Usa las tecnologías FDD FDM/FDMA y TDM/TDMA.
TETRA	TERrestrial TRunked RADio (TETRA) es un estándar de radio principal digital abierto que es definido por el European Telecommunications Standardisation Institute (ETSI) para conocer las necesidades de los usuarios profesionales de radio móvil.
TETRA-POL	Red propietaria TETRA de MATRA y AEG. No es conforme a las especificaciones TETRA MoU.
UltraPhone 110	Sistema propietario WLL por IDC. Rango 30 km, entre 350-500 MHz. Usa tecnologías FDD FDM/TDMA. El sistema UltraPhone permite 4 conversaciones para operar simultáneamente por cada canal espaciado 25kHz. Un sistema típico WLL 24-channel puede soportar 95 circuitos de voz full-duplex en el espectro de 1.2 KHz.
WLL	Wireless Local Loop: Número de sistemas limitado normalmente se encuentra en áreas remotas donde el uso conjunto de líneas es imposible. Los sistemas más modernos WLL usan tecnología CDMA.

Tabla 2.3 Tecnologías Celulares Digitales.

### 2.2.1. Sistemas de telefonía celular digital

En la Tabla 2.4 se resumen las características técnicas de los principales sistemas de telefonía celular de segunda generación utilizados en el mundo y que son la base para la evolución a los sistemas de 3G [11]. Posteriormente se profundiza en algunos de ellos y se habla del protocolo WAP, el que ha servido hasta el momento para poder navegar en Internet con el terminal móvil.

Nombre del sistema y lugar donde se usa	GSM Europa	IS-54 NADC América del Norte	IS-95 América del Sur	JDC Japón
Año de introducción	1990	1991	1993	1992
Estación de célula base Banda de transmisión en MHz	935-960	869-894	869-894 ó 1930-1990	810-826, 1477-1489 ó 1501-1513
Estación móvil Banda de transmisión MHz	890-915	824-849	824-849 ó 1850-1910	940-956, 1492-1441 ó 1453-1465
Potencia máxima (watts)	20	3	0.2	
Número de canales duplex	125	832	20 ó 48	1600
Ancho de banda del canal (kHz)	200	30	1250	25
Método de acceso al canal	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Usuarios por canal	8	3	35	3
Modulación Tipo	GMSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK	DQPSK
Tasa de datos	270.833 kbits/s	48.6 kbits/s	9.6 kbits/s	42 kbits/s
Filtro	0.3R gaussiano	$r=0.35$ coseno elevado		$r=0.5$ coseno elevado
Codificación de la voz	RPE-LTP 13 kbits/s	VSELF 8 kbits/s	QCELP 8 kbits/s	VSELF 8 kbits/s

Tabla 2.4 Características técnicas de las tecnologías de 2G

### 2.2.2. IS-95 CDMA (Code División Múltiple Access)

El estándar IS95 ha sido definido por la TIA (Telecommunications Industry Association) de Estados Unidos, y es compatible con el plan de frecuencias existente en los Estados Unidos para la telefonía celular análoga. Las bandas especificadas son 824 Mhz - 849 Mhz para reverse-link y 869 Mhz - 894 Mhz para forward-link. Los canales están separados por 45 Mhz. La velocidad máxima de usuario es de 9.6 Kb/s, y se ensancha a un canal de 1.2288 Mchp/s. El proceso de ensanche es diferente para cada enlace. En el forward-link los datos son codificados con un código convolucional (1/2), mezclados (interleaved), y se ensanchan con una secuencia de 64 bits (funciones de Walsh). A cada móvil se le asigna una secuencia diferente. Se proporciona, además, un canal piloto (código) para que cada

móvil pueda determinar cómo actuar con respecto a la base. Este canal tiene mayor potencia que todos los demás y proporciona una base coherente que usan los móviles para demodular el tráfico. También proporciona una referencia de tiempo para la correlación del código.

En el reverse-link se utiliza otro esquema pues los datos pueden llegar a la base por caminos muy diferentes. Los datos son codificados con un código convolucional (1/3). Después de mezclados, cada bloque de 6 bits se usa como un índice para identificar un código de Walsh. Finalmente se ensancha la señal utilizando códigos que son específicos del usuario y de la base.

El control de potencia se lleva a cabo en pasos de 1 dB, y puede ser de dos maneras: Una es tomar como referencia la potencia recibida de la estación base. La otra es recibir instrucciones de la base sobre el ajuste que se debe llevar a cabo.

Finalmente, vale la pena anotar que la señal que se transmite se modula utilizando la técnica QPSK filtrado de la base al móvil y QPSK filtrado con un desplazamiento del móvil a la base.

Cuando se enciende un móvil, éste conoce la frecuencia asignada para el servicio CDMA en el área local. Se sintoniza en dicha frecuencia y busca la señal piloto. Puede encontrar varias señales piloto provenientes de diferentes estaciones base, pero éstas pueden ser diferenciadas porque tienen diferentes desplazamientos de tiempo. El móvil selecciona la señal piloto más potente y establece referencias de tiempo y frecuencia a partir de ella. Una vez realizado este proceso de selección de la base, el móvil comienza a demodular con el código Walsh 32 que corresponde al canal contiene el valor futuro del registro de desplazamiento de código largo (42 bits). El móvil carga dicho valor en su registro y queda sincronizado con el tiempo de la estación base.

Adicionalmente se requiere que el móvil se registre en la base; de esta manera, ésta sabe que el móvil está disponible para recibir llamadas y cual es su ubicación. Cuando un móvil pasa de una zona a otra y no hay una llamada en curso, realiza un proceso de idle state handoff. Cuando el usuario realiza una llamada, el móvil intenta contactar la estación base con un acceso de prueba. El código largo que se utiliza está basado en los parámetros de la celda. Si ocurre una colisión el móvil no recibe respuesta y espera un tiempo aleatorio antes de intentar de nuevo. Al establecer contacto con la estación base, esta le asigna un canal de tráfico mediante un código Walsh. A partir de este momento el móvil cambia el código largo por uno basado en su número de serie. El código Walsh se utiliza en el forward-link, mientras que el código largo se utiliza en el reverse-link. Cuando un móvil comunicado con una base detecta otra señal piloto suficientemente potente, solicita un proceso de soft handoff.

Al móvil se le asigna otro código de Walsh y otra temporización piloto. El móvil debe estar en capacidad de recibir ambas señales y combinarlas. Cuando la señal de la base original haya disminuido lo suficiente, el móvil solicita el fin del soft handoff.

Al finalizar una llamada, los canales se liberan. Cuando el móvil se apaga genera una señal registro de apagado que se envía a la base para indicar que ya no está disponible para llamadas.

### 2.2.3. NADC (IS-54 E IS-136)

El IS-136 es la evolución de la especificación IS-54. El uso de IS-136 permite a los operadores ofrecer un servicio de mensajes cortos y un completo uso de canales digitales. Se llama celular digital norteamericano (NADC) y funciona con TDMA. Tiene las características siguientes:

TDMA es una de varias tecnologías usadas en comunicaciones sin hilos. TDMA provee de cada llamada las ranuras de tiempo de modo que varias llamadas puedan ocupar una anchura de banda. Asignan a cada usuario una ranura del momento específico. En algunos sistemas celulares, los paquetes digitales de la información se envían durante cada vez que ranura y son vueltos a montar por el equipo de recepción en los componentes originales de la voz. TDMA utiliza las mismas asignaciones de la banda y del canal de frecuencia que los amperios. Como NAMPS, TDMA proporciona a tres a seis canales del tiempo en la misma anchura de banda que los solos amperios acanalan. TDMA es el estándar digital y tiene anchura de banda 30-kHz. Usando codificadores digitales de la voz, TDMA puede utilizar hasta seis canales en la misma anchura de banda donde los AMPS utilizan un canal.

El esquema de modulación empleado por TDMA es DQPSK p/4. Los niveles de C/I son los mismos que para el analógico 17 dB, aunque muchos operadores están utilizando ya 20 dB's.

### 2.2.4. GSM

La infraestructura básica de un sistema GSM no difiere en mucho de la estructura de cualquier red celular [12]. La mayoría de los elementos implicados son compartidos con otros servicios, por lo que en el presente estudio, nos centraremos principalmente en aquellos específicos para el servicio de datos.

El sistema consiste en una red de radio-células contiguas para cubrir una determinada área de servicio. Cada célula tiene una BTS (*Base Transceiver Station*) que opera con un conjunto de canales diferente de los utilizados por las células adyacentes. Un determinado conjunto de BTSs es controlado por una BSC (*Base Station Controller*). Un grupo de BSCs es a su vez controlado por una MSC (*Mobile Switching Centre*) que enruta llamadas hacia y desde redes externas (R.T.B., R.D.S.I., etc.) públicas o privadas.

El HLR (Home Location Register) es una base de datos encargada de la administración de los clientes. Hay varios HLR en una red móvil, dependiendo del número de clientes y de cuántos pueda manejar cada uno. Contiene toda la información relacionada con cada cliente, que queda registrado mediante varios tipos de identificación: IMSI (International

Mobile Station Identity) y MSISDN (Mobile Station International ISDN Number), que es el número telefónico del cliente en formato internacional, y adicionalmente, otros tipos, en caso de tener habilitados ciertos servicios (como GPRS – General Packet Radio Service y los LCS Location Services).

Siempre hay algún tipo de identificación, aparte del IMSI en el HLR. La base de datos contiene informaciones tales como las relativas a los servicios contratados, la restricción de servicios (por ejemplo, limitaciones en la itinerancia), los servicios suplementarios (información acerca del estado de la llamada en curso y del número llamado), la localización del cliente (área de VLR), etc. El VLR (Visitor Location Register) se encarga de controlar la itinerancia (roaming) de las MSs (Mobile Station) en un área MSC. Cuando una MS entra en una nueva área de ubicación se comienza un procedimiento de registro. El MSC encargado de dicha área notifica este registro y transfiere al VLR la identidad del área de ubicación donde la MS está situada. Si dicha MS no está todavía registrada, el VLR y el HLR intercambian información para permitir el adecuado manejo de las llamadas de esta MS. El VLR puede estar encargado de una o varias áreas MSC [13].

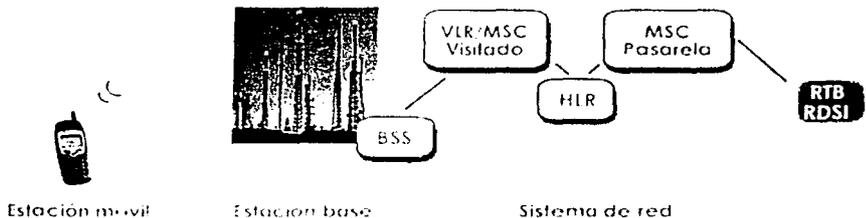


Figura 2.12 Estructura de red GSM.

La MSC es el corazón del sistema GSM. Es el centro de control de llamadas, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, control de los servicios suplementarios y del *handover* entre MSCs, así como la recogida de información necesaria para tarificación. También actúa de interfaz entre la red GSM y cualquier otra red pública o privada de telefonía o datos. Para soportar los servicios telemáticos, la MSC incorpora un elemento conocido como GIWU (GSM Interworking Unit) que no es más que un conjunto de módems con salidas a RTC y que modulan la señal digital GSM a analógica de RTC.

GSM trabaja en la banda de 900 MHz con una combinación de FDMA (*Frequency División Multiple Access*) y TDMA (*Time División Multiple Access*) para conseguir los requeridos 124 pares de portadoras radio de 200 KHz, cada una de los cuales puede manejar 8 canales por medio de TDMA con 8 "time slots" (0,557 ms.). Es decir, aunque una portadora da servicio a 8 canales, en un instante dado sólo uno de esos canales está utilizando el ancho de banda disponible. Cada uno de esos canales podría subdividirse a su vez en dos canales (codificación *half-rate*)

La banda de frecuencia utilizada es 890-915 MHz para el enlace ascendente (Móvil-BTS) y 935-960 MHz para el descendente (BTS-Móvil). Para prevenir interferencias, las BTSs adyacentes usan diferentes frecuencias.

La modulación utilizada es GMSK (*Gaussian Minimum Shift Key*) a una velocidad de 270 Kbit/s. El codificador de canal tiene dos modos de operación dependiendo si la información a transmitir es voz o datos.

La voz es muestreada, cuantificada y codificada a una velocidad básica de 13 Kbit/s. que pasa a 22.8 Kbit/s., cuando se añade la corrección de errores hacia delante (FEC). La información adicional de sincronización y los periodos de guarda entre *time-slots* aumenta la velocidad de bit a 33.9 Kbit/s.

Los servicios en una red GSM se dividen en dos grupos principales:

- Servicios Básicos.
- Servicios Suplementarios.

Un servicio básico es por ejemplo "telefonía" o "fax". Un servicio suplementario es un servicio añadido que complementa a un servicio básico de telecomunicación:

- Desvío de llamada.
- Restricción de llamadas.
- Llamada en espera.
- Etc.

Los servicios básicos de telecomunicación se dividen a su vez en dos categorías:

- Servicios portadores.
- Teleservicios.

Los servicios portadores proporcionan la capacidad de transferencia entre terminales conectados a la red GSM local (HPLMN), así como con equipos conectados a otras redes: RTB, RDSI, etc. Abarcan funciones relativas a los tres primeros niveles del modelo OSI, es decir, atributos de *bajo nivel (Low Layer Capability)*. Los Teleservicios son aquellos servicios de Telecomunicación que proporcionan plena capacidad de comunicación entre usuarios o terminales, de acuerdo a protocolos preestablecidos. Así pues, los teleservicios están caracterizados por atributos asociados a los niveles 1-3 de red (*Low Layer Capability*) y a los niveles superiores (*High Layer Capability*). Los teleservicios soportados por la red GSM son los siguientes:

- Telefonía (*speech*)
- Llamadas de emergencia.
- Servicio de Mensajes Cortos (SMS).
- Servicios de fax:
- Fax automático.
- Servicio alternado de telefonía y fax.

Además de las funciones básicas de radio y de proceso necesarias para acceder a la red a través de la interfaz radio, una estación móvil debe ofrecer un interfaz al usuario (tal como micrófono, altavoz, pantalla y teclado), o un interfaz hacia otros equipos terminales (tal como un interfaz hacia un PC o una máquina de fax).

Un aspecto fundamental de la estación móvil GSM, que la diferencia de las estaciones móviles del resto de sistemas, es el concepto de "módulo de usuario" o SIM (Subscriber Identity Module). La SIM es básicamente una tarjeta inteligente, que sigue los estándares ISO; contiene toda la información referente al usuario almacenada en la parte de usuario de la interfaz radio. Sus funcionalidades, además de esta capacidad de almacenar información, se refieren también al tema de confidencialidad. El resto de la estación móvil contiene todas las capacidades básicas de transmisión y señalización para acceder a la red. El interfaz entre la SIM y el resto del equipo está totalmente especificado y se denomina sencillamente interfaz SIM-ME, donde ME significa terminal móvil (Mobile Equipment).

El concepto de un dispositivo extraíble con los datos del usuario tiene en sí mismo grandes consecuencias. En otros sistemas celulares, la personalización de cada estación móvil requería una intervención nada trivial, que sólo se realizaba a través de especialistas técnicos. Esto implicaba que una estación móvil sólo podía venderse a través de distribuidores especializados. Además, si alguna estación móvil fallaba, era difícil dotar al usuario de otra que la remplazase durante el periodo de reparación, y casi imposible permitir que el usuario mantuviese su mismo número de teléfono durante este periodo.

La tarjeta SIM simplifica estos asuntos y también ofrece otras ventajas. Un usuario potencial puede comprar un equipo móvil, pero también lo puede alquilar o pedir prestado por un periodo de tiempo determinado, y cambiarlo cuando desee sin necesidad de procesos administrativos. Todo lo que necesita es su propia SIM, obtenida a través de un distribuidor o de un proveedor de servicio, independientemente del equipo que desee adquirir. Los últimos pasos de la personalización de la SIM pueden realizarse fácilmente a través de un pequeño ordenador y un sencillo adaptador.

### 2.2.5. WAP

WAP corresponde a las siglas de Wireless Aplicación Protocol (Protocolo de Aplicaciones Móviles) y como su propio nombre indica permite la conexión a contenidos de Internet desde un terminal móvil, con los condicionantes fundamentales de velocidad de acceso, capacidad de proceso y pantalla e interfaz de usuario [13]. El estándar WAP nació en un congreso de cuatro grandes compañías: Nokia, Ericsson, Motorola y Unwired Planet. Estas últimas fundaron el WAP Forum como foro de debate encaminado a recomendar estándares a distintos organismos de estandarización (ETSI, ANSI, W3C, TIA, ECMA, IETF).

WAP está basado en el modelo Web de Internet, es decir, en el WWW. Es un estándar abierto, lo que permite el desarrollo y la incorporación de diferentes soluciones. WAP

define una torre de protocolos a partir del nivel de transporte y un entorno de desarrollo de aplicaciones

El estándar WAP está basado en el modelo Cliente-Servidor como Internet. Pretende conservar el formato de navegación existente en la Web. Para ello debe entablar una serie de peticiones y respuestas con el servidor, que ha de entregarle contenidos ya sea estáticos o sea dinámicos.

Cuenta con un lenguaje específico, WML, conforme al ya existente XML, que le permita no depender del tipo de terminal en la creación de aplicaciones. Su característica esencial es la de ser muy ligero y adaptarse a las restricciones de presentación y ejecución de instrucciones del usuario. Además de este lenguaje, se define WMLScript como un complemento robusto, orientado al procesado más que al interfaz de usuario.

Para paliar los déficits actuales, WAP aprovecha al máximo el ancho de banda, reduciendo el envío de paquetes redundantes, y optimizando el número de tramas enviadas al canal radio. Lo hace mediante una pila de protocolos mucho más ligera. Incluye además compresión automática de todas las transacciones. Podemos ver en la Figura 2.13 la arquitectura de una red WAP.

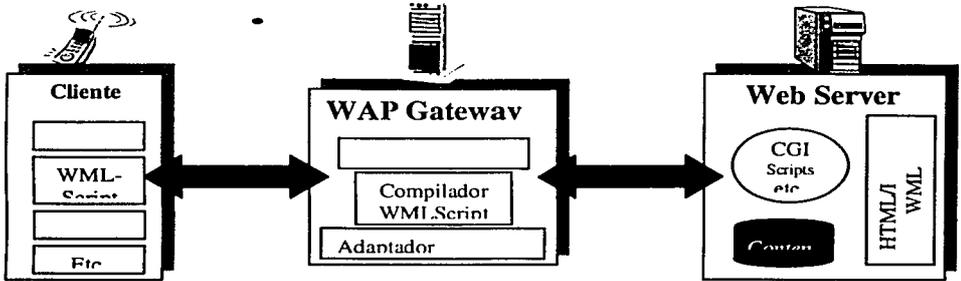


Figura 2.13 Red WAP.

### 3. Tercera Generación de Telefonía Celular

El concepto de Tercera Generación (3G) define un nuevo conjunto de tecnologías y una colección de Normas de Dominio Público, que constituyen un estándar abierto. La UIT nombró genéricamente a la Tercera Generación con las siglas IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), incluyendo una componente terrestre y otra por satélite.

La 3G, significa un salto enorme respecto de los sistemas actuales. Está pensada para roaming global, transmisión de datos a alta velocidad a través de técnicas avanzadas de conmutación de circuitos y de paquetes, soporta tecnología IP (y ATM) lo que posibilita el acceso a Internet, y en general aplicaciones multimedia móviles, con servicios personalizados y basados en la localización de los usuarios.

#### 3.1. Evolución a los sistemas de Tercera Generación

Con el fin de aprovechar al máximo los beneficios de las inversiones hechas en los sistemas móviles actuales, es conveniente determinar la manera en la que estos sistemas pueden evolucionar hacia IMT-2000. Esto facilitaría también la introducción de IMT-2000 y permitiría un mayor grado de reutilización de la infraestructura de redes existentes [14].

Este aspecto se está considerando sobre la base de que los sistemas previos a IMT-2000 pueden poseer ya algunas características y admitir desarrollos ulteriores que permitan su evolución hacia IMT-2000. Cabe señalar también que este enfoque puede ser el más apropiado para los sistemas que funcionan en bandas de frecuencias próximas a las bandas identificadas para IMT-2000, como es el caso del sistema GSM.

En este sentido, la industria global de telecomunicaciones ha reducido en general el número de normas de tercera generación, respetando al mismo tiempo las normas existentes. Así, se han logrado dos hechos importantes: la convergencia de TDMA y GSM, y la convergencia de modos CDMA.

La convergencia de TDMA y GSM comienza con GPRS (General Packet Radio Service), que crea una arquitectura de la red común y comparte componentes de red de radio y terminales, por lo que su introducción en las redes resulta fácil y económica. La convergencia de modos CDMA crea una sola familia de acceso radio CDMA de tercera generación: DS-WCDMA y MC-WCDMA (multi-carrier W-CDMA) en modo FDD. Los modos WCDMA de Secuencia Directa DS-WCDMA (también llamados de Espectro

Expandido) son los modos principales aceptados por la UIT para UMTS. El modo multi-  
portadora (MC-WCDMA) es sobre todo para la evolución de cdmaOne/cdma2000.

Para que puedan trabajar juntas las normas de segunda generación con las de tercera  
generación se debe dar funcionalidad de interoperabilidad al nivel de red (protocolos) y al  
nivel terminal (terminales multi-entorno y multi-modo).

La migración de los sistemas de segunda generación a los servicios de 3G depende del  
punto inicial de análisis; por ejemplo, sistemas basados en CDMA tienen un camino  
distinto a los basados en TDMA. Los primeros de ellos apuntan hacia "CDMA 2000",  
mientras que los sistemas con TDMA (como GSM) van a emigrar mediante el estándar W-  
CDMA hacia UMTS.

**Evolución vía GSM:** Los sistemas propuestos para la evolución de GSM son: HSCSD  
(High Speed Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service) y EDGE  
(Enhanced Data Rate for GSM Evolution). Todos ellos poseen una velocidad de  
transmisión de datos muy alta. El objetivo de la migración GSM es alcanzar UMTS. Los 3  
sistemas mencionados anteriormente conforman la llamada generación 2.5. En la Figura 3.1  
se puede observar la evolución que se tiene con estos sistemas.

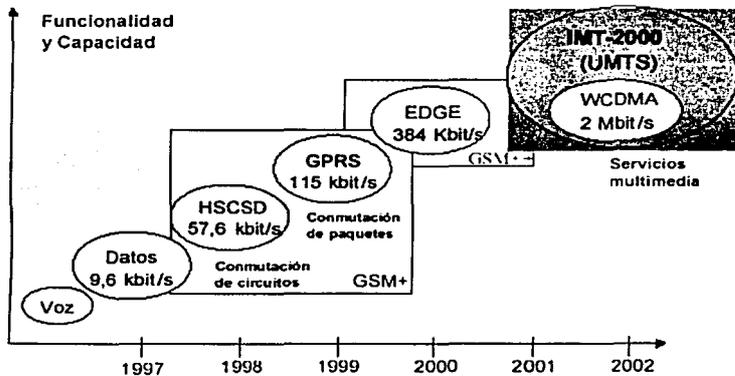


Figura 3.1 Paso a paso hacia UMTS.

**Evolución vía cdmaOne:** En el caso de las redes basadas en cdmaOne (IS-95A) de banda  
estrecha, existentes en los Estados Unidos y otros países de su área de influencia, la  
transición hacia IMT-2000 consiste en dos pasos migratorios: IS-95B e IS-95C.

La norma IS-95B mejora las velocidades de 64 a 115 kbit/s agregando a los 8 canales de  
tráfico CDMA 14,4 kbit/s y asignándolo a un móvil el tiempo que dure su operación (en

ráfaga). Conveniente para acceso a Internet y aplicaciones que requieran velocidades medias, particularmente en áreas de bajo tráfico (suburbano/rural). IS-95C (cdma2000 fase 1), también conocida como 1XRTT o Cdma2000-fase-1, IS-95C emplea un canal de 1,25 MHz de ancho de banda y ofrece una velocidad nominal de 144 kbit/s para aplicaciones móviles y estacionarias. Conveniente para requerimientos superiores en áreas de alto tráfico, pero no llega a soportar los servicios 3G.

### 3.1.1. Factores del éxito de GSM

El estándar GSM ha dominado claramente el mercado europeo desde 1999 al igual que otras regiones del mundo como puede observarse en la Tabla 3.1. Región por región, Europa, Asia y Norte América, están experimentando una dramática expansión de GSM convirtiéndolo en el estándar dominante en el mundo, con un alto grado de servicios extras y gran popularidad. Con alrededor de 35 millones de usuarios, China se mantiene como el mercado más grande de GSM [1].

Europa	Norte América	América latina	Asia	África
GSM: 89% Otros: 11%	AMPS, Otros: 60% TDMA: 27% CDMA: 9% GSM: 4%	AMPS, Otros: 55% TDMA: 39% CDMA: 5% GSM: 1%	GSM: 35% CDMA: 14% TDMA: 3% Otros: 48%	GSM: 88% Otros: 12%

Tabla 3.1 Dominio Regional de las distintas Tecnologías de telefonía móvil.

El éxito de GSM se debe a los factores expuestos en la Tabla 3.2 [15]

<b>Actividades de estandarización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándar abierto de sistema para interconectar terminales y redes.</li> <li>• Costo adecuado de las terminales y la infraestructura.</li> <li>• Harmonización de servicios, facturación y procedimientos operativos para el roaming internacional.</li> <li>• Cooperación cercana entre operadores, reguladores y fabricantes para definir estándares.</li> <li>• Proceso temprano y ordenado para otorgar Licencias de operadores.</li> <li>• Definición clara y precisa de las normas gracias a la ETSI y al GSM-MoU.</li> </ul>
<b>Progreso en la comunicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor calidad del sonido.</li> <li>• Mejora de la eficiencia espectral.</li> <li>• Compatibilidad con otros sistemas.</li> <li>• Capacidad de tráfico mejorada.</li> <li>• Comunicaciones encriptadas digitalmente.</li> </ul>

<b>Seguridad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IMEI</li> <li>• Autenticación (SIM)</li> <li>• Confidencialidad en la comunicación.</li> <li>• Confidencialidad del abonado.</li> </ul>
<b>Nuevos servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SMS</li> <li>• FAX</li> <li>• e-mail</li> <li>• datos</li> <li>• Internet móvil (WAP)</li> <li>• Roaming Internacional.</li> </ul>

**Tabla 3.2 Factores de éxito de GSM.**

### 3.1.2. HSCSD

El HSCSD (High Speed Circuit Switched Data ) es una especificación de la Fase 2+ de GSM, homologada por el ETSI en febrero de 1997 y comercializada a partir de 1999. Se trata de un servicio multi-slot de transmisión de datos a alta velocidad mediante circuitos conmutados [14].

El HSCSD, junto con el esquema de codificación mejorado de 14,4 Kbit/s, permite velocidades de transmisión de datos de hasta 57,6 Kbit/s, combinando varios slots de 9,6 Kbit/s o 14,4 Kbit/s. Con esta tecnología el número de slots usados en cada instante por una comunicación de datos es variable dependiendo de la saturación de la célula en la que esté operando el teléfono móvil.

Las aplicaciones que se pueden beneficiar del HSCSD son: correo electrónico, Fax, acceso a LAN, transferencia de documentos extensos, videoconferencia, seguridad, difusión de TV, navegación por internet.

La mayor ventaja del HSCSD, es que la inversión para ser implantado es mínima, ya que básicamente se trata de una modificación software y mínimos cambios hardware. Así pues, aunque algunos operadores y fabricantes se han volcado directamente con la tecnología GPRS, el HSCSD permite a aquellos que lo implanten en su red adelantarse en la oferta de servicios avanzados con una inversión que no va a perder rentabilidad a largo plazo, ya que muchas de las aplicaciones GPRS, se inician con el HSCSD; algunas se trasladarán al sistema de transmisión por paquetes, pero otras seguirán utilizando el HSCSD, más adecuado a aquellas funciones que necesitan una velocidad constante y un mínimo retraso, como puede ser la transmisión de imágenes de vídeo o imágenes en tiempo real.

La mayor desventaja del HSCSD es el coste para los usuarios, el uso de 4 canales, significa que se paga 4 veces más.

### 3.1.3. GPRS

GPRS significa General Packet Radio Service (Servicio General de Radio por Paquetes) y es una extensión de la tecnología de comunicaciones GSM, diseñado con el objetivo de desarrollar las capacidades de transmisión de datos sobre la red actualmente utilizada para la transmisión de la voz. Las cualidades de GPRS la hacen idónea para aplicaciones que van más allá del uso de la voz y que de forma global se conocen como Servicios Avanzados de Datos en Movilidad. En la Tabla 3.3 se observa una comparación entre GSM y GPRS [13]:

Las características de GPRS son:

- Transmisión de información por paquetes de datos.
- Conexión permanente a Internet (always on).
- Comunicaciones de voz y datos concurrentemente.
- Velocidad de conexión superior a la actualmente permitida en la red GSM.
- Facturación por volumen de información transmitida (y no por tiempo de conexión).
- Permite comunicaciones de voz y datos a velocidades de hasta 115 Kb/s
- En GSM la comunicación se establece en modalidad circuito: Esto significa que una vez generada la conexión, la línea de comunicaciones se bloquea hasta que la conversación termina. Sin embargo, el tráfico de datos en GPRS se establece en modalidad paquete: La información es fraccionada en origen y transmitida en pequeños bloques (paquetes), siendo reagrupada posteriormente en su destino. En la Tabla 3.4 es posible observar sus ventajas y desventajas.
- Mensajería unificada e instantánea
- Acceso a redes de datos basadas en Internet
- Servicios de localización con personalización del propio perfil

Característica	GSM	GPRS	Mejora obtenida
Velocidad de transferencia	Hasta 9.6 Kbps	Hasta 50 Kbps	La transferencia de datos se realiza con un rendimiento hasta 5 veces mayor que con GSM.
Tiempo de establecimiento de conexión	De 15 a 30 seg	Conexión permanente	La información es enviada o recibida, según va surgiendo la necesidad, sin necesidad de establecer conexión: El acceso a los servicios se produce de forma ágil y rápida
Facturación	Por tiempo de conexión	Por volumen de datos transmitidos	Permite una utilización más intensiva

Tabla 3.3 Comparación entre GSM y GPRS.

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Conmutación de circuitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El enlace creado entre los dos terminales tiene la capacidad de transmisión (ancho de banda) requerida siempre disponible.</li> <li>- Una vez establecida la conexión, la red es transparente para las entidades que se están comunicando.</li> <li>- El retardo es menor que en la conmutación de paquetes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ineficiencia por dedicar capacidad de transmisión (ancho de banda) aún cuando no se requiera.</li> <li>- Consumo de tiempo en el establecimiento y cierre de la conexión, lo que introduce un retardo adicional.</li> </ul>
<b>Conmutación de paquetes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta eficiencia, aprovecha mejor el ancho de banda disponible, ya que no es necesario que un canal de comunicación sea utilizado exclusivamente para la transmisión de un punto a otro.</li> <li>- Cambio de velocidad: es posible recibir datos a una velocidad y transmitir a otra (normalmente más baja)</li> <li>- Manejo de congestión: Puede continuar aceptando datos aún cuando los recursos estén ocupados es capaz de establecer prioridades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colas de espera en cada nodo, lo que conlleva un cierto retardo que es mayor que en conmutación de circuitos.</li> <li>- Posibilidad de congestión, ya que la red acepta paquetes más allá de su capacidad para despacharlos.</li> </ul>

**Tabla 3.4** *Ventajas y desventajas de la conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.*

Una de las principales ventajas de GPRS es que esta totalmente integrado en el protocolo IP [16]. Esto facilita la integración con la tecnología de transmisión de datos utilizada en la actualidad y la prevista para el futuro (como Ipv6).

La arquitectura de red de GPRS es esencialmente la misma de GSM, aunque introduce los siguientes nuevos elementos:

**PCU (Packet Control Unit, Unidad de Control de Paquetes):** Este nuevo elemento interactúa con la parte GPRS del terminal de datos (teléfono, PDA, portátil), encargándose de la transmisión vía radio de paquetes. Se asocia unívocamente a cada estación base (BSS) para incorporar al subsistema actual (vía radio) la funcionalidad GPRS.

**SGSN (Serving GPRS Support Node):** Nodo de conmutación de paquetes que se encarga de la entrega de paquetes desde y hacia los móviles que están dentro de su área de servicio. Tiene asociado un Registro de Localización (Location Register) similar al VLR. Se encarga de la autenticación de usuarios, gestión de la movilidad y tarificación.

**GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Nodo pasarela cuya función principal es la de actuar como interfaz entre la red troncal GPRS y las redes externas. Incorpora funciones de *Firewall*, encapsulado y traducción de direcciones IP.

El Proceso de encriptación del interfaz aire es el siguiente:

- Mediante el establecimiento de la clave mutua, el móvil y el SGSN se ponen de acuerdo en la clave de cifrado a utilizar para la codificación y decodificación de los datos.
- Las claves que maneja el SGSN son independientes de las del MSC, éstas se establecen para el cifrado en GSM. Por tanto, si un terminal es capaz de usar los servicios GSM y GPRS, tendrá dos claves diferentes: una en el MSC y otra en el SGSN.
- El establecimiento de la clave de cifrado se lleva a cabo en el momento en que la identidad del terminal móvil es conocida por la red. La transmisión de la clave hacia el móvil se realiza bajo un proceso de autenticación.
- Durante la fase de transferencia de datos, ni el terminal móvil ni el SGSN pueden transmitir datos sin encriptar: Los únicos datos que se pueden transmitir de esta forma son unos pocos mensajes de señalización; si algún otro mensaje se transmitiera sin cifrar, automáticamente sería descartado.
- Tras la transmisión de datos, la clave se almacena en el terminal móvil hasta que sea actualizada en el próximo proceso de establecimiento de clave, siendo una clave diferente en cada ocasión.

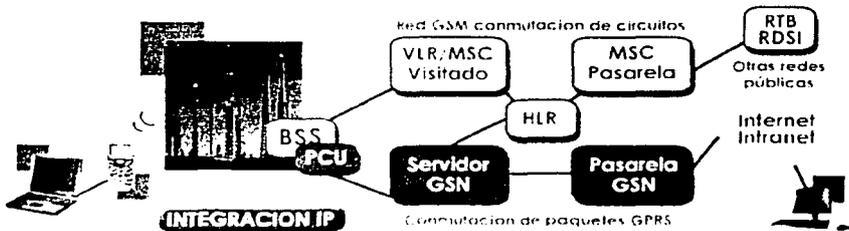


Figura 3.2 Arquitectura de GPRS.

### 3.1.4. EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) es un estándar para transmisión de datos a alta velocidad que permite velocidades de hasta 384 kbps. La "G" del acrónimo EDGE significaba inicialmente GSM, pero fue cambiada por la palabra global cuando la comunidad TDMA adoptó EDGE como parte de su migración hacia la 3G [17].

EDGE fue inicialmente desarrollado por Ericsson con la finalidad de emigrar las redes GSM hacia la 3G. Rápidamente se concluyó que debería funcionar para redes TDMA también. La idea que persigue EDGE es alcanzar velocidades de transmisión de datos muy altas en la actual portadora GSM de 200 KHz cambiando el tipo de modulación empleado y funcionando por medio de conmutación de circuitos y de paquetes. Es la migración de una red de paquetes que no es de banda ancha como GPRS, hacia una red de un ancho de banda mayor (384 Kbps)

HSCSD y GPRS empleaban modulación GMSK, en cambio EDGE utiliza modulación 8PSK. Por medio de ésta EDGE proporciona una velocidad de transmisión de 48Kbps por time slot que al multiplicarse por un máximo de 8 time slots da una velocidad teórica máxima de 384Kbps.

Una ventaja a favor de EDGE es que no se van a necesitar nuevas licencias para los operadores de telefonía móvil, es suficiente con tener una licencia para GSM. Pero posee la desventaja de que se necesitarán actualizaciones de hardware para soportar el cambio en la técnica de modulación. Cada célula necesitará un nuevo transmisor EDGE. Actualizaciones de Software para las BSC's pueden ser incluidas de manera remota en los sistemas, de manera que cada estación base sea capaz de manejar GSM y cambiar automáticamente a EDGE cuando sea necesario.

Las terminales previstas para EDGE son diferentes a las actuales empleadas para GSM, debido a que éstas no soportan la modulación 8PSK. Se espera que soporten altas velocidades de transmisión en el enlace de bajada pero el de subida será más lento.

Actualmente este estándar se encuentra en desarrollo y no existen redes de EDGE en el mercado. Se anticipa que las tasas de transmisión de datos van a alcanzar en un principio entre 50 y 70 Kbps debido a las capacidades de la redes y a las limitantes de las terminales. Al igual que GPRS representa una evolución de la red GSM hacia UMTS, siendo el último paso para alcanzar la 3G. EDGE se prevé que pasará rápidamente por el mercado en lo que se consolida UMTS.

## 3.1.5. Comparación entre 2G y 3G.

A continuación en las Tablas 3.5 y 3.6 se muestra una comparación detallada entre las tecnologías de 1G, 2G Y 3G.

Generación	Tecnología	Ancho de banda (Kbit/s)	Características
1G	AMPS/ NMT	9.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio de voz analógico</li> <li>• No compatible con la transmisión de datos</li> </ul>
2G	GSM	9.6-14.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio de voz digital</li> <li>• Envío de mensajes cortos</li> <li>• Roaming global</li> <li>• Conmutación de circuitos</li> </ul>
2.5G	HSCSD	9.6-57.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensión de GSM</li> <li>• Altas velocidades de transmisión.</li> </ul>
	GPRS	9.6-115	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensión de GSM</li> <li>• Conexión "always on"</li> <li>• Conmutación de paquetes.</li> </ul>
	EDGE	64-384	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensión de GSM</li> <li>• Conexión "always on"</li> <li>• Más rápido que GPRS.</li> </ul>
3G	UMTS	64-2,048	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión "always on"</li> <li>• Roaming global</li> <li>• Habilitación IP.</li> </ul>

**Tabla 3.5 Comparación detallada de las tres generaciones de Telefonía celular.**

Aspectos	Sistemas de Segunda Generación	Sistemas de Tercera Generación
<b>Tecnología Digital</b>	Tecnología digital para modulación de voz, codificación de canal e implementación de canales de control y tráfico.	Incremento en el uso de tecnologías digitales incluyendo radios programables.
<b>Operación en Distintos Ambientes</b>	Están optimizados para operar en algunos ambientes, como vehicular y pedestre en redes fijas y móviles.	Se busca la operación multiambientes.
<b>Bandas de Frecuencia</b>	800Mhz. 1.5Ghz y 1.8Ghz.	900Mhz., frecuencia global para sistemas terrestres y satelitales.
<b>Servicio de Datos</b>	Velocidades menores a 100kbps y basados en conmutación de circuitos.	Altas velocidades y servicio de datos en conmutación de circuitos o paquetes.

Servicio de Búsqueda (Roaming)	Limitado a una región específica.		Búsqueda Global con la disponibilidad de cobertura satelital.
	2G (1995-2000)	2.5G (2001-2002)	3G (2002 en adelante)
Servicios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefonía.</li> <li>• E-mail</li> <li>• SMS</li> <li>• Entrega de texto digital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios bancarios móviles</li> <li>• Mail de voz</li> <li>• Reproductores de Audio móviles.</li> <li>• Periódicos digitales.</li> <li>• Entrega de Audio digital</li> <li>• Cupones</li> <li>• Servicios de Radiolocalización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Videoconferencia móvil</li> <li>• Videoteléfono</li> <li>• Videomail.</li> <li>• Diagnóstico Médico Remoto.</li> <li>• Educación a distancia.</li> <li>• Televisión móvil.</li> <li>• Navegación avanzada.</li> <li>• Guías de ciudades</li> <li>• Compras móviles.</li> <li>• Catálogos de tiendas móviles.</li> <li>• Entrega de Audio y Video digital</li> <li>• Aplicaciones B2B.</li> </ul>

Tabla 3.6 Comparación entre 2G y 3G.

### 3.2. CDMA y 3G

La tecnología CDMA (Code División Multiple Access) genérica aparece como la base tecnológica por excelencia de la próxima generación de comunicaciones móviles 3G. CDMA proporciona mejores prestaciones que las tecnologías celulares convencionales tanto en calidad de las comunicaciones como en privacidad, capacidad del sistema y flexibilidad y, por supuesto en ancho de banda [18].

CDMA es una tecnología genérica que puede describirse, como un sistema de comunicaciones por radio celular digital que permite que un elevado número de comunicaciones de voz o datos simultáneas compartan el mismo medio de comunicación, es decir, utilizan simultáneamente un pool común de canales de radio, de forma que cada usuario puede tener acceso a cualquier canal; el canal es un segmento del espectro de radio que se asigna temporalmente a un propósito específico, como, por ejemplo, una llamada telefónica. En CDMA, cada comunicación se codifica digitalmente utilizando una clave de encriptación que solamente conocen los terminales involucrados en el proceso de comunicación y únicamente durante la duración de la comunicación. La codificación digital y la utilización de la técnica de espectro esparcido, otra característica inherente a CDMA se pueden considerar como los puntos de identificación de la tecnología CDMA.

Existen dos enfoques fundamentales dentro de la tecnología genérica CDMA, ambos de banda ancha: W-CDMA (Wideband-CDMA) y cdma2000, que proviene, esta última de cdmaOne (IS-95 CDMA, el CDMA de la segunda generación) [19].

W-CDMA aparece con importantes expectativas no solo en Estados Unidos sino también en Europa donde UMTS constituye la versión europea de la norma W-CDMA. Desde un punto de vista de trayectoria evolutiva W-CDMA aparece más fuertemente asociado a Japón y Europa, mientras que Estados Unidos aparece asociado a cdma2000, fundamentalmente porque CDMA en su forma cdmaOne es una tecnología 2G bien establecida en Estados Unidos; sin embargo, las tendencias en Estados Unidos apuntan a un posible desplazamiento hacia W-CDMA. La UIT ha aprobado una cantidad considerable de especificaciones para velocidades de datos y requisitos hacia 3G lo que aumenta la posibilidades de movimiento.

Cdma2000 utiliza la misma tecnología subyacente y espectro de radio que cdmaOne, con lo cual el proceso de migración de cdmaOne a cdma2000 aparece suficientemente viable. En este proceso de migración, aparecen como primera etapa intermedia cdma2000 1x que se inscribe en el ámbito de las tecnologías de transición hacia 3G, o sea, las tecnologías conocidas como 2.5G, donde también se encuentra GPRS cuyo origen es GSM. Cdma2000 1x, apoyado por los fabricante coreanos Samsung, Hyundai y LG Electronics, está funcionando ya en Corea del Sur. A cdma2000 1x le sigue, en el proceso evolutivo hacia 3G, la versión cdma2000 1xEV (1x EVolution) donde, a su vez, aparecen dos etapas: la primera dedicada solamente a datos (1xEV-DO) que probablemente esté en funcionamiento a mediados del año 2002 y la siguiente que cubre datos y voz (1xEV-DV).

Qualcomm, el fabricante de chips y software para móviles e infraestructuras inalámbricas y creador de cdmaOne es, obviamente, uno de los promotores de cdma2000, pero la incertidumbre en torno a quién será el ganador, cdma2000 o W-CDMA, hace que las diferentes compañías estén trabajando para poder funcionar con los dos sistemas. Así, la propia Qualcomm está presente en los dos enfoques, cdma2000 y W-CDMA (W-CDMA le permitirá entrar en el mercado europeo) y por otra parte, firmas como Motorola o Lucent están trabajando en equipos para sistemas cdma2000, así como una parte importante de los fabricantes asociados con UMTS.

El estado de la situación y el ambiente general parece indicar que W-CDMA cubrirá la mayor parte del mundo: UMTS aparece como un factor crucial en este movimiento. Sin embargo, factores como el hecho de que la tecnología cdma2000 pueda estar disponible antes que W-CDMA o los tiempos involucrados en el despliegue de la redes pueden ayudar a inclinar la balanza en un sentido u otro. En cualquier caso, el escenario aparece aún confuso en términos de cómo se van a configurar las cuotas de mercado entre los dos contendientes: la forma y rapidez en que produzca el despliegue de las redes está fuertemente asociado a esta configuración de cuotas de mercado. También la compatibilidad entre sistemas y la cartera de servicios, dos temas perceptibles por el usuario, van a ser cruciales para el desarrollo del mercado y, por supuesto, el tema de los precios. Subyacente a todo esto aparecen los temas puramente tecnológicos: cdma2000 presenta mejores características en compatibilidad y facilidad para la migración (bastante más económica que W-CDMA) además de que utiliza el espectro con más eficacia ya que se pueden conseguir siete portadoras en 10MHz frente a las dos de W-CDMA y, por otra

parte, cdma2000 utiliza el mismo espectro frente a W-CDMA que necesita nuevo espectro. Lo relativo a este tema se explica en el apartado 3.3.1.1.

W-CDMA funciona como un canal CDMA cuatro veces más ancho que los canales que se están utilizando actualmente en estados Unidos en 2G. El japonés NTT DoCoMo es uno de los impulsores de W-CDMA: está previsto que desarrolle un sistema W-CDMA que enlace Tokio, Osaka y Nagoya, al mismo tiempo que ha formado recientemente una alianza con la empresa de software alemana SAP. Por otra parte, la inglesa Vodafone también está involucrada en W-CDMA a través de UMTS.

Se han realizado diferentes versiones de W-CDMA: la más reciente viene dada por las actuaciones en torno a los resultados de un proyecto piloto realizado en Japón y en los resultados del sistema europeo UMTS todo ello gestionado y supervisado por 3GPP (Third Generation Partnership Project); de ahí ha surgido el enfoque/norma 3GPP W-CDMA. Este enfoque emplea W-CDMA en ambos modos FDD (Frequency División Duplex) y TDD (Time División Duplex). Las especificaciones W-CDMA utilizan el término UE (User Equipment) para referirse a los teléfonos móviles, ordenadores portátiles y cualquier otro equipo para acceder a un sistema W-CDMA. A diferencia de lo que ocurre en las estaciones móviles CDMA de segunda generación, en W-CDMA el user equipment (UE) puede transmitir más de un código de canal para que las altas velocidades involucradas puedan ser una realidad; en base a esto, el UE se puede contemplar como una especie de estación transceiver base.

CDMA presenta las siguientes ventajas fundamentales:

1. Mejora del tráfico telefónico
2. Mejora de la calidad de la transmisión de voz y eliminación de los efectos audibles del fading (atenuación) multitrayecto
3. Reducción del número de lugares necesarios para soportar cualquier nivel de tráfico telefónico
4. Simplificación de la selección de lugares
5. disminución de las necesidades en despliegue y costes de funcionamiento debido a que se necesitan muy pocas ubicaciones de células
6. Disminución de la potencia media transmitida
7. Reducción de la interferencia con otros sistemas electrónicos.
8. Como todas las células utilizan las mismas frecuencias, no hay necesidad de hacer cambio de frecuencias en el handoff (hardhandoff). Sólo hay que hacer cambio de códigos.
9. No se requieren los bits de guarda que hay entre las ranuras en TDMA.
10. Al sectorizar, por lo menos en teoría, se obtiene un incremento de la capacidad.
11. Menos desvanecimientos.
12. La transición es más fácil. En CDMA se utiliza un ancho de banda de 1.25 Mhz, el cual es equivalente al 10% del ancho de banda asignado a las compañías celulares, por lo que se puede hacer una transición lenta y adecuada.
13. No se requiere gestión ni asignación de frecuencias.

14. El efecto de adicionar un usuario extra sobre la calidad se distribuye entre todos los usuarios.
15. Puede coexistir con sistemas análogos.

### 3.3. Tecnologías móviles 3G.

La futura generación de comunicaciones móviles, llamada 3G, significa un salto enorme respecto de los sistemas actuales. Está pensada para roaming global, transmisión de datos a alta velocidad a través de técnicas avanzadas de conmutación de circuitos y de paquetes, soporta tecnología IP (y ATM) lo que posibilita el acceso a Internet, y en general aplicaciones multimedia móviles, con servicios personalizados y basados en la localización de los usuarios.

Para asegurar el éxito de los servicios 3G, se ha de proporcionar a los usuarios unas comunicaciones muy eficientes, con una alta velocidad y calidad y, además, fáciles de utilizar. Los sistemas de 3G deben ofrecer:

- Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbit/s en alta movilidad, 384 kbit/s en espacios abiertos y 2 Mbit/s en baja movilidad.
- Soporte tanto de conmutación de paquetes (IP) como de circuitos.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación WWW), videojuegos, comercio electrónico, y vídeo y audio en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como en la red fija.
- Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.
- Personalización de los servicios, según perfil de usuario.
- Servicios dependientes de la posición (localización) del usuario.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.
- Itinerancia (roaming), incluido el internacional, entre diferentes operadores y tipos de redes.
- Ambientes de funcionamiento marítimo, terrestre y aeronáutico.
- Capacidad de terminales telecargables, multibanda y multientorno.
- Provisión de un "ambiente local virtual " VHE: el usuario podrá recibir el mismo servicio independiente de su ubicación geográfica.

Existen razones evidentes que explican la necesidad de introducir la 3G: por una parte está la capacidad de las redes móviles actuales que permiten albergar un número limitado de usuarios, con un patrón de consumo similar al actual, y en cuanto se sobrepase la congestión de la red se manifiesta de manera insoportable para los usuarios; por otra parte, tenemos el incremento de tráfico motivado por la sustitución del tráfico fijo por el móvil, en cuanto el coste de las llamadas se reduzca y los hábitos de los usuarios se modifiquen,

necesitándose entonces más espectro; y, por último, por la aparición de nuevos servicios, muchos de ellos personalizados, donde la convergencia con Internet y el aumento de aplicaciones multimedia significará un aumento significativo de tráfico, tanto es así que los analistas estiman que este supondrá en torno a un 30% de tráfico adicional en tan solo dos o tres años.

### 3.3.1. IMT-2000

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications - 2000) es un estándar de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) definido por un grupo de recomendaciones de la serie M, F, G y Q [20]. Agrupa a una familia de sistemas con capacidades y servicios 3G cuya puesta en servicio en la Unión Europea y otros países, como es Japón, está sujeta a consideraciones de mercado y disponibilidad de terminales en cantidades masivas para atender la demanda.

IMT-2000 entendida sobre la base de sistema de tercera generación y su futura evolución, viene a consolidar y unificar los diversos e incompatibles ambientes móviles de hoy a una infraestructura de Red y Radio capaz de ofrecer un amplio rango de servicios a escala global. Proporciona acceso a servicios de telecomunicaciones prestados por las redes fijas de telecomunicaciones (RTC y/o RDSI) y a otros servicios específicos de los usuarios móviles. IMT-2000 abarca una gama de servicios y terminales móviles, enlazados a redes terrenas o satelitales, y los terminales pueden ser diseñados para uso móvil o fijo, para ambientes tanto profesional como doméstico, públicos o privados.

En 1998 la UIT denominó RTT (Radio Transmission Technology) a las tecnologías que harían de interfaz aire entre las estaciones base y los terminales móviles. En junio de ese año, la UIT había recibido 15 propuestas (10 terrestres y 5 satelitales), siendo evaluadas por grupos independientes especiales, los que presentaron los informe en septiembre del mismo año. Estas pueden observarse en la Tabla 3.7

<b>Organismo</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Descripción</b>
ARIB Japón	*WCDMA	CDMA de Banda Ancha
TIA TR45.5	Cdma2000	CDMA de Banda Ancha (IS-95)
EE.UU.		
ETSI SMG2	UTRA	Acceso Radio Terrestre UMTS
Europa		
TIA TR 45.3	UWC-136	Comunicaciones Universales Inalámbricas
EE.UU.		
ETSI Europa	DECT	Comunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas
CATT China	TD-SCDMA	CDMA Síncrono por División Temporal
TIA TR46.1	*WIMS	CDMA Inalámbrico Banda Ancha para
EE.UU.	WCDMA	Multimedia
T1P1-ATIS	*NA:	CDMA Norteamericano de Banda Ancha
EE.UU.	WCDMA	
TTA Corea del Sur	CDMA I	DS-CDMA Síncrono Multibanda
TTA Corea del Sur	CDMA-II	DS-CDMA Asíncrono
TTA Corea del Sur	SAT CDMA	49 Satélites LEO a 2.000 km
ESA Europa	SW-CDMA	CDMA de Banda Ancha por Satélite
ESA Europa	SW-CTDMA	CDMA/TDMA de Banda Ancha por Satélite
ICO Global	ICO RTT	10 Satélites MEO a 10.000 km
Comm.		
Inmarsat	Horizon	10 satélites Horizons

**Tabla 3.7** *Propuestas terrestres y satelitales para la interfaz aire de IMT-2000*

De todas estas, las especificaciones técnicas de las RTT terrestres fueron aprobadas en la WRC-2000. Se pueden observar en la Tabla 3.8 y en la Figura 3.3

Nombre ITU	Conocido como:	Organismo de estandarización
IMT-2000 CDMA Direct Spread (DS)	UMTS-FDD UMTS W-CDMA	3GPP
IMT-2000 CDMA Multi-Carrier (MC)	cdma 2000	3GPP2
IMT-2000 CDMA TDD	UMTS-TDD UMTS	3GPP
IMT-2000 TDMA Single-Carrier	UWC-136	UWCC
IMT-2000 FDMA/TDMA	DECT	ETSI

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de las RTT terrestres.

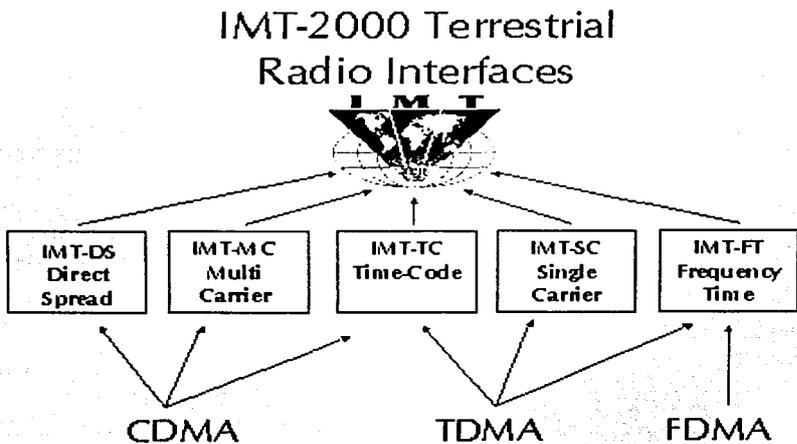


Figura 3.3 Especificaciones técnicas de las RTT terrestres

Los distintos entes involucrados en los sistemas 3G han propuesto, básicamente, dos sistemas de tercera generación: UMTS y cdma2000.

### 3.3.1.1. Bandas de Frecuencia

Existen hoy en día tres grandes regiones reconocidas por la UIT, la primera encabezada por los países europeos y que incluye además al continente africano y parte del Medio Oriente, la Región 2 de las Américas, liderada por los Estados Unidos de Norteamérica y la Región 3, que comprende Asia y Oceanía cuyo liderazgo japonés se ha visto desafiado recientemente por China y los mayores países líderes del Sudeste Asiático.

En cada región la evolución en la atribución de frecuencias ha seguido cursos distintos, generalmente marcados por aplicaciones militares o desarrollos tecnológicos de las empresas líderes industriales de la zona.

Un tema trascendental será la asignación de frecuencias. En la WRC-97 se fijaron las bandas de frecuencias 1885-2025 y 2110-2200 MHz, con carácter mundial para las IMT-2000, incluyendo las bandas 1980-2010 y 2170-2200 MHz para la componente por satélite de estos sistemas. Estas se pueden observar en la Figura 3.4

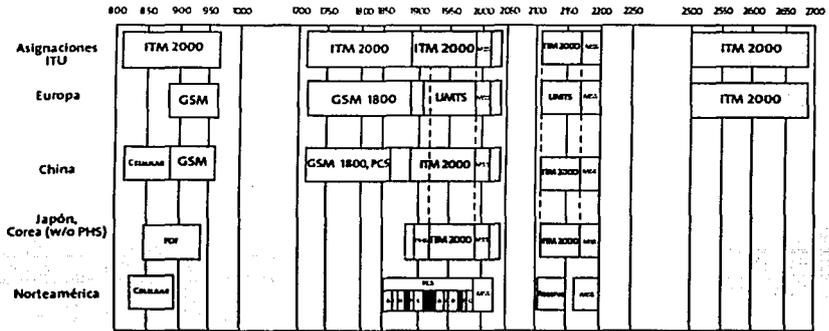


Figura 3.4 Espectro para IMT-2000.

**Europa:** En los países de la Unión Europea, en general, todo el espectro UMTS/IMT-2000 definido por el ITU-R, se ha aceptado (excepto los 15 MHz que actualmente usa el sistema DECT). Las bandas para el UMTS terrestre son 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz. Esto nos da 155 MHz en total. Para la componente por satélite tenemos las bandas 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz, lo que nos da 60 MHz en total.

De acuerdo con las decisiones tomadas por los distintos grupos de trabajo, al menos 2\*40 MHz deberían estar disponibles para los operadores al comienzo del año 2002, y los 155 MHz de la componente terrestre deberían estar disponibles por el año 2005, sujeto a la demandas del mercado. El UMTS Forum además pide que otros 185 MHz adicionales se

requieren para la componente terrestre para el año 2010. Para la componente por satélite hay 60 MHz (en el sistema IMT-2000 definido por el ITU). Para el UMTS además se requieren 30 MHz adicionales para el año 2010.

**Norteamérica:** Los norteamericanos tienen un escenario diferente. La introducción de los servicios PCS hace que la banda de 1850-1990 MHz no se encuentre disponible. Esto plantea el problema de como los equipos de radio podrán estar armonizados con los servicios IMT-2000 de Europa, Japón y el resto del mundo. Hay unos 5 ó 15 MHz libres que se podrían usar dentro de esa banda. Por lo tanto un requerimiento importante para el estándar es un ancho de banda mínimo por operador de 5 MHz, habiendo de incluir también las bandas de guarda necesarios. Con la banda de frecuencias de 2110-2160 MHz no hay problemas pues no hay servicio de PCS.

**Asia/Pacífico:** Los países del pacífico asiático seguirán las bandas de frecuencia asignadas por la UIT. En Japón el MPT (Ministry of Post and Telecommunications) designará el espectro WARC-92 IMT-2000 a la sistemas de tercera generación, de modo análogo a los europeos pero con una salvedad: las frecuencias de 1893.5-1919.6 MHz se usan actualmente en el servicio PHS. Japón podría reservar para el IMT-2000 en total  $2 \times 60$  MHz + 15 MHz = 135 MHz. Las bandas 1920-1980 MHz y 2110-2170 MHz serán asignadas y cada operador dispondrá de  $2 \times 20$  MHz para comenzar el servicio en el año de 2001. Por lo que serán los primeros en comenzar, posiblemente, en asignar espectro para el IMT-2000.

En Corea se reservan 170 MHz para la componente terrestre y 60 MHz para el servicio por satélite, en línea con lo expuesto en el UIT-R.

En China todavía se está estudiando la asignación de frecuencias y si bien no hay muchos detalles al respecto si se espera que se acepte en mayor parte las bandas definidas en el UIT-R. Hay ciertas reservas debido a que ciertas aplicaciones inalámbricas y móviles de carácter local.

Posteriormente, durante la WRC-2000 se añadieron 3 bandas a las IMT-2000 para resolver los problemas que había en algunas regiones:

- Banda 1 GHz (806- 960 MHz).
- Banda 1,7 GHz (1710-1885 MHz). Frecuencia en la que funciona actualmente la mayoría de los sistemas de segunda generación, para facilitar la evolución con el tiempo de estos sistemas a los de tercera generación;
- Banda 2,5 GHz (2500-2690 MHz). Estas frecuencias completan la banda de la gama 2 GHz ya identificada para IMT-2000

### 3.3.1.2.UMTS

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), seleccionado por la UIT como uno de los sistemas de la familia de IMT2000 para la definición de los sistemas móviles de tercera generación (3G), comenzó a especificarse principalmente en el grupo ETSI TC SMG. A finales de 1998, se decide la creación de un proyecto conjunto para la 3G

de teléfonos móviles denominado 3GPP cuyos miembros son ETSI (Europa), ARIB (Japón), TTC (Japón), TTC (Korea) y ANSI T1 (USA). Desde entonces, UMTS está siendo especificado principalmente en dicho proyecto internacional. UMTS se definirá en fases. La fase 1 corresponde a la denominada Release 1999 (R'99) que ya ha concluido y que será la que primeramente se desarrolle. La siguiente fase Release 2000 (R'00) está en fase de investigación aunque los primeros lanzamientos comerciales se esperan para finales de 2002. En el Capítulo 4 se explica cada una de estas versiones

En enero de 1998, el European Telecommunications Standards Institute (ETSI) adoptó la tecnología W-CDMA (Wideband CDMA) en modo FDD (Frecuency División Duplex) con provisión para TDD (Time Division Duplex) como la tecnología apropiada para UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA Es por esta razón que W-CDMA y UTRA se usan como términos permutables).

El primero en introducirse será FDD que está basada en un esquema de Secuencia Directa CDMA y soporta una velocidad de hasta 384 Kbit/s. El TDD está basado en la multiplexación en tiempo y en código, se ha diseñado y optimizado para ser usado en zonas con alta densidad de tráfico, y soporta una velocidad de hasta 2 Mbit/s.

La combinación de los dos modos (FDD y TDD) ofrece la oportunidad de obtener la mayor eficiencia del mismo sistema bajo cualquier condición (urbana, suburbana, interiores y exteriores)

UMTS, en la componente terrestre, tiene una estructura jerárquica, esto es, está compuesta por tres tipos de celdas: Macro Celda, Micro Celda y Pico Celda con un mínimo de 5 MHz de ancho de banda por Celda.

La Macro Celda tiene radios desde 1 km hasta 35 km y se destinan para ofrecer cobertura rural y en carreteras para vehículos u otros objetos que se mueven a alta velocidad (transmisión de datos de 114 kbit/s). La Micro Celda tiene radios desde 50 m hasta 1 km. Ofrecen servicio a usuarios fijos o que e muevan lentamente con elevada densidad de tráfico (urbana) con velocidades de 384 kbit/s. Las Pico Celdas tiene radios de hasta 50 m. Ofrecen coberturas localizadas en interiores, con velocidades del orden de los 2 Mbit/s.

Otro aspecto especialmente novedoso de UMTS, es la definición de una nueva arquitectura de servicios abierta (OSA, Open Service Architecture) y flexible que permita la creación de una gran variedad de aplicaciones para el usuario utilizando un conjunto de capacidades de servicio que son las entidades a estandarizar y un proceso de administración denominado Entorno Propio Virtual (VHE, Virtual Home Environment). El VHE proporciona al usuario la posibilidad de disponer de un entorno de servicios personalizado cualquiera que sea la red o terminal que esté usando, y cualquiera que sea su posición. La estandarización de un interfaz OSA entre las aplicaciones y los servidores de capacidades de servicio facilita la incorporación al sector de las telecomunicaciones móviles 3G de nuevos proveedores de servicios

UMTS también plantea importantes innovaciones con respecto a la arquitectura de red. UMTS R'99 ha definido una arquitectura que da cabida a redes de acceso GSM y la red de acceso UMTS (UTRAN), y propone una red central (CN, Core Network) diseñada como una evolución de la red GSM/GPRS para facilitar la migración de redes GSM/GPRS a UMTS. La CN incluirá un dominio con conmutación de circuitos (CS, Circuit Switched) y un dominio con conmutación de paquetes (PS, Packet Switched).

La arquitectura de red de UMTS R'00, actualmente en fase de especificación, define una arquitectura basada en una red de transporte basada totalmente en IP que soportará tráfico de datos y de voz. En un escenario donde muchos operadores están apostando por redes IP para su red fija, el tener la posibilidad de disponer de una red móvil también basada en IP nos aproxima hacia la anhelada convergencia de redes fijas y móviles que podrán compartir muchos de los recursos de la red. Inicialmente se desplegará la arquitectura R'99; pero en el futuro los operadores podrán seleccionar entre ambas arquitectura R'99 o R'00 dependiendo de su estrategia de evolución y despliegue de red.

### 3.3.1.3.CDMA-2000

El sistema CDMA2000 puede considerarse el sucesor del CDMAone [21]. En este caso, sin embargo, se ha procurado mantener un mayor grado de compatibilidad entre los dos sistemas, que no existe entre GSM y su evolución, de forma que ambos sistemas pueden llegar a compartir las mismas bandas de frecuencias y la evolución se más fácil desde el punto de vista del asignación espectral.

Esta compatibilidad es posible, en gran parte, gracias a que el sistema IS-95 emplea ya la técnica de acceso CDMA y por tanto, tiene muchos elementos en común con las técnicas CDMA de Tercera Generación. Sin embargo, la solución CDMA2000 esta fuertemente influida por el sistema IS-95, lo que explica que algunas de las soluciones adoptadas pudieran no ser las óptimas desde el punto de vista técnico. Entre estos aspectos quizá el más importante es el que se refiere a la necesidad de sincronización, ya que CDMA2000, como ya se ha mencionado en IS-95, precisa de un sistema de referencia basado, normalmente, en GPS (Global Position System). La necesidad de sincronización fue una de las dificultades señaladas por algunos operadores europeos, ya que esta puede dificultar la instalación de estaciones en interiores (donde no existe fácil acceso a receptores GPS).

La definición básica del CDMA2000 fue originalmente responsabilidad del subcomité TR45.5.4, dentro del comité de normalización TR45.5 aunque, las actividades que se llevan a cabo para su inclusión en la familia IMT-2000 se realizan en el grupo 3GPP2.

Del mismo modo que para las otras propuestas W-CDMA, el objetivo ha sido proporcionar unas velocidades de transmisión que cumplan los requisitos definidos para el IMT-2000: al menos 144 kbits/s en vehículos, 384 kbit/s para usuarios estáticos y 2048 kbit/s para entornos interiores de oficina. Los parámetros principales del CDMA2000 se muestran en la Tabla 3.9.

Canalización	1.25/ 5/ 10/ 15/ 20 MHz
Estructura de canales descendentes	Expansión directa o múltiples portadoras.
Tasa de chip	1.2288/ 3.6864/ 7.3728/ 11.0593/ 14.7456 Mchip/s para expansión directa; $n \times 1.2288$ Mchip/s ( $n = 1, 3, 6, 9, 12$ ) para múltiples portadoras.
Factor de caída progresiva	Igual que en IS-95
Duración de la trama	20 ms para datos y control, 5 ms para información de control en el canal dedicado de control y en el fundamental.
Modulación	QPSK balanceado (descendente) QPSK de canal dual (ascendente) Circuito de ensanchamiento complejo.
Modulación de datos.	QPSK (descendente) BPSK (ascendente)
Multiplexación de canales ascendentes	Multiplexación de códigos de los canales de control, piloto, fundamental y suplementario. Multiplexación I/Q de los canales de datos y control.
Velocidades de transmisión	Ensanchamiento variable y multicódigo.
Factores de ensanchamiento	4-256
Control de potencia	Bucle abierto y bucle cerrado rápido (800 Hz)
Ensanchamiento (descendente)	Códigos Walsh de longitud variable para la separación de canales, secuencia M de $2^{15}$ para aleatorización.
Ensanchamiento (ascendente)	Secuencias ortogonales de longitud variable para separación de canales, secuencia M de $2^{15}$ para aleatorización; secuencia M de $2^{41}-1$ para separación de usuarios (diferentes desplazamientos en el tiempo)

**Tabla 3.9** Características de CDMA2000.

Un aspecto muy importante de CDMA2000 es la existencia de dos versiones bastante diferentes. La primera (denominada también IS-95C) es notablemente similar a CdmaOne. Esta versión del CDMA2000 (Release 0) se publicó en el verano de 1999, la versión A se ha publicado a principios del año 2000 y la B estuvo lista a finales del mismo año. La versión 0 se concentra en los aspectos de la interfaz radio, especialmente para la versión de CDMA2000 denominada 1X, mientras que las versiones A y B analizan, en mayor detalle, las opciones de la versión denominada 3X.

## 4. Tecnología UMTS

### 4.1. Arquitectura UMTS

Una red UMTS se compone de los siguientes elementos [22]:

- Núcleo de Red o red central (core network)
- Red de acceso radio (UTRAN)
- Terminales móviles. Las especificaciones UMTS emplean el vocablo User Equipment (UE) a los nuevos terminales UMTS.

La Figura 4.1 ilustra dicha estructura. Cada uno de los elementos se explica en el apartado 4.1.1. Las interfaces Ix se explican en el apartado 4.2.2.

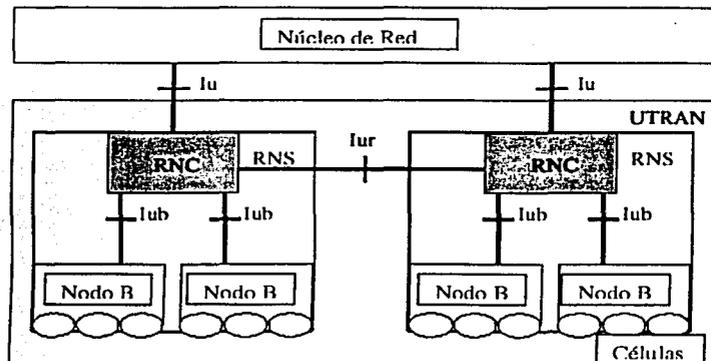


Figura 4.1 Arquitectura general de UMTS.

Además de esta división, el sistema UMTS se estructura también en dos grandes niveles, el ligado y el no-ligado al acceso. El primero comprende todos los protocolos que requieren de la intervención de la red de acceso radio. El segundo abarca a los que conciernen al Núcleo de Red y el terminal móvil, sin intervención de la red de acceso. La Figura 4.2 ilustra esta división.



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: el dominio de Equipo Móvil (ME, Mobile Equipment) y el dominio del Módulo de Identidad de Servicios de Usuario (USIM, User Services Identity Module). El ME puede subdividirse 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 y procedimientos que la 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 infraestructura se divide en: el dominio de Red de Acceso (AN, Access Network), y el dominio de Red Central (CN, Core Network). Ambos dominios están conectados a través del 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). La CN puede subdividirse en: el dominio de Red Servidora (SN, Serving Network), el dominio de Red Base (HN, Home Network), y el dominio de Red de Tránsito (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 del control 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 capas o grupos de protocolos relacionados con algún aspecto de los servicios proporcionados por uno o varios dominios. UMTS contiene los siguientes tipos de capas:

- Capa de Transporte que soporta el transporte de datos de usuario y señalización de control de red. Como parte de esta capa, se puede citar la Capa de Acceso que está encargado de administrar el interfaz radio UMTS proporcionando servicios portadores de acceso radio a otras capas, e incluye protocolos entre MT y AN, y entre AN y SN.
- Capa Servidor que 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.
- Capa Base que soporta la administración de datos de suscripciones, la tasación, la facturación, el control de movilidad y la autenticación. Esta capa incluye protocolos entre USIM y HN, entre USIM y MT, entre MT y SN, y entre SN y HN.
- Capa de Aplicación que incluye protocolos extremo a extremo y funciones que hacen uso de los servicios proporcionados por el resto de las capas, para soportar servicios y servicios de valor añadido para el usuario.

#### 4.1.1. Núcleo de Red (CN)

El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, que comprenden prestaciones como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también incluyen la administración de la movilidad. A través del Núcleo de Red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicación, de forma que resulta posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sin también con los que se encuentran conectados a otras redes.

El Núcleo de Red del sistema UMTS ha sido diseñado de manera que, en sus primeras fases, se basa en las tecnologías de Núcleo de Red actuales, lo que facilita la migración desde las redes de 2G. Esta es la llamada "arquitectura de red UMTS R'99 ó R'3" y puede observarse en la Figura 4.4.

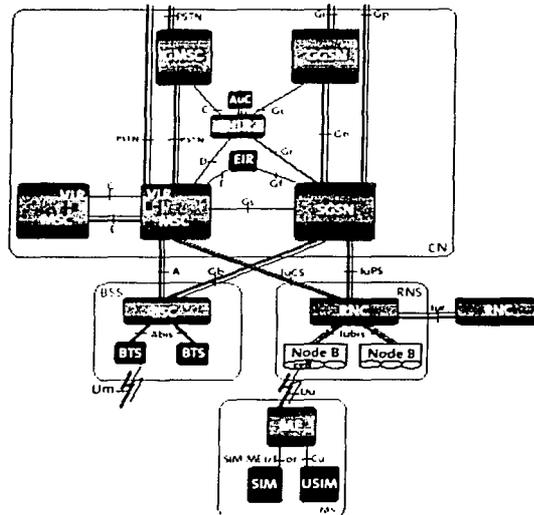


Figura 4.4 Arquitectura de red UMTS R'99 ó R'3

Dicha arquitectura incorpora la red de acceso GSM (formada por BSSs) y la red UTRAN (formada por RNSs). La CN incluye un dominio con conmutación de circuitos (CS) y un dominio con conmutación de paquetes (PS). Hay algunos componentes de red compartidos por ambos dominios.

En concreto, los elementos funcionales comunes a ambos dominios se pueden observar en la Tabla 4.1:

Elemento de la Red	Características
Estación Móvil (MS, Mobile Station)	Una MS es un UE y está compuesta por el equipo móvil (ME, Mobile Equipment) y la tarjeta de identificación de abonado UMTS (USIM).
Sistema de Red Radio (RNS, Radio Network System)	La Red de acceso UTRAN está compuesta de uno o varios RNSs que pueden estar interconectados entre sí a través del interfaz Iur. El RNS realiza la asignación y liberación de recursos radio para permitir la comunicación con MSs en una cierta área. Un RNS está compuesto de un RNC, y uno o varios nodos B.
Controlador de Red Radio (RNC, Radio Network Controller)	El RNC es la entidad controladora de un RNS y se encarga del control general de los recursos radio proporcionados por uno o varios nodos B. El RNC es responsable de las decisiones de handover que requieren señalización al MS. El RNC se conecta a la CN a través del interfaz Iu. Hay un interfaz Iu para las aplicaciones CS denominado Iu-CS y otro para las aplicaciones PS denominado Iu-PS.
Nodo B (Node B)	Es el componente responsable de la transmisión/recepción radio hacia/desde MSs en una o más celdas UMTS. Un nodo B puede soportar el modo FDD, el modo TDD, o una operación en modo dual. Los nodos B se conectan a los RNCs a través de los interfaces Iubis y a las MSs a través de los interfaces Iu.
HLR (Home Location Register)	Es una base de datos encargada de la administración de los clientes. Hay varios HLR en una red móvil, dependiendo del número de clientes y de cuántos pueda manejar cada uno. Contiene toda la información relacionada con cada cliente, que queda registrado mediante varios tipos de identificación: IMSI (International Mobile Station Identity) y MSISDN (Mobile Station International ISDN Number), que es el número telefónico del cliente en formato internacional, y adicionalmente, otros tipos, en caso de tener habilitados ciertos servicios como GPRS los LCS (LoCation Services). La base de datos contiene informaciones tales como las relativas a los servicios contratados, la restricción de servicios (por ejemplo, limitaciones en la itinerancia), los servicios suplementarios (información acerca del estado de la llamada en curso y del número llamado), la localización del cliente, etc.
VLR (Visitor Location Register)	El VLR se encarga de controlar la itinerancia (roaming) de las MSs en un área MSC. Cuando una MS entra en una nueva área de ubicación se comienza un procedimiento de registro. El MSC encargado de dicha área notifica este registro y transfiere al VLR la identidad del área de ubicación donde la MS está situada. El VLR puede estar encargado de una o varias áreas MSC.

AuC (Authentication Centre).	El AuC contiene una base de datos que mantiene los datos de cada abonado móvil para permitir la identificación internacional de abonados móviles (IMSI) para poder realizar la autenticación del abonado y para poder cifrar la comunicación por el camino radio entre la MS y la red. El AuC transmite los datos requeridos para la autenticación y cifrado a través del HLR hasta el VLR, MSC y SGSN que necesitan autenticar al abonado móvil.
EIR (Equipment Identity Register)	El EIR contiene una base de datos que mantiene los identificadores internacionales de equipos móviles (IMEI) para controlar el acceso a la red de los equipos móviles.
SMS-GMSC (Short Messages Services Gateway MSC)	Actúa como una interfaz entre el centro de servicios de mensajes cortos y la PLMN, para permitir que los mensajes cortos se entreguen a los terminales móviles desde el centro servicios. El operador puede decidir que todas o algunas de las MSC dispongan de esta función de central frontera
SMS Interworking MSC (Short Messages Services Interworking MSC)	Actúa como una interfaz entre las MSC y el centro de servicios de mensajes cortos, para permitir que los mensajes cortos se envíen desde los terminales móviles al centro de servicios.

**Tabla 4.1 Elementos de una red UMTS.**

Los elementos propios del dominio CS se observan en la Tabla 4.2:

Elemento de la Red	Características
U-MSC (Mobile-services Switching Centre).	El MSC es una central que realiza todas las funciones de señalización y conmutación requeridas para el manejo de servicios CS hacia y desde las MSs localizadas en una determinada área geográfica. La principal diferencia con una central de una red fija es que incorpora funciones para la gestión de la movilidad como los procedimientos para el registro de posición y para el handover. El MSC se conecta a la red de acceso GSM, formada por uno o varios BSSs, a través del interfaz A y a la UTRAN, formada por uno o varios RNSs, a través del interfaz lu-CS.
U-GMSC (Gateway MSC)	El MSC que realiza la función de encaminamiento hasta la ubicación de la MS se denomina GMSC.
IWF (InterWorking Function)	La IWF es una entidad funcional asociada con el MSC, y proporciona la funcionalidad necesaria para permitir el interfuncionamiento entre una PLMN y las redes fijas (e.g. ISDN, PSTN, PDN). Las funciones de la IWF dependen de los servicios y el tipo de red fija. La IWF se encarga de convertir los protocolos usados en la PLMN a los usados en la red fija utilizada.

**Tabla 4.2 Elementos propios del dominio CS.**

Por último, los elementos funcionales específicos del dominio PS se encuentran en la Tabla 4.3:

Elemento de la Red	Características
U-SGSN (UMTS Serving GPRS Support Node)	Es el nodo servidor de las comunicaciones en modo paquete. Almacena dos tipos de datos del terminal necesarios para manejar las llamadas de datos, originadas y terminada en el móvil: información del terminal (IMSI, identidades temporales y direcciones PDP) e información de localización. Esta última puede constar de la información de célula o del área de encaminamiento (Routing Area), dependiendo del modo de operación del terminal móvil. También incluye el número del VLR asociado – si está implementada la interfaz con él – y la dirección U-GGSN de cada nodo U-GGSN para los que existan contextos PDP activos (esto es, sesiones activas de transferencia de datos mediante PDP)
U-GGSN (UMTS Gateway GPRS Support Node):	El GGSN proporciona el interfuncionamiento con redes externas con conmutación de paquetes a las que se conecta a través del interfaz Gi, y está conectado con uno o varios SGSNs a través del interfaz Gn. La función de registro de posición en un GGSN almacena información de suscripciones y datos de encaminamiento (e.g. la dirección del SGSN donde el MS está registrado) para cada abonado que tenga al menos un contexto PDP activo. Dicha información es recibida desde el HLR (a través del interfaz Gc) y el SGSN (a través del interfaz Gn), y es necesaria para poder establecer un túnel de tráfico de datos en paquetes, destinado a una MS, con el SGSN donde el MS está registrado. El SGSN y el GGSN contienen funcionalidad de encaminamiento IP y pueden estar interconectados por routers IP. Cuando el SGSN y el GGSN están en diferentes PLMNs, ellos están interconectados a través del interface Gp que proporciona la funcionalidad del interfaz Gn y funcionalidad de seguridad requerida para la comunicación inter-PLMN.
BG (Border Gateway).	Es una pasarela entre una PLMN que soporta GPRS, y una red de conexión entre PLMNs, utilizada para interconectar con otras PLMN que también soportan GPRS. El papel de la BG es aportar el nivel de seguridad apropiado para proteger a la PLMN y a sus terminales.

Tabla 4.3 Elementos propios del dominio PS.

#### 4.1.2. Evolución del Núcleo de Red

La estrategia adoptada para la especificación de la primera fase del Núcleo de Red UMTS tiene la ventaja de que facilita al máximo la migración hacia redes 3G a partir de las 2G. Sin embargo, constituye a la vez un freno para el soporte de servicios más avanzados. Por

ello, ya desde los comienzos del sistema se planteó la necesidad de evolucionar hacia conceptos más modernos y versátiles.

Lo primero que puede decirse sobre la futura configuración del Núcleo de Red, es que parece haber un consenso general en que éste se basará en el modo paquete y, casi con toda seguridad en el protocolo TCP/IP. De hecho, el concepto no sólo se extendería al Núcleo de red, sino también a la red de acceso, incluida la interfaz radio, conformando lo que se conoce como opción "Todo IP". Ello supondría la desaparición del dominio en modo circuito para absorber todo el tráfico (voz incluida) en un único dominio en modo paquete.

En este momento, la arquitectura que se contempla es la correspondiente a la versión 4 (Release 4) y es llamada R'00 debido a que se presentó en el año 2000. Está recogida en la Figura 4.5

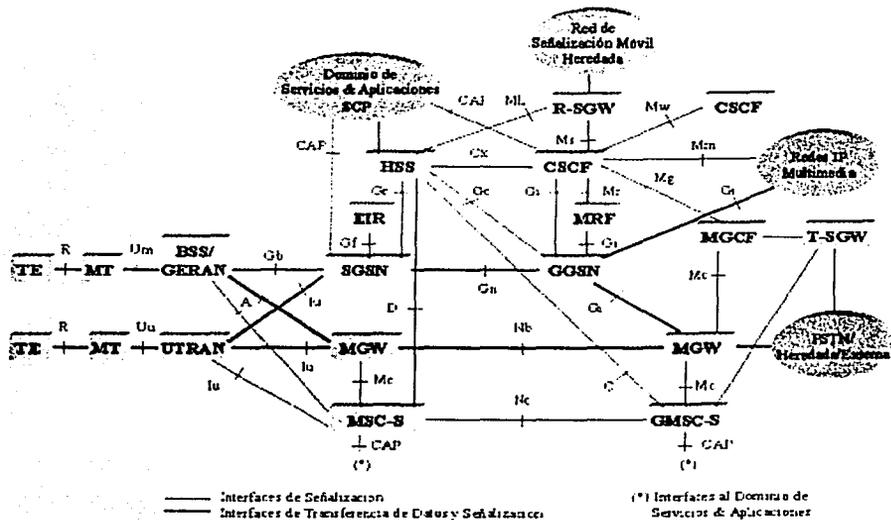


Figura 4.5 R'00 de UMTS. Versión 4, arquitectura IP

Dentro de esta arquitectura se distinguen las siguientes entidades funcionales.

- Función de control del estado de llamada CSCF (Call State Control Function): El CSCF controla el establecimiento y terminación de llamadas administrando eventos y estados de llamadas. Es una entidad que implementa las siguientes funciones: ICGW (Incoming Call Gateway), CCF (Call Control Function), SPD (serving profile Database) y AH (Address Handling)

- **Servidor de suscripción HSS (Home Subscriber Server)** El HSS contiene la información relativa a las suscripciones para dar soporte a las entidades que manejan llamadas o sesiones en temas como autenticación, autorización, resolución de direcciones, o dependencias de la ubicación. El HSS mantiene la siguiente información: identificación de usuarios, numeración y direccionamiento; información para la seguridad del usuario como datos para autenticación y autorización; información para la ubicación del usuario a nivel inter-sistema; y perfiles de usuario conteniendo información de servicios. Para redes que contienen un dominio CS, el HSS es una evolución del 3G-HLR. En redes híbridas, el HSS puede integrar información heterogénea, y proporcionar características mejoradas en la CN para ofrecerlas al dominio de servicios y aplicaciones, ocultando la heterogeneidad. El HSS termina los siguientes protocolos: protocolo MAP, protocolo de direccionamiento, protocolo de autenticación y protocolo de control de llamadas multimedia basadas en IP.
- **Función de pasarela de la señalización de transporte T-SGW (Transport Signalling Gateway Function).** El T-SGW es un punto de terminación de redes PSTN/PLMN. Las principales funciones realizadas son: relacionar la señalización relativa a llamadas desde/hacia redes PSTN/PLMN con un portador IP y enviarla hacia/desde el MGCF; y proporcionar la relación de direccionamiento a nivel transporte entre redes PSTN/PLMN e IP.
- **Función de pasarela de la señalización de itinerancia R-SGW (Roaming Signalling Gateway Function).** El R-SGW soporta la itinerancia hacia/desde dominios 2G/R'99 CS y GPRS hacia/desde dominios de teleservicios UMTS R'00 y dominios GPRS UMTS, sin involucrar dominios multimedia.
- **Función de pasarela de control del medio MGCF (Media Gateway Control Function)** El MGCF es un punto de terminación de redes PSTN/PLMN. Las principales funciones realizadas son: controlar las partes del estado de llamada relacionado con el control de conexiones para canales multimedia en un MGW; comunicarse con el CSCF; seleccionar el CSCF dependiendo del número de encaminamiento de la llamada entrante desde las redes heredadas; y realizar conversión de protocolos entre los protocolos de control de llamadas de redes heredadas y R'00.
- **Función de pasarela con el medio MGW (Media Gateway Function)** Esta función es un punto de terminación de transporte para redes terrestres móviles privadas o para redes telefónicas conmutadas. Proporciona la interfaz de la UNTRAN con el Núcleo de Red, a través de la interfaz Iu.
- **Función de recursos de multimedia MRF (Multimedia Resource Function).** El MRF realiza llamadas multi-parte y funciones de conferencia multimedia.

- **Servidor MSC (MSC Server)** El MSC-S se compone principalmente de las partes de control de llamadas y control de movilidad de un GSM/UMTS MSC. Es el responsable del control de las llamadas de dominio CS terminadas y originadas en/desde un móvil.
- **Servidor pasarela de MSC (Gateway MSC Server).** Contiene los controles de llamada y de la movilidad correspondientes a una GMSC. Un servidor pasarela de MSC y una MGW abarcan el conjunto de funciones que se define para una GMSC.

Todo este conjunto de unidades definen lo que se conoce como dominio IP multimedia (IM), destinado a soportar los servicios multimedia sobre protocolo IP en UMTS. Actualmente se está analizando la R'5 de UMTS. El principal elemento, previsto para la Release 5, será el soporte de la arquitectura IP de servicios multimedia. También se incluye la versión 4 de la plataforma CAMEL, las mejoras para las llamadas de emergencia, tanto para transporte IP como para circuitos, y el control sobre la QoS extremo a extremo.

#### 4.1.3. Numeración y direccionamiento

El sistema UMTS permitirá no sólo comunicaciones persona a persona, sino también máquina a máquina, por lo que será necesario soportar nuevos esquemas de direccionamiento [21]. Tradicionalmente los usuarios de sistemas de telecomunicaciones han utilizado direcciones E.164 como número de teléfono, numeraciones cortas en PABX, direcciones X.121 en redes de paquetes o direcciones X.400 para correo electrónico. Hasta ahora, todos estos mecanismos de direccionamiento son incompatibles entre sí. El sistema UMTS pretende ser universal, por lo que, además de soportar todos estos direccionamientos, aportará un mecanismo integrado donde las llamadas o sesiones puedan establecerse sin tener que utilizar todos estos mecanismos.

UMTS soportará métodos de direccionamiento independientes de la arquitectura de las tecnologías que los sustentan. Este direccionamiento avanzado permitirá utilizar etiquetas (labels) para identificar al usuario llamado, que serán traducidas a direcciones reales de forma transparente para el usuario. Para lograr esta capacidad de direccionamiento avanzado, UMTS utilizará procedimientos de resolución de direcciones que permitirán la traducción de estas etiquetas en sistemas de bases de datos donde estarán registradas las direcciones necesarias para el encaminamiento en la red. Las bases de datos serán accesibles vía diferentes protocolos TCP/UDP (IETF), INAP/CAP (ETSI), etc. Estas bases de datos permitirán a los usuarios establecer comunicaciones (llamadas de voz, multimedia, datagramas, etc.) sin conocer las direcciones físicas que serán utilizadas internamente por la arquitectura de encaminamiento de la red UMTS.

Utilizando este mecanismo de traducción de direcciones, también será posible iniciar una llamada de teléfono conociendo únicamente la dirección e-mail del destino o al revés. El sistema de base de datos de direcciones de la red origen encamina la consulta en función de los requisitos: a partir de la dirección e-mail, se obtiene por DNS (Domain Name Server) la dirección IP que a su vez, se utiliza para consultar la base de datos de direcciones IP, para obtener finalmente el número E.164.

Se asignará un IMSI (International Mobile Subscriber Identity) único por USIM. Para mantener la confidencialidad de la identidad del usuario los U-VLRs y U-SGSN podrán además asignar TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identities). Un mismo terminal móvil podrá tener asignados dos TMSIs, uno para el servicio proporcionado a través del U-MS-C y otro para el servicio proporcionado a través del U-SGSN (P-TMSI). El TMSI permite no enviar el IMSI en los accesos radio.

Para direccionar los recursos utilizados en U-GPRS, se utilizará el TLLI (Temporary Logical Link Identity). El TLLI permite asegurar la confidencialidad del cliente, siendo su relación con el IMSI sólo conocida en el terminal móvil y en el U-SGSN. El TLLI es generado por el terminal móvil, bien de forma aleatoria, bien utilizando el P-TMSI.

Además, para acelerar la búsqueda de los datos de usuario en el VLR se define una identidad LMSI (Local Mobile Station Identity). El LMSI es asignado por el U-VLR en el proceso de registro y se envía al HLR junto con el IMSI. El HLR no lo utiliza pero lo envía junto con el IMSI en todos los mensajes enviados al U-VLR relacionados con este terminal móvil. El IMSI se compone de 3 partes:

- MCC (Mobile Country Code): Código de país
- MNC (Mobile Network Code): Código de Red.
- MSIN (Mobile Subscriber Identification Number): Número identificativo de cliente móvil.

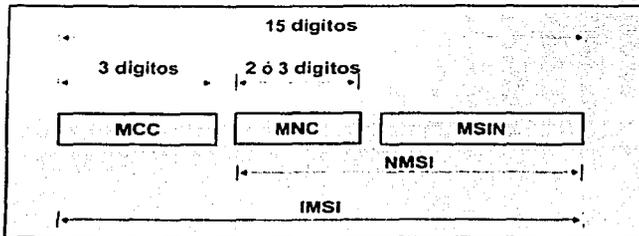


Figura 4.6 Estructura del IMSI.

#### 4.2. Acceso Radio

La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el Núcleo de Red. En el caso del UMTS, recibe el nombre de UTRAN, y se compone de una serie de sistemas de red radio o RNS (Radio Network System), constituidos, a su vez por un controlador radio RNC (Radio Network Controller) y una serie de Nodos B dependientes de él. El RNC es la entidad encargada de controlar a uno o más Nodos B bajo su cargo. Estos, a su vez, son los elementos de la red que se corresponden con las estaciones base. Un Nodo B debe depender de un solo RNC.

Los elementos funcionales definidos en la red de acceso radio se comunican entre sí por una serie de interfaces denominadas las interfaces de la UTRAN:

- Interfaz Núcleo de Red-RNC (Iu):
- Interfaz RNC-RNC (IuR)
- Interfaz RNC-Nodo B (IuB)
- Interfaz radio (Uu): UE a UTRAN:

#### 4.2.1. Interfaz radio (Uu)

En lo respectivo al Núcleo de Red puede decirse que UMTS ofrece un enfoque evolutivo, que hace posible la construcción de dichas redes sobre lo ya existente en la 2G. En el tramo radioeléctrico, se trata de lo contrario debido a que se recurre a un técnica de acceso múltiple, como es la DS-CDMA (Direct Sequence-Code División Multiple Access), diferente de la TDMA (Time División Múltiple Access) empleada en la mayoría de los sistemas de 2G.

##### 4.2.1.1. Técnica de acceso DS-CDMA

La fórmula de Shannon expresa la capacidad  $C$  (*bit/s*) de un canal de transmisión cuyo único efecto sobre la señal es la superposición de un ruido gaussiano blanco con densidad espectral de potencia  $N_0$ , en el que la señal tiene una potencia media  $P$  y una limitación de banda  $W$ :

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (4.1)$$

Esta capacidad representa, de acuerdo con el segundo teorema de Shannon, el máximo valor de tasa binaria a la que se puede transmitir con una probabilidad de error arbitrariamente baja. Según esta fórmula, puede aumentarse la capacidad aumentando la relación señal/ruido  $P/N_0 W$  o aumentando el ancho de banda utilizado. En este caso la capacidad aumenta asintóticamente hacia el valor  $P/N_0 \ln 2$  [23].

Los sistemas de espectro ensanchado SS (Spread Spectrum) son aquellos en los que el ancho de banda de las señales transmitidas es mucho mayor que el mínimo necesario para transportar la información. En este proceso de ensanchamiento interviene una secuencia denominada código, secuencia de ensanchamiento o firma (signature), que es independiente de la señal de información. Para recuperar esta última en el receptor es necesario conocer la secuencia código utilizada.

CDMA se basa en la utilización de técnicas de SS. Las técnicas de SS empleadas en las variantes de CDMA son:

- Técnicas de saltos de Frecuencia FH (Frequency Hopping), en las que la frecuencia de la portadora cambia con el tiempo según un patrón establecido.

- Técnicas de saltos de tiempo TH (Time Hopping), en las que se varía el intervalo de transmisión dentro de una estructura de trama temporal.
- Técnicas de secuencia directa DS (Direct Sequence), basadas en la multiplicación de la secuencia de bits original por una secuencia digital (chips) de velocidad mucho mayor.
- Técnicas multiportadora MC (Multicarrier), en las que a partir de cada símbolo se genera un conjunto de chips, cada uno de los cuales modula una subportadora de frecuencia diferente.

La modalidad empleada en UMTS es la de secuencia directa, y constituye la base de los métodos de acceso WCDMA.

En UMTS el proceso global de ensanchamiento se lleva a cabo en dos etapas, denominadas de canalización y de aleatorización. La secuencia denominada de canalización (channelisation) se utiliza para separar las transmisiones entre usuarios de una misma célula. Seguidamente, se efectúa una segunda multiplicación por una secuencia de aleatorización (scrambling), cuya misión es separar las transmisiones entre células.

Se utilizan distintas combinaciones de modulación y ensanchamiento. En el enlace ascendente se emplea la modalidad de ensanchamiento y modulación BPSK en la primera etapa. Su representación se puede observar en la Figura 4.7 en las que  $B[n]$  es la secuencia de bits, con velocidad  $1/T_B$  y  $G[p]$  la secuencia código con una velocidad  $1/T_C$ ,  $C$  veces mayor;  $S[p]$  es la secuencia ensanchada y  $s(t)$  la señal transmitida.  $\psi(t)$  es el pulso de chip, que determina la forma del espectro de la señal:

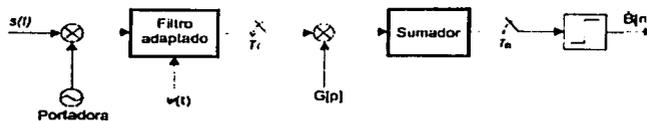


Figura 4.7 Receptor DS-SS BPSK

Para la segunda etapa del enlace ascendente se usa ensanchamiento y modulación QPSK con ensanchamiento en el campo complejo: La secuencia de información se transforma en dos subsecuencias  $D_I[n]$  y  $D_Q[n]$  que se tratan como componentes real e imaginaria de una secuencia compleja, y el ensanchamiento se lleva a cabo multiplicando  $D[n]$  por una secuencia código compleja. La Figura 4.8 muestra el transmisor correspondiente a este ensanchamiento.

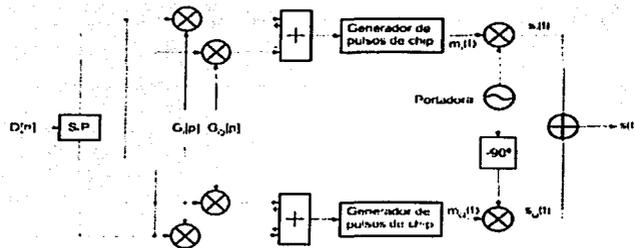


Figura 4.8 Sistema DS-SS con ensanchamiento QPSK, sólo transmisor.

En el enlace descendente se emplea para la primera etapa un sistema con ensanchamiento BPSK y modulación QPSK, y en la segunda etapa el sistema con ensanchamiento y modulación QPSK mencionado anteriormente.

Lo que se busca en CDMA es que los usuarios transmitan en la misma banda de frecuencias de forma continua en el tiempo, y la separación en señales de recepción se consiga gracias a las propiedades de rechazo de interferencias características de este tipo de señales. Para cumplir con esto, se emplean las secuencias correspondientes para obtener una señal de espectro ensanchado, llamadas "secuencias chip" o "códigos chip". En la Tabla 4.4 se pueden observar los tipos de códigos chips empleados en CDMA.

Clasificación de Códigos	Tipos de Códigos
Ortogonales (Sistemas síncronos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secuencias de Walsh</li> <li>• Códigos OVSF</li> </ul>
No Ortogonales (Sistemas síncronos y asíncronos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secuencias de Gold</li> <li>• Familia S(2)</li> <li>• Secuencias de Golay generalizadas.</li> </ul>

Tabla 4.4 Clasificación de códigos empleados en CDMA

Considérese un sistema con  $K$  usuarios que transmiten hacia una estación receptora de modo que todas las señales llegan sincronizadas. Sea  $j$  el usuario de referencia (aquél cuya señal se quiere demodular). Los restantes usuarios  $1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, K$ , se denominarán usuarios interferentes. Cada usuario  $k$ , transmite una señal de espectro ensanchado obtenida mediante modulación y ensanchamiento BPSK sobre una portadora de las secuencias de información  $D_k[n]$  y código  $G_k[p]$ . La señal paso bajo equivalente recibida del usuario  $k$  es:

$$\begin{aligned}
 r_k(t) &= A_k e^{i\omega_c t} m_k(t) = A_k e^{i\omega_c t} d_k(t) g_k(t) = \\
 &= A_k e^{i\omega_c t} \sum_{p=-\infty}^{+\infty} G_k[p] D_k[p/C] \psi(t - pT_c)
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

En esta ecuación,  $d_k(t)$  y  $g_k(t)$  son las señales de información y código para el usuario  $k$ ,  $D_k[n]$  y  $G_k[p]$  las correspondientes secuencias, con valores  $\pm 1$ , y  $\varphi(t)$  el pulso de chip, con duración limitada  $T_C$ .  $A_k e^{j\varphi_k}$  representa la amplitud compleja de la señal recibida y  $C$  es el factor de ensanchamiento.

La señal total recibida es la superposición de la señal deseada  $r_j(t)$ , las señales interferentes  $r_k(t)$ ,  $k \neq j$ , y el ruido térmico  $z(t)$  que se modela como un proceso estocástico gaussiano blanco con densidad espectral de potencia  $N_0$ :

$$r(t) = r_j(t) + \sum_{k \neq j} r_k(t) + z(t) \quad (4.3)$$

La variable de decisión en el periodo  $n$ , para el usuario  $j$  es:

$$U_j[n] = \frac{1}{T_B} \operatorname{Re} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} r(t) g_j(t) dt = A_j D_j[n] + I_j[n] + Z_j[n] \quad (4.4)$$

Como se puede observar, la variable de decisión consta de dos sumandos:

$A_j D_j[n]$ : es el término útil que es igual a la amplitud de una señal recibida o bien a la amplitud cambiada de signo, en función de cuál sea el símbolo transmitido  $D_j[n]$ .

$Z_j[n]$ : es una componente no deseada debida al ruido térmico, es una variable aleatoria gaussiana de media nula y varianza  $N_0 T_B$ .

$I_j[n]$ : Interferencia por acceso múltiple y consta de una suma de  $K-1$  términos.

Si se utiliza una familia de secuencias código ortogonales, es decir que verifiquen la condición de ortogonalidad:

$$\int_{nT_s}^{(n+1)T_s} g_j(t) g_k(t) dt = 0 \quad (4.5)$$

todos los términos se anularán excepto los correspondientes a la señal útil, y al ruido térmico, de modo que:

$$U_j[n] = A_j D_j[n] + Z_j[n] \quad (4.6)$$

En el caso de utilizar códigos no ortogonales, se tiene un sistema limitado por interferencia: Existe un número ilimitado de canales no ortogonales, la degradación del sistema se produce por que al no ser ortogonales estos canales interfieren unos con otros. Para mejorar esto y que la probabilidad de error sea pequeña existen dos criterios generales de diseño para estos sistemas:

- Utilizar códigos cuasiortogonales de forma que los términos de interferencia tomen valores reducidos para cualquiera retardos y bits.

- Elegir las secuencias código como secuencias pseudoaleatorias. En este caso no se tiene control sobre los valores de los términos de interferencia y sólo pueden caracterizarse estadísticamente.

Además, esto se mejora con el empleo de codificación de canal, con la cual es posible aumentar en gran cantidad el número de usuarios.

En UMTS los tipos de códigos empleados se observan en la Tabla 4.5

	Códigos de sincronización	Códigos de canalización	Códigos de aleatorización, UL	Códigos de aleatorización, DL
<b>Tipo</b>	Códigos Gold, Secuencias de Golay.	Códigos OVFSF (Orthogonal Variable Spreading Factor)	Códigos Gold de secuencia compleja (largos) o Códigos S(2)	Códigos Gold de secuencia compleja (largos)
<b>Longitud</b>	256 chips	4-512 chips	38400 chips	38400 chips / 256 chips
<b>Duración</b>	66.67 $\mu$ s	1.04 $\mu$ s - 133.34 $\mu$ s	10 ms	10 ms / 66.67 $\mu$ s
<b>Número de códigos</b>	1 código primario / 16 códigos secundarios	= factor de ensanchamiento 4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL	16,777,216	512 primarios / 15 secundarios para cada código primario
<b>Ensanchamiento</b>	No cambia el ancho de banda	Sí incrementa el ancho de banda	No cambia el ancho de banda	No cambia el ancho de banda
<b>Uso</b>	Permite a los terminales localizar y sincronizar los canales de control principales de la célula.	UL: para separar los datos físicos y los datos de control del mismo terminal DL: para separar las conexiones en los distintos terminales en una misma célula	Separación de terminales	Separación de sectores

Tabla 4.5 Códigos empleados en UMTS.

El empleo de DS-CDMA abre la posibilidad de utilizar técnicas de codificación de canal más potentes que en sistemas tradicionales. La codificación del canal consiste en 'mapear' (añadir redundancia) la secuencia de datos entrante en una secuencia de entrada al canal y

realizar el 'mapeo' inverso a la salida del canal en una secuencia de datos tal que los efectos del ruido estén minimizados. Esto se puede observar en la Figura 4.9.

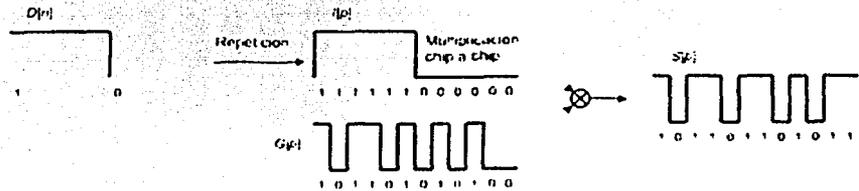


Figura 4.9 Sistema CDMA con codificación de canal.

Los códigos empleados en UMTS para codificación de canal son códigos convolucionales de tasa  $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{3}$ , o turbocódigos, además de un código bloque de redundancia cíclica (CRC) para detección de errores. El CRC consiste en considerar los bits de entrada como los coeficientes de un polinomio. Se utiliza el llamado "polinomio generador" compartido por el emisor y el receptor. La idea es construir con el polinomio de entrada un segundo polinomio que sea divisible por el polinomio generador. El mensaje que se transmite es el polinomio calculado. El polinomio recibido si no ha sufrido errores seguirá siendo divisible por el polinomio generador. Si no es divisible, es que se han producido errores.

Los códigos convolucionales son adecuados para usar sobre canales con mucho ruido (alta probabilidad de error). Los códigos convolucionales son códigos lineales, donde la suma de dos palabras de código cualesquiera también es una palabra de código. Y al contrario que con los códigos lineales, se prefieren los códigos no sistemáticos. El sistema tiene memoria: la codificación actual depende de los datos que se envían ahora y que se enviaron en el pasado.

El codificador de un código convolucional binario de razón  $1/n$ , se puede ver como una máquina de estados finitos que consiste en un registro de desplazamiento de  $M$  etapas con conexiones de sumadores, y un multiplexor que convierte en serie la salida de los sumadores. Una secuencia de mensaje de  $L$  bits produce una secuencia de salida codificada de longitud  $n(L + M)$  bits. La razón del codificador ("rate") viene dada por

$$r = \frac{L}{n(L + M)} \quad \text{bits / simbolo} \quad (4.7)$$

Normalmente, se tiene que  $L \gg M$ . Por lo tanto, la velocidad se simplifica como

$$r \approx \frac{1}{n} \quad (4.8)$$

La Figura 4.10 muestra un codificador convolucional con  $n = 2$ . Por tanto, la razón del codificador es  $1/2$ .

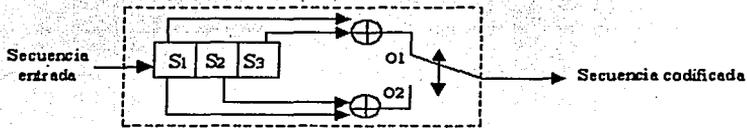


Figura 4.10 Ejemplo de un codificador convolucional de razón  $1/2$ .

En este ejemplo la palabra codificada se obtiene como resultado de sumas módulo-2 entre los bits indicados que están almacenados en los registros intermedios. Las secuencias de salida para el código anteriormente descrito están en la Tabla 4.6.

Entrada (S3,S2,S1)	Salida (O1,O2)
000	00
001	11
010	01
011	10
100	10
101	01
110	11
111	00

Tabla 4.6 Secuencias de salida para un código de razón  $1/2$ .

Los turbocódigos son una familia de códigos concatenados o unidos en paralelo. La creación de los mismos parte de un conjunto concreto de códigos básicos denominados códigos constituyentes, formándose una palabra código de salida a partir de los bits de redundancia de cada uno de los códigos constituyentes. Un ejemplo de lo que significa la concatenación en paralelo puede ser el de imaginar que se está transmitiendo la misma información en dos lenguas distintas simultáneamente. La transmisión de un mismo mensaje con distintas codificaciones de forma simultánea puede facilitar el proceso de detección y corrección de errores en el receptor de manera decisiva. Los códigos constituyentes de los "turbo códigos" son códigos convolucionales [24].

#### 4.2.1.2. Estructura general del protocolo de la interfaz radio

La interfaz radio UMTS se estructura sobre la base de dos componentes: FDD y TDD [25]. Las dos componentes comparten la estructura del protocolo radio, que se establece conforme al modelo de capas OSI. La Figura 4.11 recoge esta estructura.

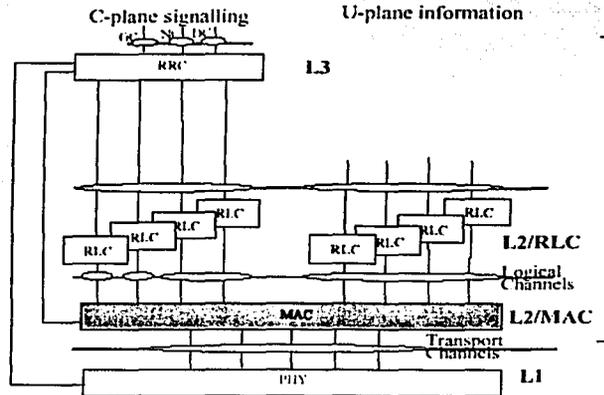


Figura 4.11 Estructura general del protocolo de la interfaz radio.

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 2 planos, denominados respectivamente de control (C) y de usuario (U). El plano C contiene los aspectos ligados a la señalización de sistema, mientras que el U abarca los relativos al traspase de información de tráfico entre usuarios.

En UMTS, las funciones asignadas a cada una de las capas se recogen en la Tabla 4.7

Capa	Funciones
1) Física	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ejecución del Soft Handover y distribución o combinación de las señales involucradas en los procesos de macrodiversidad.</li> <li>-Detección de errores en los canales de transporte e indicación de los mismos a capas superiores.</li> <li>-Codificación o decodificación con procedimientos de corrección de errores en los canales de transporte.</li> <li>-Multiplexación de los canales de transporte y demultiplexación de los canales compuestos codificados de transporte.</li> <li>-Adaptación de velocidades</li> <li>-Ajuste de potencia y combinación de canales físicos.</li> <li>-Modulación y ensanchamiento del espectro o demodulación y recuperación de la señal en banda base.</li> <li>-Sincronización en frecuencia y tiempo de las señales</li> <li>-Medición de las características de la señal radio.</li> <li>-Procesado de RF de la señal.</li> </ul>

2) Enlace	subcapas	
	MAC (Medium Access Control)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Asignación de la correspondencia entre los diferentes canales lógicos y los canales de transporte asociados.</li> <li>-Multiplexación/demultiplexación de las unidades de paquetes provenientes o dirigidas a la subcapa superior o desde bloques tratados por la capa física.</li> <li>-Conmutación dinámica en la asignación del tipo de canal de transporte (común o dedicado)</li> <li>-Administración de las prioridades de los servicios hacia un terminal móvil.</li> <li>-Cifrado de la información.</li> <li>-Supervisión de volumen de tráfico.</li> <li>-Administración de los parámetros del canal de acceso aleatorio.</li> </ul>
	RLC (Radio Link Control)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Transferencia de información entre la subcapa RRC y la subcapa MAC.</li> <li>-Tratamiento de la información recibida de capas superiores</li> <li>-Corrección de errores por retransmisión.</li> <li>-Reconstrucción del orden de emisión de paquetes de información enviados desde capas superiores.</li> <li>-Detección de la información duplicada.</li> <li>-Verificación del número de secuencia de las unidades de información RLC transferidas en una conexión.</li> <li>-Cifrado</li> <li>-Control de flujo de la información.</li> </ul>
	BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol)	-Regula la transmisión de la información relativa a los servicios de difusión general o multidifusión sobre la interfaz radio.
	PDCCP (Packet Data Convergence Protocol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Comprimir los paquetes provenientes de la capa superior.</li> <li>-Aislar al resto de los protocolos de la UTRAN de la necesidad de cambios por causa de la introducción de protocolos de red en modo paquete.</li> </ul>
3) Red (RRC)	Subcapas	
	MM (Mobility Management)	-Protocolo de la administración de la movilidad.
	CC (Call Control)	-Protocolo del control de las llamadas.

	<b>RRM (Radio Resource Management)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maneja los elementos de la red de acceso (RNC, Nodo B)</li> <li>- Establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones RRC entre terminales móviles y la red de acceso radio.</li> <li>- Establecimiento, reconfiguración y liberación de portadores de acceso radio.</li> <li>- Asignación, reconfiguración y liberación de recursos radio (por ejemplo, códigos o canales) ligados a una conexión RRC.</li> <li>- Funciones relacionadas con la movilidad de las conexiones (trasposos, reselección de la célula, actualización de información sobre las áreas de aviso, etc.)</li> <li>- Aviso o notificación.</li> <li>- Control del grado de calidad de servicio requerido.</li> <li>- Control de potencia.</li> <li>- Control del cifrado.</li> <li>- Selección inicial de la célula y reselección en modo reposo.</li> <li>- Asignación lenta de canales (en TDD): asignación de intervalos de tiempo que en TDD pueden definir canales diferentes, de manera que eviten situaciones de interferencia entre células adyacentes.</li> <li>- Asignación rápida de recursos de radio a los canales dedicados de subida.</li> <li>- Control de la configuración inicial de la subcapa BMC.</li> <li>- Configuración de las capas 1 y 2 de los terminales móviles, para la recepción del servicio de radiodifusión celular.</li> <li>- Control de admisión.</li> <li>- Cronoejecución de los paquetes.</li> <li>- Control de congestión.</li> </ul>
--	--	---

**Tabla 4.7** Capas del protocolo de la interfaz radio de UMTS

#### 4.2.1.3. Canales de la interfaz radio UMTS

En UMTS existen 3 tipos de canales: canales lógicos, canales de transporte y canales físicos.

- Canales lógicos: se definen por el tipo de datos que se transmiten por ellos. Pueden ser:
  - Canales de control y
  - Canales de tráfico.
- Canales de transporte: se definen por cómo y con qué características se transmite la información, por ejemplo, el tipo de control de potencia o la variabilidad o no de la tasa binaria. Se dividen en:
  - Canales comunes y
  - Canales dedicados.

A su vez, los canales físicos se corresponden con el formato concreto con que éstos se transmiten en el medio radio. Existe una correspondencia entre los canales lógicos, los de

transporte y los canales físicos, la cuál se verá más adelante dependiendo de las dos componentes de la interfaz, FDD y TDD.

Los canales de transporte y los canales físicos dependen del medio radioeléctrico especificado, FDD o TDD. En el caso de los canales lógicos, se tienen los mismos independientemente del modo FDD o TDD para UMTS, existiendo únicamente otro canal lógico para TDD. Dichos canales lógicos se encuentran en la Tabla 4.8

Canal Lógico	Dirección del enlace	Tipo	Propósito
BCCH (Broadcast Control Channel)	Descendente	Control	Difusión de información del sistema.
PCCH (Paging Control Channel)	Descendente	Control	Envío de aviso a los terminales móviles cuando no se conoce su ubicación.
CCCH (Common Control Channel)	Bidireccional	Control	Transferencia de información de control a terminales móviles sin conexión o que acceden por primera vez a una célula.
DCCH (Dedicated Control Channel)	Bidireccional	Control	Transferencia de información de control asociada con un terminal móvil específico.
SHCCH (Shared Channel Control Channel)	Bidireccional	Control	Transferencia de información de control en modo TDD entre la red y los terminales móviles, con carácter compartido.
DTCH (Dedicated Traffic Channel)	Bidireccional	Tráfico	Transferencia de tráfico asociada a un terminal móvil específico.
CTCH (Common Traffic Channel)	Bidireccional	Tráfico	Transferencia de tráfico punto-multipunto a todos o a varios terminales móviles.

**Tabla 4.8** Canales lógicos de la interfaz UMTS.

Con relación a los canales de transporte, es preciso hacer notar que, al ser el UMTS un sistema muy flexible, que permite abrir, mantener y cerrar diferentes conexiones simultáneas con un mismo terminal móvil, dichas conexiones pueden establecerse mediante canales de transporte independientes unos de otros o multiplexarse en un solo canal de transporte. En este último caso, este tipo de canal recibe la denominación de canal compuesto de transporte CCTrCH (Coded Composite Transport Channel).

#### 4.2.1.4. Bandas de funcionamiento y ancho de banda de RF

En el caso de Europa, en el denominado "acuerdo de París" estableció que UMTS se estructura en dos componentes, FDD y TDD, con el siguiente reparto en el uso de las bandas IMT-2000:

- La componente FDD se utiliza en las porciones emparejadas de la banda IMT-2000 (en las que se utiliza una mitad para un sentido del enlace y la otra para el opuesto). Esto es, 1920-1980 MHz para el enlace ascendente, y 2110-2170 MHz para el enlace descendente.
- La componente TDD se utiliza en las porciones no emparejadas de la banda (aquéllas no repartidas en partes iguales entre los dos sentidos del enlace). Concretamente, de 2010 a 2025 MHz y de 1900 a 1920 MHz.

Para la componente satelital tenemos las bandas 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz, lo que nos da 60 MHz en total.

Esta distribución supone la disponibilidad de 60+60 MHz para la componente FDD (60 MHz para un sentido del enlace y otros 60 MHz para el contrario), y de 15+20 MHz para la TDD. Teniendo en cuenta que la anchura de banda de los canales RF en cualquiera de las dos componentes es de 5 MHz, esto se traduce en 12 portadoras FDD y 7 TDD.

En Europa está previsto que parte de la banda TDD se destine a lo que se conoce como aplicaciones no coordinadas. Esta denominación alude a la explotación sin licencia de redes TDD, por lo tanto sin condiciones de exclusividad, y expuestas a la potencial interferencia de otros usuarios de este tipo de redes. Se espera que la CEPT (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones), alcance algún acuerdo sobre qué fragmento de la banda TDD se destinará a este tipo de aplicaciones. A estas bandas se han añadido otras, establecidas en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2000 (WRC 2000). Dichas bandas se identifican sobre la base del reconocimiento de que, en muchos países, se utilizan actualmente para el soporte de redes en servicio. Por ello, la UIT deja a criterio de las administraciones la decisión sobre el momento y la forma de destinar dichas bandas a la Tercera Generación. Son las que figuran en la Tabla 4.9.

Región 1	Región 2	Región 3
862-890 MHz	806-890 MHz	806-890 MHz.
890-942 MHz	890-902 MHz	890-942 MHz
942-960 MHz	928-942 MHz	942-960 MHz
	942-960 MHz	
	1710-1885 MHz	
	2500-2690 MHz	

**Tabla 4.9** Bandas IMT-2000 adicionales identificadas en la WRC 2000

#### 4.2.1.5. Modo FDD

Las dos componentes, FDD y TDD, de la interfaz radio UMTS tienen un rasgo en común: la forma en que se organizan sus transmisiones. Tanto en una como en la otra, éstas se estructuran en tramas de 10 ms de duración, compuestas por 15 intervalos (timeslots) de transmisión. A su vez, las tramas se agrupan en supertramas de 72 tramas (o lo que es lo mismo, de 720 ms de duración). Un intervalo de transmisión contiene 2560 chips, lo que se

traduce en una tasa de chip de 3,84 Mchip/s. Aunque la organización es la misma, no ocurre lo mismo con el significado de ésta, que es muy diferente en cada caso.

El modo FDD recibe también la denominación de WCDMA. Su filosofía general responde a la de un sistema DS-CDMA, donde cada transmisión se sustenta sobre una o más secuencias, que las separan de las demás. En este modo, cada transmisión se identifica por la portadora en la que tiene lugar y por la secuencia multiplicadora. Esta secuencia sería en realidad el producto de la secuencia de canalización por la de aleatorización. En el caso del enlace ascendente hay que añadir la fase de modulación.

En FDD, para una misma portadora, los canales se separan mediante sus secuencias (y a veces por la fase de modulación). Como sistema DS-CDMA que es, en UMTS-FDD los canales físicos pueden transmitirse sobre una misma portadora simultáneamente, de forma que, en el enlace descendente, cada uno de ellos toma una fracción de la potencia total de ésta. En el ascendente, cada uno es transmitido desde el terminal móvil correspondiente, de manera que el control de potencia intenta que lleguen al Nodo B con un nivel adecuado. Dependiendo del tipo de canal, la secuencia correspondiente puede asignarse con carácter dedicado (para uso exclusivo de ese canal durante toda la duración de la conexión) o compartido, de forma que puede ocurrir que en ciertos momentos se utilice para una conexión y el resto para otras. Una asignación con carácter exclusivo no quiere decir que se transmita señal útil continuamente, ya que la transmisión se verá interrumpida cuando no exista tráfico que enviar (en el caso de la voz, cuando los detectores de actividad vocal establezcan que no hay señal de voz a transmitir, y en el de datos, cuando no haya paquetes para enviar).

En la Figura 4.12 se muestra la representación conceptual técnica del modo FDD.

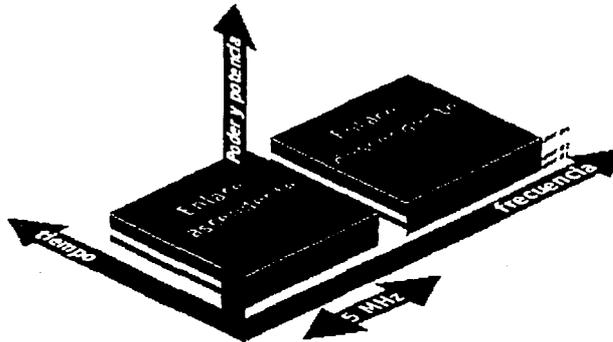


Figura 4.12 Concepto de FDD.

La modulación en FDD es del tipo QPSK existiendo unas pequeñas diferencias entre el enlace ascendente y el descendente..

La modulación QPSK se combina con una multiplicación por una secuencia de canalización y una de aleatorización, que es lo que caracteriza a los sistemas DS-CDMA. En el enlace ascendente, se produce una variación. Ahora, en lugar de aplicar a cada camino una parte de una misma señal, se introduce en cada uno de ellos una señal diferente, de manera que se transmiten simultáneamente las dos, cada una de ellas sobre una fase diferente (I o Q). Este esquema de modulación se conoce como QPSK dual.

Por otro lado, tal y como se explicó anteriormente, UMTS consta de canales lógicos, de transporte y físicos. Los canales lógicos son comunes para los dos modos. Los canales de transporte en FDD pueden ser dedicados y comunes. A su vez, pueden existir sólo en un sentido del enlace (unidireccionales) o en ambos (bidireccionales). La Tabla 4.9 recoge la descripción de cada uno de los canales de transporte.

Canal	Categoría	Utilización
BCH ( <i>Broadcast Channel</i> )	Compartido unidireccional descendente	Difusión de la información de sistema y de cada célula
FACH ( <i>Forward Access Channel</i> )	Compartido unidireccional descendente	Envío de información de tráfico o señalización a terminales móviles cuya situación es conocida por la red
PCCH ( <i>Packet Channel</i> )	Compartido unidireccional descendente	Envío de información hacia terminales móviles cuya situación es desconocida para la red
DSCH ( <i>Downlink Shared Channel</i> )	Compartido unidireccional descendente	Canal de asignación compartido por varios móviles
RACH ( <i>Random Access Channel</i> )	Compartido unidireccional ascendente	Canal de acceso aleatorio de los terminales móviles
CPCH ( <i>Common Packet channel</i> )	Compartido unidireccional ascendente	Canal para la transmisión de paquetes sin asignación exclusiva
DCH ( <i>Dedicated Channel</i> )	Dedicado y bidireccional	Canal para el envío de datos o señalización hacia un terminal móvil en concreto al que se encuentra asignado

**Tabla 4.9** *Uso y categoría de los canales de transporte en FDD.*

Cada uno de los canales de transporte se corresponde con un canal físico. Sin embargo, no todos los canales físicos vienen de otro de transporte, debido a que en éstos su funcionamiento no involucra a las capas superiores. En la Figura 4.13 se observa la correspondencia entre los tres tipos de canales para FDD.

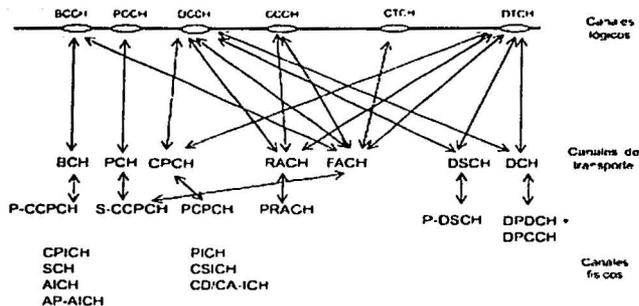


Figura 4.13 Correspondencia entre canales lógicos, de transporte y físicos en FDD.

Por último, un dato interesante sobre la capacidad de la componente FDD es el número de códigos disponibles. En el enlace descendente, se utilizan 8192 códigos de aleatorización divididos en 512 grupos de 16 códigos. Cada célula dispone de uno de estos grupos. Por tanto, los códigos definen un patrón de reutilización de 512 células. La separación de transmisiones dentro de una misma célula se realiza mediante secuencias OVSF. En el ascendente, tanto las transmisiones dentro de una misma célula como entre células, se desacoplan mediante secuencias pseudoaleatorias, asignadas de forma descentralizada, según unas reglas predefinidas. El número de códigos disponibles es de 16,777,216; por lo que la probabilidad de coincidencia en una misma secuencia para dos transmisiones solapadas en cobertura es muy pequeña.

#### 4.2.1.6. Modo TDD

Las transmisiones de los enlaces ascendentes y descendentes se transportan sobre las mismas portadoras usando intervalos de tiempo sincronizados. Las ranuras de tiempo están divididas en partes emisoras y receptoras. La información se transmite alternativamente sobre el enlace ascendente y el enlace descendente. Además, los usuarios que comparten las mismas ranuras de tiempo y portadora están multiplexados en modo CDMA. Las Figuras 4.14 y 4.15 son representaciones conceptuales de las técnicas TDD, respectivamente. El TDD incluye dos modos:

- TDD a 3,84 Mcps: (también llamado TDD de alta tasa de chip).
- TDD a 1,28 Mcps (también llamado TDD de baja tasa de chip, y también TD-SCDMA).

Las diferencias entre los TDDs de alta y baja tasa de chip no están limitadas a la frecuencia del chip. Las estructuras de las tramas son también diferentes, lo que afecta a los rendimientos del sistema de varias maneras. Está generalmente aceptado que el modo TDD a 3,84 Mcps es el más adecuado para la cobertura de las pico y micro-celdas en áreas

densamente pobladas, mientras que el modo FDD es el más adecuado para un área de cobertura más extensa. El TDD hace un mejor uso de los recursos de radio que el FDD para tráfico asimétrico y tasa alta de datos. El modo TDD a 1,28 Mcps (ver Figura 4.15) hereda algunas características del TDD a 3.84 Mcps. Además, se considera que tiene algunas ventajas comparado con el FDD y el modo TDD de tasa de chip alta:

- Capacidad más alta que el FDD y el TDD de tasa de chip alta.
- Adecuado para la cobertura de pico a macro-celdas (los rangos máximos de cobertura son comparables a los del FDD).
- Mejora de la flexibilidad de planificación de frecuencia. Este es un aspecto muy importante desde el punto de vista de los operadores, ya que a cada operador se le ha asignado únicamente una banda de 5 MHz en el espectro no apareado.
- Soporte de la movilidad a alta velocidad (hasta 250 Km/h).
- Costes del equipo más bajos, principalmente para el Nodo B.

La definición de la forma de onda del TDD a 1,28 Mcps facilita el uso de antenas inteligentes y la detección multiusuario, siendo estas las principales razones detrás de las ventajas expuestas más arriba. Las antenas inteligentes reducen las interferencias del sistema, dando lugar a una capacidad más alta y a un incremento de la sensibilidad, lo que a su vez conduce a un área de cobertura más amplia.

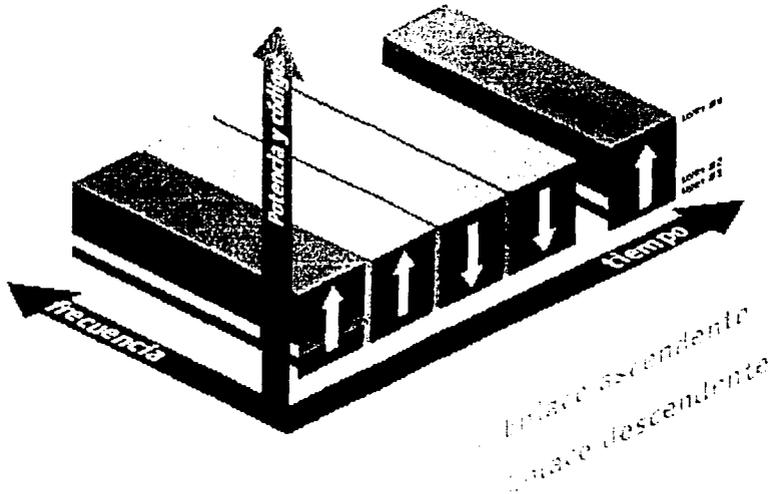


Figura 4.14 El concepto de TDD a 3.84 Mcps

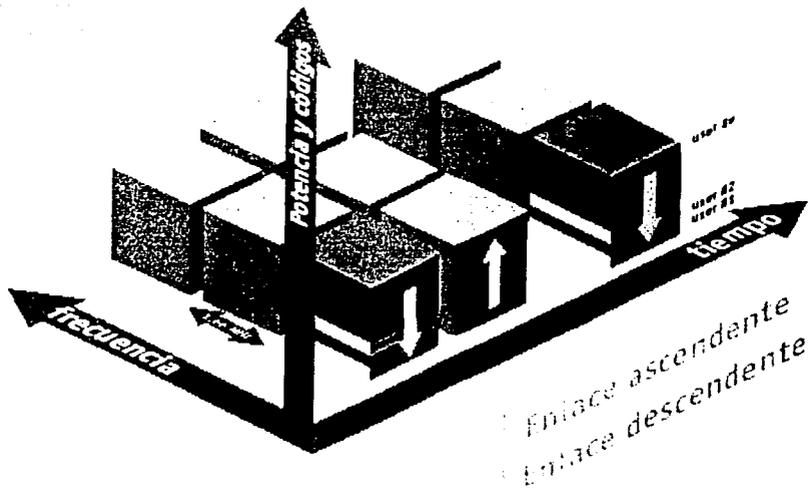


Figura 4.15 El concepto de TDD a 1.28 Mcps

La modulación empleada en TDD es QPSK en ambos sentidos. Sin embargo, no existe, como en FDD, una banda de frecuencias par el enlace ascendente y otra para el descendente. Ambos sentidos se soportan en una misma frecuencia portadora. El reparto entre ellos se realiza asignando cada uno de los 15 intervalos de cada trama a uno u otro sentido. La única restricción a esta regla es la de reservar al menos un intervalo para cada sentido. Dicha asignación puede cambiar de trama a trama, lo que confiere a este modo una gran flexibilidad en el manejo del tráfico asimétrico, tanto por el grado de asimetría que puede adoptar como por la rapidez con que puede variar en el tiempo. De ahí que el modo TDD resulte idóneo para el soporte de servicios con perfiles de tráfico de este tipo, como la navegación por Internet.

Los códigos de canalización y de aleatorización son secuencias ortogonales. En concreto los de aleatorización son 128 en total, de forma que cada célula dispone de 4. Eso quiere decir que el patrón de reutilización es de 32 células. El hecho de que los intervalos de tiempo sirvan de frontera entre canales impone la obligación de que TDD sea síncrono, de manera que existe un reloj común a los Nodos B de todas las estaciones de una red.

Con respecto a los canales del modo TDD, gran parte de los canales son comunes a los del modo FDD. Tan sólo cabe destacar la aparición de un canal lógico, el SHCCH (Shared

Channel Control Channel), que mantiene una relación de correspondencia con otro canal de transporte exclusivo de TDD, el USCH (Uplink Shared Channel), que a su vez se soporta por medio del canal físico PUSCH (Physical Uplink Shared Channel). La misión de todos estos canales es la de soportar la transmisión en el enlace ascendente mediante la compartición de recursos entre diferentes transmisiones, tal y como se hace en FDD con el canal compartido descendente. La razón de que este canal compartido exista en este modo y no en el FDD se debe a la necesidad de sincronizar las transmisiones ascendentes, cosa que en FDD no es posible, al ser éste un sistema asíncrono.

En TDD los canales tienen un formato completamente distinto a los del modo FDD. En este caso, el formato se ajusta a lo que se denomina una ráfaga. Dichas ráfagas contienen varios campos de datos, otros de control, con campos relativos a los comandos de control de potencia, el formato de señal empleado o información enviada desde el móvil a la red para algunos procedimientos de la capa física. También contienen secuencias intermedias de entrenamiento y un intervalo de guarda, para tener cierta holgura en los instantes de tiempo de comienzo o final de los intervalos de transmisión.

El modo TDD dispone de la posibilidad de utilizar una estimación de avance temporal (temporal advance), de manera que se consiga que todas las transmisiones de los móviles lleguen al Nodo B correspondiente al mismo tiempo.

Por último, es importante mencionar que actualmente este modo contempla la combinación futura con otro, denominado ODMA (Opportunity Driven Multiple Access), pensado para expandir la cobertura de las células TDD a altas velocidades. La base de esta técnica es utilizar los terminales móviles activos en una célula como repetidores que contribuyan a cubrir el trayecto radio que media entre el Nodo B y el terminal móvil en conexión. Este modo dispone de sus propios canales físicos y de transporte.

#### 4.2.2. Interfaces Ix

Las interfaces Ix conectan los elementos de la UTRAN, ya sea entre sí o con el Núcleo de Red. Dichas interfaces son: Interfaz Iu, Interfaz Iur y la interfaz Iub.

La Interfaz Iu es el punto de conexión entre el subsistema de red radio (RNS) y el Núcleo de Red. Se estructura en tres componentes separadas, cada una destinada a un dominio concreto del Núcleo de Red. La primera es la correspondiente al dominio de conmutación en modo circuito, por donde se encaminan las conexiones en este modo. Su denominación es Iu-CS (Circuit Switching). La segunda se destina al dominio de conmutación de paquetes y responde a las siglas Iu-PS (Packet Switching). Por último, se define la componente Iu-BC (Broadcast), para la conexión con el dominio de difusión.

En el caso de los dominios PS y CS, un RNC sólo se podrá conectar a un punto de acceso del Núcleo de Red. No ocurre así en el caso BC, donde se admite la conexión con más de un punto de acceso. Una característica común a las tres componentes en la versión 99, es que todas ellas se basan en ATM. En el futuro se introducirá la tecnología IP, tan pronto como se disponga en ella de los mecanismos que aseguren una calidad de servicio aceptable

para los servicios UMTS, especialmente los de tiempo real. Las tecnologías de transmisión en las que se puede basar esta interfaz pueden ser muy variadas (SONET, STM1, E1), y dependerán de los condicionantes de cada operador.

La Interfaz Iur es la que existe entre dos controladores de la red radio (RNC) pertenecientes a la red de acceso UTRAN. Esta interfaz no tiene análoga en los sistemas de Segunda Generación. Permite liberar al Núcleo de Red de las decisiones relativas a trasposos entre células pertenecientes a RNC diferentes. Se trata de una interfaz lógica. Esto quiere decir que su existencia no supone una conexión física entre los RNC que comunica. Y ello es así, porque su carácter lógico permite que la interfaz se soporte sobre las conexiones de la interfaz Iu y el Núcleo de Red, que unen los RNC, de manera que la interfaz Iur se transporta separada lógicamente de la información de las otras interfaces.

Iub es la interfaz entre un controlador de red radio (RNC) y un Nodo B, donde este último controla a un grupo de células y al cual se le puede ordenar que establezca o libere los enlaces radio en el área de cobertura del grupo de células.

### 4.3. Tecnología Radio

#### 4.3.1. Estructuras celulares

Para el despliegue óptimo de las redes UMTS se ha propuesto que la planificación se realice empleando estructuras celulares jerárquicas con mega, macro, micro y picocélulas como se ilustra en la Figura 4.16

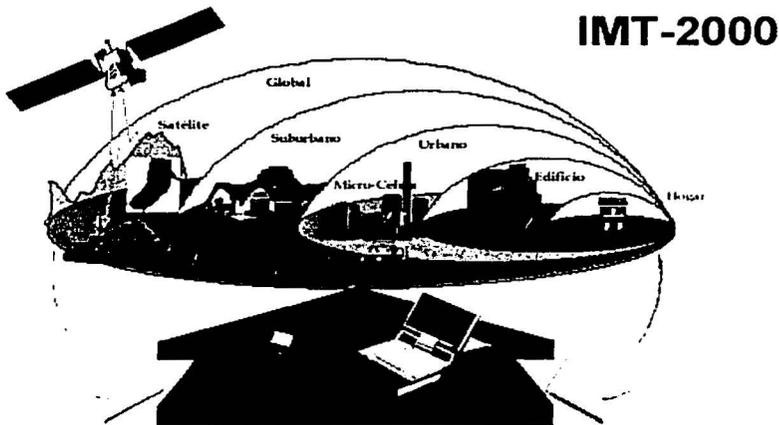


Figura 4.16 Estructura celular jerárquica.

- **Megacélulas:** tienen radios desde 100 hasta 500 Km. Ofrecen amplia cobertura para zonas con baja capacidad de tráfico a través del uso de satélites no geoestacionarios. Soportan velocidades de estaciones móviles elevadas.
- **Macrocelulas:** tienen radios desde 1 hasta 35 Km. Se emplean para ofrecer coberturas en lugares rurales, carreteras y poblaciones cercanas.
- **Microcelulas:** tienen radios desde 50 m hasta 1 Km. Ofrecen servicio a usuarios fijos o que se muevan lentamente con elevada densidad de tráfico.
- **Picocelulas:** tienen radios menores a 50 m. Ofrecen coberturas localizadas en interiores.

Tipo de célula	Megacélula	Macrocelula	Microcelula	Picocélula
Radio de la célula	100-500 Km	$\leq 35$ Km	$\leq 1$ Km	$\leq 50$ m
Instalación	LEO/HEO/GSO (órbita terrestre baja/órbita alta/órbita de satélites geoestacionarios)	Cima de un edificio, torre, etc.	Poste alumbrado, muro de un edificio.	En el interior de un edificio.
Velocidad del terminal		$\leq 500$ Km/h	$\leq 100$ Km/h	$\leq 10$ Km/h

**Tabla 4.10 Estructuras celulares en UMTS**

Las megacélulas forman parte de la componente satelital de UMTS, de la cual, como se ha mencionado hasta ahora, no hay nada concreto. Dan coberturas a amplias superficies y son muy útiles en zonas remotas con baja densidad de tráfico. También son especialmente interesantes en zonas rurales, donde los accesos a las redes de telecomunicaciones terrenales es muy escaso y costoso.

Las megacélulas deben tener la flexibilidad necesaria para admitir una amplia gama de tipos de usuario, ya que este tipo de células no esta optimizada para ningún entorno en concreto. Las megacélulas se caracterizan por tener una baja densidad de tráfico en comparación con las células terrenales y porque pueden soportar una gran velocidad de los terminales.

Un problema que se plantea al usar los satélites es la posibilidad de producirse un traspaso de una célula a otra aún cuando el terminal se encuentre inmóvil

El procedimiento de implementación de esta estructura jerárquica celular es el siguiente: se habilita la capa de macrocelulas, con Nodos B situados sobre edificios, proporcionando una cobertura continua de interior y exterior con velocidades binarias de hasta 384 kbi/s.

Posteriormente, se aumenta la capacidad de la red en las zonas de alta densidad de tráfico, mediante microcélulas ubicadas al nivel de calle (con antenas situadas a una altura de 3 a 5 metros). Finalmente, se aumenta la capacidad gracias al despliegue de microcélulas de interior y picocélulas situadas en el interior de edificios (comerciales, de oficinas, de transporte, etc.). Dichas picocélulas en el interior de edificios, facilitan los servicios multimedia de alta velocidad a 2 Mbit/s, normalmente ligados a servicios corporativos.

Las ventajas que se van a tener en UMTS con una estructura celular jerárquica son las siguientes:

- Los menores niveles de potencia transmitida en las capas de micro y picocélulas reducen el nivel de interferencia aumentando así, la capacidad y calidad del conjunto de la red.
- Mejora de la cobertura en zonas de difícil acceso, como calles estrechas, plantas bajas de edificios y túneles.
- Menor impacto visual al utilizar antenas pequeñas y a baja altura en las microcélulas de exteriores.
- Provisión de los servicios de datos de alta velocidad (2 Mbits/s) que sólo pueden ser proporcionados por Nodos B de pequeña cobertura. Esto es debido por un lado a los altos niveles de interferencia que generan estas aplicaciones y que limitan la capacidad y cobertura de la propia célula y de las células vecinas, y por otro a las exigencias de dispersión temporal de estas aplicaciones.
- Adecuación del despliegue de la red a la demanda de tráfico. Las estructuras jerárquicas absorben el tráfico generado en las grandes ciudades en zonas de alta concentración de éste.

#### 4.3.2. Traspasos en UMTS

Los motivos por los cuáles se necesita 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.
- Acceder a determinados servicios que puedan ofrecerse bajo diferentes modos de operación (TDD, FDD) e incluso, en diferentes redes de acceso radio.

Para UMTS están previstos diferentes tipos de traspasos con la finalidad de tener acceso a servicios multimedia con requisitos altos de calidad de servicio y cobertura global con sistemas heterogéneos (FDD, TDD, GSM, área local, etc.) y estructuras celulares de varias capas. Los tipos de traspaso considerados en UMTS pueden clasificarse en función del modo de operación y del modo de ejecución del propio mecanismo de traspaso.

<p>Modo de operación del sistema.</p>	<p>Trasposos intramodo: trasposos realizados entre dos portadoras FDD o bien entre dos portadoras TDD, pudiendo utilizar ambas portadoras la misma frecuencia</p> <p>Trasposos intermodo: Trasposos realizados entre los modos de operación FDD y TDD.</p> <p>Trasposos intersistema: UMTS contempla la posibilidad de realizar trasposos entre sistemas diferentes, ya sean del tipo 3G-3G, 3G-2G o viceversa. Particularmente, en la versión R99 de UMTS se detalla un traspaso entre UTRAN y GSM, en cualquiera de sus variantes a 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz. Dichos trasposos son necesarios para proveer continuidad de servicio durante las primeras implantaciones de sistemas UMTS en áreas específicas. En cuanto al traspaso entre los modos CDMA adoptados para IMT-2000, se espera que las próximas versiones incorporen la especificación para cubrir el traspaso entre UTRAN-FDD y CDMA-MC.</p>
<p>Modo de ejecución del traspaso.</p>	<p>Trasposos 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. Hay una breve interrupción o falta de continuidad en la comunicación.</p> <p>Trasposos con continuidad (soft handover): El terminal móvil puede establecer conexiones simultáneas a través de varias estaciones, a diferencia de los trasposos hard, donde los terminales móviles activos se encuentran conectados al sistema celular únicamente a través de una estación base. No se interrumpe la comunicación. La recepción de múltiples señales 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 de 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 de base.</p> <p>Trasposos softer: Son trasposos de tipo soft entre sectores de la misma estación. La diferencia entre los trasposos soft y los softer radica en el mecanismo de combinación utilizado en el enlace ascendente. En caso de trasposos softer, las señales recibidas desde diferentes sectores de la misma estación pueden combinarse siguiendo una técnica MRC, de forma similar al enlace descendente.</p>

**Tabla 4.11** Tipos de Trasposos

En el modo FDD es posible la realización de los trasposos 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 trasposos 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 trasposos soft son:

- Reducción del efecto conocido como "party effect" debido a las 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 base en términos de propagación, pueda aparecer con más facilidad un efecto de realimentación positiva en el mecanismo de control de potencia, 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 inicial.
- Reducción del efecto "ping-pong" propio de los trasposos hard, y que se combate habitualmente con la utilización de un margen de histéresis de  $\Delta\text{dB}$ . 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  $\Delta\text{dB}$  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.

### 4.3.3. Cobertura Celular

En UMTS las potencias requeridas y los alcances dependen del número de usuarios activos en la célula. Las células con pocos usuarios tienen coberturas más amplias que aquellas que tienen un número elevado de usuarios. En el despliegue inicial de la red es más importante garantizar cobertura sobre capacidad, por lo que se tendrán radios de curvatura grandes (macrocélulas) que se irán reduciendo a medida que la red esté más cargada. Los operadores de UMTS podrán utilizar hasta 3 portadoras. Pero estas frecuencias adicionales, se emplearán para el establecimiento de estructuras celulares jerárquicas.

Cuando el tráfico ya es muy elevado, lo que sucederá en UMTS con los servicios multimedia, será preciso implantar una nueva capa de estaciones microcelulares con una portadora diferente de la usada en las macrocélulas. Esta portadora será la encargada de cursar los servicios de alto régimen binario en zonas localizadas. Para crecimientos

posteriores, en puntos de muy alta densidad de tráfico (hot spots), se introducirá una capa de picocélulas con otra portadora diferente.

#### 4.3.4. Nodos B

El Nodo B es el nombre utilizado en la especificación del sistema UMTS, para el elemento que se conoce en la red GSM como estación de base.

Los elementos más numerosos en una red UMTS son los Nodos B ya que deben asegurar la cobertura en todas las zonas del sistema. Por este motivo, existirán varios tipos de Nodos B, de forma que puedan adaptarse a todos los posibles escenarios que un planificador se encuentra a la hora de desplegar una red. En la Tabla 4.12 se indican las principales clases de Nodos B.

Ubicación	Entorno
Equipos de interior	Macrocélulas Microcélulas Picocélulas
Equipos de exterior	Macrocélulas Microcélulas.

**Tabla 4.12** *Tipos de Nodos B.*

Uno de los aspectos más importantes que se introduce en la arquitectura del Nodo B para la 3G es la flexibilidad, en contraposición con la asignación rígida de portadoras en los sistemas GSM. Esta flexibilidad permite diseñar arquitectura de tipo compartido, como pueden ser compartición de elementos de canal y amplificadores de potencia entre varios sectores y portadoras. Las principales características de un Nodo B son las siguientes:

- Número de portadoras.
- Número de sectores en la estación base.
- Potencia de salida de radiofrecuencia.
- Sensibilidad de recepción.
- Capacidad de elementos de canal.
- Mecanismos de redundancia.
- Características de alimentación y consumo de energía.
- Características mecánicas (dimensiones, peso, etc.)
- Características ambientales.

El diagrama de bloques general de un Nodo B se muestra en la Figura 4.17

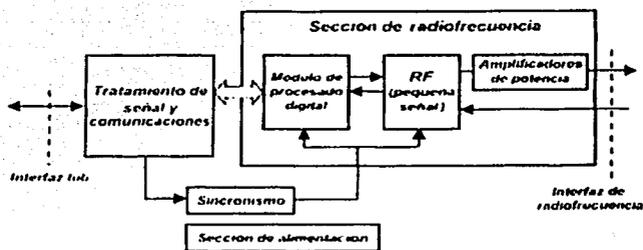


Figura 4.17 Diagrama de bloques general de un Nodo B.

La sección de RF constituye el núcleo de un Nodo B [26]. El funcionamiento de cada uno de los bloques de esta sección es el siguiente:

**Bloque amplificador de potencia:** Su misión es elevar la señal de emisión al nivel que requiere la red para su radicación por antena. En UMTS el problema principal en la construcción de estos amplificadores es conseguir que sean muy lineales, porque cada portadora en UMTS es una señal multicanal, constituida por tantos canales como comunicaciones simultáneas se establezcan en cada sector/célula, más un conjunto pequeño de canales comunes.

Dentro de su margen de funcionamiento lineal, se pueden utilizar para amplificar una o varias portadoras. Estos amplificadores son llamados amplificadores multiportadora, y los más conocidos en la actualidad son los amplificadores feed forward, o de alimentación hacia delante. Son caros y muy voluminosos, sobre todo por el sistema de refrigeración y alimentación que precisan. En la Figura 4.18 se muestra un diagrama de un amplificador de este tipo.

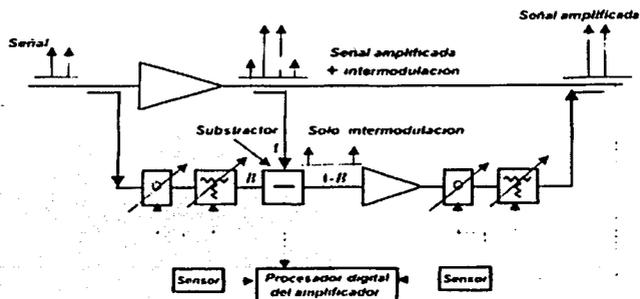


Figura 4.18 Esquema de un amplificador feed-forward.

En un amplificador feed-forward antes de la etapa de amplificación de potencia, constituida por un amplificador muy lineal que opera en clase A, se extrae una muestra de la señal multiportadora, la cual se resta de otra muestra de la señal multiportadora ya amplificada, que contiene productos de intermodulación. Ambas muestras se toman de tal forma que en los dos puertos de entrada del substractor, los niveles de señal multiportadora sean iguales, de manera que a la salida del substractor la señal útil se cancele y sólo queden los productos de intermodulación. Estos productos se amplifican y a su vez se restan de la señal de salida del amplificador de potencia, de forma que, al final, queda únicamente la señal amplificada sin productos de intermodulación.

En resumen en UMTS, los amplificadores de potencia funcionan en clase A, con rendimientos que oscilan entre el 5%, si no se emplean técnicas de linealización, y hasta el 10% en el caso de amplificadores feed forward avanzados. La potencia de salida por portadora puede variar entre 2W, en el caso de un nodo B pequeño, y 20-40W en el caso de una estación macrocelular. Por ejemplo, un conjunto amplificador de tres portadoras con una potencia de 20 W por portadora y rendimiento del 7%, consume, más de 850 W

**Bloque de RF de pequeña señal:** Constituye una cadena de radio bidireccional. En sentido descendente recibe del módulo de procesado digital la señal en banda base o frecuencia intermedia, dependiendo de cómo esté construida, y la transforma en una señal de RF de bajo nivel que se entrega al amplificador de potencia. En sentido ascendente recibe las señales que llegan de las antenas, las convierte a frecuencia intermedia y las entrega al módulo de procesado digital.

**Bloque de procesado digital:** Está compuesto por un conjunto de procesadores digitales de señal (DSP) que realizan el procesado algorítmico o matemático necesario para transformar las señales de frecuencia intermedia o banda base en canales de tráfico y viceversa.

#### **4.3.5. Antenas a usar en UMTS.**

Las antenas a emplear en UMTS serán de varios tipos dependiendo del entorno donde se utilicen. La novedad más importante en los sistemas UMTS es el uso de antenas inteligentes que permitirán variar a lo largo del tiempo la dirección a la que apunta un haz (o varios haces) para su enfoque hacia las posiciones deseadas.

Las antenas de tipo convencional que se utilizarán en las redes UMTS se pueden observar en la Tabla 4.13

Tipo de antena	Polarización	Ancho horizontal	Banda de trabajo.
Panel alta ganancia	Vertical	60°	UMTS/DCS
Panel para microcélulas	Cruzada (+45°, -45°)	90°	UMTS/DCS
Colineal	Vertical	Omnidireccional	UMTS
Bidireccional para microcélulas	Vertical	2 lóbulos de 45°	UMTS/GSM
Dipolo para microcélulas	Vertical	Omnidireccional	UMTS
Antena de interior para picocélulas	Vertical	Omnidireccional	GSM/DCS/UMTS

**Tabla 4.13** Antenas de tipo convencional para UMTS.

La antena de panel para DCS/UMTS puede ser realizada de dos formas, empleando una antena de banda ancha, que cubra las dos bandas, o mediante una antena dual. En este último caso, la diferencia que se obtendría es que se podría controlar la inclinación vertical del lóbulo de radiación de la antena (tilt eléctrico), de forma independiente para cada una de las dos redes DCS y UMTS. La posibilidad de inclinar el lóbulo de radiación de la antena permite ajustar la cobertura de la célula y evitar interferencias sobre otras células de la red.

Las antenas inteligentes son también llamadas de haz variable y son capaces de variar la dirección a la que apunta un haz (o varios haces) para apuntar hacia las posiciones deseadas. Esta variación del haz se consigue mediante dos técnicas diferentes: Procesado digital de la señal o con hardware RF (conmutadores de alta frecuencia). Lo habitual es emplear ambos métodos para llegar a una solución de compromiso entre complejidad, prestaciones y costes.

La lógica de la antena es que ha de ser capaz de averiguar dónde se encuentra el móvil en cada momento y emplear en la comunicación un haz dirigido hacia esa posición. Es decir, el sistema es capaz de seguir al móvil, delimitando la zona donde se radia señal. Esto hace que en UMTS se disminuya la interferencia radiada en ese sector.

En la descripción de antenas inteligentes se suelen mezclar dos tipos de antenas: las de haz conmutado y las de haz dirigible. En las primeras, lo que realmente se tiene son varias antenas independientes, cada una de las cuales cubre un sector angular diferente. Las segundas constan de un conjunto de elementos radiantes precedidos por un dispositivo que permite variar la amplitud y fase de la señal que transita por ellos, de forma que todos los elementos reciben la misma señal pero con amplitudes y fases distintas.

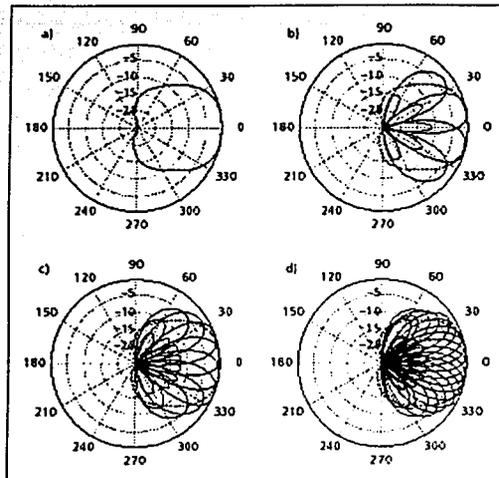


Figura 4.19 Patrón de radiación de una antena inteligente de tipo conmutada con múltiples haces.

La distancia entre dos elementos consecutivos es una fracción de la longitud de onda. El valor de la separación entre elementos radiantes y la diferencia de amplitud y fase con que se alimentan determina el diagrama de radiación del conjunto. Por tanto, variando adecuadamente las amplitudes y fases se puede dirigir el diagrama de radiación del sistema hacia un sector angular o hacia otro.

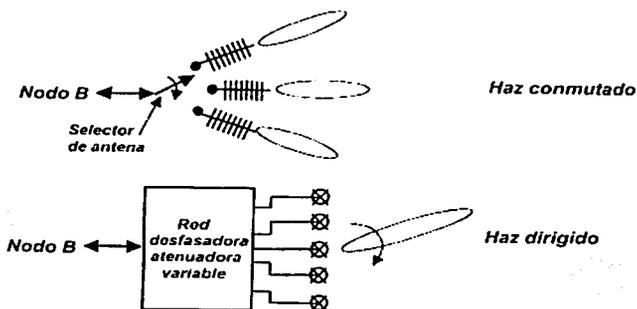


Figura 4.20 Antenas de haz conmutado y dirigido.

Las antenas de haz conmutado son más simples que las de haz dirigido, pero su funcionalidad es más limitada: el terminal móvil no se encuentra necesariamente en el máximo de uno de los diagramas de radiación.

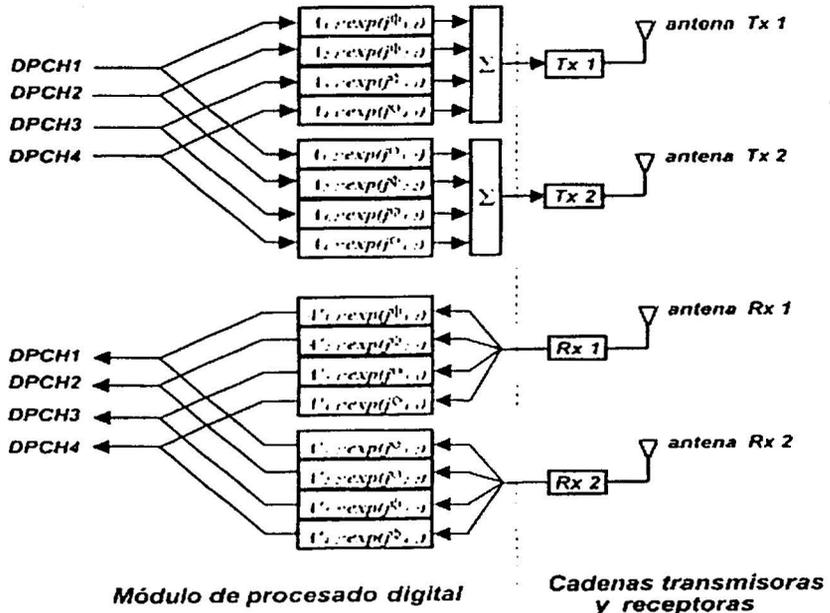
El mecanismo mediante el cual una señal se encamina de un sector a otro en las antenas inteligentes es el siguiente: En un sistema TDMA dos ráfagas consecutivas que se dirigen a móviles de diferentes sectores se encaminan hacia una antena u otra sin más que conmutar el selector de antena primero a una, durante el intervalo de duración de la primera ráfaga, y luego a otra, durante el intervalo de la segunda. Si el sistema es FDMA el mecanismo es un poco más complicado ya que es necesario utilizar un selector por cada portadora y luego combinar las portadoras a la entrada de la antena.

En CDMA y en concreto para UMTS, el Nodo B transmite los mismos canales por dos antenas diferentes, la antena 1 o principal y la 2 o de diversidad. En este caso, el terminal de usuario recibe los mismos canales de tráfico y control desde dos antenas diferentes y, por lo tanto, con retardos distintos. El procesador del terminal calcula la fase relativa entre ambos caminos, corrige el desfase y suma las señales resultantes.

De acuerdo con lo anterior, una antena de haz dirigido en UMTS debe contener los siguientes elementos:

- Tantas cadenas transmisoras como elementos radiantes en transmisión.
- Tantas cadenas receptoras como elementos radiantes en recepción.
- Para cada terminal de usuario, controlar la amplitud y fase de los canales establecidos entre el Nodo B y el terminal, de forma independiente para cada una de las antenas.

Para ilustrar estos elementos, en la Figura 4.21 se muestra un ejemplo de antena en la que hay dos elementos radiantes en transmisión, otros dos en recepción y cuatro canales diferentes de tráfico y control, cada uno dirigido a un terminal diferente. A los canales de tráfico o control se les representa con las siglas DPCH.



**Figura 4.21** Ejemplo de una antena de haz dirigida en UMTS con cuatro canales independientes.

Las ventajas más importantes de las antenas inteligentes son:

- Aumento de la capacidad de la red: el empleo de estas antenas permite tanto a la estación base como a los usuarios operar con menor potencia en las mismas condiciones, ya que un haz directivo enfoca al usuario, optimizando el nivel de señal en el enlace y disminuyendo la interferencia.
- Aumento de la cobertura: mejora en la penetración en interiores y relleno de huecos: empleando antenas inteligentes se pueden conseguir mayores ganancias que con una antena convencional de un solo haz, puesto que se utilizan haces más directivos (21 dBi frente a 17 dBi).
- Mayor robustez frente a perturbaciones y menor incidencia de los comportamientos no ideales en el control de potencia: las antenas inteligentes ayudan a aislar las señales del trayecto ascendente procedentes de distintos usuarios; es decir, en todo momento la estación sabe la dirección de la cual procede la señal deseada. Si se

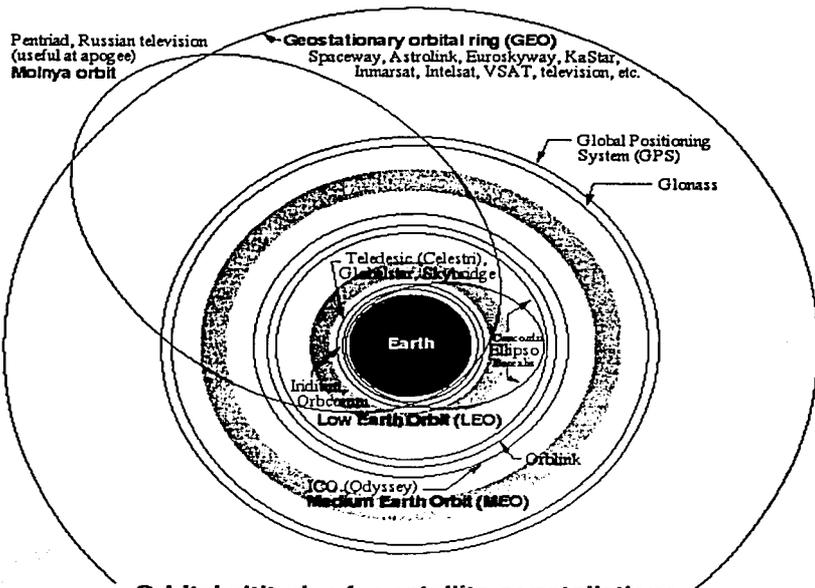
detecta una señal procedente de otra dirección, se puede descartar y se evita así el efecto de las perturbaciones exteriores a la comunicación.

Algunos de los inconvenientes más importantes de estas antenas son:

- Su coste: mucho más caras que las antenas convencionales.
- Es muy difícil para un fabricante diseñar un sistema de antenas independiente de la estación base, que pueda funcionar con cualquier estación. Como el sistema ha de estar muy vinculado con el Nodo B, para cada suministrador habrá un módulo de antena adaptativa especialmente diseñado para él.
- Su tamaño es grande, aunque presenta un menor impacto visual que tres antenas colocadas en un solo sector.

#### 4.4. Componente Satelital de UMTS

Cuando se empezaron a desarrollar los sistemas móviles en órbitas LEO, sobre todo a partir de 1993, en que se comenzó el desarrollo de Iridium, los sistemas por satélite aparecían como una nueva revolución en comunicaciones móviles. Iridium se veía como un gran paso adelante y se llegaron a predecir 1.5 millones de usuarios a finales del año 2000. El sistema terminó en el fracaso. Además de Iridium, los demás sistemas de telefonía móvil por satélite no han representado el éxito que se les auguraba. En la Figura 4.22 se pueden observar las diferentes opciones que se han desarrollado en tecnología satelital en distintas órbitas a lo largo del tiempo, todas ellas han servido para distintas aplicaciones.



### Orbital altitudes for satellite constellations

Figura 4.22 Las diferentes órbitas de los sistemas LEO, MEO y GEO [27].

Se han investigado las razones por las que los sistemas por satélite de segunda generación no han logrado el éxito que inicialmente parecían las empresas. Desde el tamaño de los terminales, el hecho de que no fueran operativos en el interior de edificios, los precios de las llamadas, fallos en la comercialización, en fin, las razones han sido muy variadas.

Ciertamente el mercado ha cambiado, el auge de Internet ha reducido las necesidades de llamadas de voz a larga distancia a lugares difíciles. El sistema era demasiado complicado, con procesado a bordo, de forma que los satélites resultan caros y difíciles de mantener. Este tipo de sistemas no podía resistir unos costes de capital muy elevados.

Por otra parte, la población mundial y los centros de comercio están mucho más concentrados de lo que pudiera parecer y las necesidades de los viajeros se cubren mucho más fácilmente con sistemas en itinerancia y alquiler de terminales que con un sistema global.

El fracaso del primero de los sistemas, Iridium, sin duda el más innovador pero también el más caro, el que estaba dirigido a un mercado más difícil y el que suponía mayores costes

de operación, ha traído consigo una ola de pesimismo hacia la solución satelital. Algunos analistas opinan que este fracaso es un aviso para el futuro sistema UMTS.

Según la UIT, "Las componentes satelital y terrenal integradas de UMTS son complementarias en cuanto a prestación de servicio. En su conjunto cubren una amplia gama de densidades de usuarios, tipos de servicio y conjuntos de servicios disponibles que comprenden los sistemas IMT-2000. Cada componente presenta sus ventajas e inconvenientes particulares. La componente terrenal proporciona de forma económica servicios de telecomunicación de alta calidad, normalmente a zonas con densidades de usuario elevadas o muy elevadas. La componente de satélite ofrece a los usuarios unos servicios de telecomunicación de calidad fundamentalmente, con una cobertura virtualmente mundial y resulta más económica fuera de las zonas cubiertas por la componente terrenal. Además de ofrecer esta cobertura mundial, en las zonas con mayor densidad de población la componente de satélite puede preceder y alentar una posterior cobertura por componente terrenal".

En la definición de arquitecturas de UMTS se considera al satélite como una componente más del sistema. Para enfatizar esa complementariedad de la componente satelital, se ha adoptado el acrónimo S-UMTS (Satellite-UMTS) para referirse a los sistemas por satélite integrados (o compatibles en algún nivel) con las redes UMTS. En esa línea se han aportado avances tanto dentro de los proyectos de innovación tecnológica de la Comunidad Europea (CE) como en varios programas de desarrollo de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Se han presentado seis propuestas de tecnologías radio RTT (Radio Transmisión Technology) para su estandarización por la UIT como tecnologías del IMT-2000, de las cuales parecen favoritas las basadas en W-CDMA y que pretenden la máxima integración con los sistemas terrestres. Entre estas propuestas se pueden destacar las realizadas por la CE basada en los resultados del proyecto SINUS, la propuesta por la ESA y la aportada por el TTA de Corea. Entre ellas se han realizado acercamientos para tratar de armonizarlas, aunque las propias diferencias entre los estándares terrestres correspondientes auguran pocas posibilidades de llegar a un único estándar para la componente satelital.

UMTS está pensado para que los terminales sean bimodales, incorporando la componente terrestre y la satelital. En este caso, el terminal buscará siempre primero la señal terrestre y si no está disponible automáticamente buscará al satélite.

Las opciones actuales con las que se cuenta para la componente satelital de UMTS son los pertenecientes a la llamada "nueva generación de satélites", cuyas características son:

- Satélites en órbitas no geostacionarias (LEO o MEO) además de los tradicionales GEO.
- Conmutación a bordo.
- Enlaces entre satélites.

- Utilización de antenas multihaz para aplicar las técnicas de reutilización de recursos típicas de las comunicaciones celulares.
- Nuevas bandas de frecuencia no utilizadas anteriormente como la banda Ka y V.
- Búsqueda de la constitución de redes globales y no solamente locales o regionales.

La clasificación de estos sistemas se encuentra en la Tabla 4.14

Sistema	Características	Ejemplos.
Sistemas LEO/MEO de banda estrecha GMPCS (Global Mobile Personal Communication Systems)	Pensados para comunicaciones móviles con cobertura global principalmente de voz	Iridium (Motorola) Globalstar (Alcatel, Loral) ICO (Inmarsat)
Sistemas Leo de Banda Ancha (LEO-BA).	Diseñados para proporcionar servicios de banda ancha en modo paquete: Internet, redes corporativas, servicios interactivos	Teledesic (McCaw, Bill Gates, Motorola) Skybridge (Alcatel Loral)
Sistemas GEO de banda ancha	Además de los servicios de los LEO-BA, soportan servicios de difusión.	Astrolink (Lockheed Martín) Spaceway (Hughes)
Sistemas Little-LEO	Recepción y transmisión de mensajes de datos, de cobertura global en pequeños satélites de órbita baja	Orbcomm LEO one Final Analysis E-Sat.

**Tabla 4.14** Alternativas satelitales para UMTS.

Además de las soluciones por satélite, se han propuesto un conjunto de soluciones imaginativas para lograr aumentar la cobertura de los sistemas 2G y 3G. Estas soluciones tienen en común la utilización de plataformas elevadas con el fin de mejorar la cobertura. Este tipo de soluciones pueden ser muy adecuadas para el futuro despliegue de la red UMTS, sobre todo si el sistema ha de ser, como se indica en sus siglas, universal y llegar por tanto a todos los lugares. Las dos opciones son el sistema Skystation y los sistemas de planeadores (propuesta Helios de la NASA).

La propuesta de Skystation [28] es utilizar globos dirigibles no tripulados a gran altura (21 km) con una carga útil de 1,000 kg, haciendo uso de la banda de 47 GHz para proporcionar servicios de elevada tasa binaria (2 Mbit/s) a usuarios residenciales. En la Tabla 4.15 se encuentran las características de este sistema.

Altitud	20-21 km
Área de cobertura	1,000 km
Número de haces	>1,000
Frecuencias	1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz en Región 1 y 3; 1885-1980 MHz, 2110-2160 MHz en Región 2.
Modulación	QPSK
Velocidad de transmisión	8 kb/s para voz, 384 kb/s-2 Mb/s para datos
Potencia	25 mW
Unidad de abonado	WCDMA/CDMA2000

Tabla 4.15 Características de Skystation.

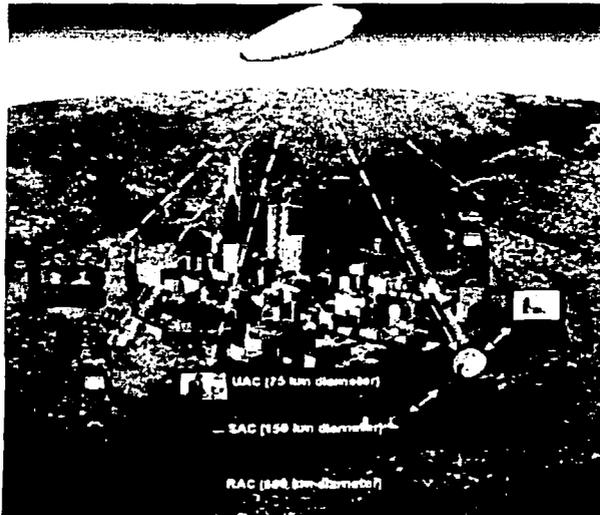


Figura 4.23 Imagen de Cobertura de Skystation.

Por otro lado, aparecen cada vez más proyectos en los que el problema de la cobertura se resuelve por medio de soluciones basadas en el empleo de aviones de muy bajo peso alimentados por energía solar. Una de éstas es el proyecto Helios desarrollado por la NASA [29].

El avión experimental impulsado por energía solar Helios vuela a 30 km de altura. El éxito de la prueba abre el camino hacia la instalación de plataformas volantes para diversas aplicaciones, como comunicaciones o vigilancia medioambiental.

El Helios, sucesor del Centurion y del Pathfinder, vehículos anteriores de parecidas características puede iluminar una zona de 500 km de diámetro. Sus múltiples hélices, movidas por motores eléctricos alimentados por energía solar, prometen una gran autonomía de vuelo a un mínimo coste.

Los ingenieros han empezado a considerar este tipo de plataformas como una alternativa viable a los mucho más caros satélites. Sistemas como éste pueden servir para proporcionar una cobertura local de comunicaciones, controlar la contaminación o simular un vuelo en la atmósfera de Marte.

El uso de células solares limita la duración de la estancia en el aire a las horas diurnas, pero los ingenieros trabajan en futuras misiones que emplearán un sistema de combustible capaz de ser regenerado. El avión alcanza la máxima altitud durante el día, mientras que durante la fase nocturna del vuelo inició al descenso planeado, cuando ya no eran necesarios los 14 motores eléctricos. Al contrario, las hélices se usaron entonces como generadores, proporcionando suficiente energía eléctrica para controlar el avión.

Las dimensiones del Helios son considerables. Su envergadura es superior a la de un Boeing 747, alcanzando los 75 metros. Controlado mediante un sistema remoto, el vehículo utiliza un receptor GPS para mejorar su navegación, un sistema de vigilancia de las turbulencias y equipos para registrar datos científicos, como las cargas estructurales. También incorpora radiadores para disipar el calor allá donde el aire es escaso.

Sus paneles solares, montados sobre el ala, consisten en más de 65.000 células divididas en 1.800 grupos. Son capaces de convertir en electricidad el 19 por ciento de la energía que reciben del Sol. La potencia generada total máxima es de 35 kW. Alimentan 14 motores eléctricos que en 2003 serán reducidos a 8.

Tras algunas mejoras que garanticen su fiabilidad, versiones futuras del Helios podrán volar durante meses y llevar a cabo misiones económicamente interesantes, convirtiéndose en verdaderos "satélites atmosféricos".



Figura 4.24 Imagen de Helios.

#### 4.5. Modelos de propagación

El estudio de estos modelos es muy importante en UMTS debido a las siguientes razones: para describir el valor medio de la pérdida básica de propagación en los enlaces UMTS, para caracterizar los diversos usuarios y servicios que va a tener el sistema y para estudiar el comportamiento de los terminales móviles en diferentes entornos (macrocélulas, microcélulas y picocélulas).

##### 4.5.1. Modelos de propagación para macrocélulas

Existe una gran cantidad de modelos de propagación para macrocélulas, entre ellos se encuentran:

- Modelo de Longley-Rice
- Modelo de Durkin
- Modelo de Okumura
- Modelo de Hata
- Modelo de Walfisch y Bertoni
- Modelo de Hata-COST231.
- Modelo Anderson 2D

Cada uno de ellos ha sido aplicado para las distintas generaciones de telefonía celular desde 1968 fecha en la que se publicó el modelo de Longley-Rice. De esta manera se han ido mejorando e incorporando correcciones para que puedan aplicarse en ambientes urbanos,

semiurbanos y rurales y a diferentes frecuencias. Por ejemplo, el método original de Okumura fue modificado por Hata y posteriormente, los Europeos desarrollaron una extensión del modelo de Hata a la frecuencia de 2 GHz (comité creado por EURO-COST). Todos estos modelos pueden estar disponibles como un programa computacional o puede crearse el software de acuerdo con sus ecuaciones correspondientes.

Los procedimientos más ampliamente utilizados en UMTS para el cálculo de enlaces son dos: el Modelo fundamental derivado del método Okumura-Hata y el modelo Anderson 2D general, siendo el primero de ellos el más empleado en el mundo en las bandas de 900, 1800 y 2000 MHz. El modelo Anderson 2D es el recomendado por la TIA/EIA norteamericana [21] y se basa más en fundamentos físicos que empíricos. Investigaciones realizadas por la TIA/EIA revelaron que este método resultó ser el más preciso de todos los que fueron comparados, incluidos el de Longley-Rice y modelos derivados del Deygout. Por lo tanto puede utilizarse como procedimiento alternativo al método fundamental Okumura-Hata modificado, aunque conviene tener en cuenta que es un método mucho más reciente, que deberá ser probado ampliamente. A continuación se van a describir los dos modelos.

Modelo	Rango de frecuencias	Rango de distancias	Altura de antena del transmisor	Polarización.
Okumura-Hata modificado	150 MHz- 2 GHz	1 km – 100 km	Hasta 1000 m	No se tiene en cuenta
Anderson 2D	30 MHz – 10 GHz (hasta 60 GHz si se añaden los efectos de la absorción atmosférica y dispersión troposférica)	Sin limitación a priori	Sin limitación a priori	Vertical/ Horizontal

**Tabla 4.16 Rangos de validez de los modelos para macrocélulas en UMTS.**

#### a) Modelo Okumura-Hata modificado

Okumura obtuvo unas curvas expresió de propagación basadas en una amplia campaña de medidas efectuadas en Japón. La necesidad de informatizar el método, condujo a Hata al desarrollo de expresión□e numéricas para las curvas normalizadas de Okumura incluyendo, además, las correcciones más expresi utilizadas en expresión□e□aciones expresi. No obstante, este método original de Okumura-Hata adolecía de algunas limitaciones, por lo que se incorporó la variante propuesta en los estudios del COST 231, imprescindible para los sistemas expresi de nuestros días. Es por esto que expresión□e se le conoce a este modelo con el nombre Hata-COST231. Las pérdidas de la fórmula Okumura-Hata se calculan a partir de las pérdidas en entorno urbano, a la que se añaden factores de corrección para entornos suburbanos y rurales, con la siguiente expresión:

$$L_{OH\_urbana} (dB) = C_K + C_F \log f - C_{HT} \log h_t - a(h_m) + (C_{A\_HT} - C_{B\_HT} \log h_t) \log d^b \quad (4.9)$$

donde:

$f$ : frecuencia (MHz)

$d$ : distancia (km)

$h_t$ : altura efectiva de la antena de estación de base (m)

$C_K$ : término independiente de pérdidas (dB)

$C_F$ : coeficiente de dependencia logarítmica con la frecuencia.

$C_{HT}$ : coeficiente de dependencia logarítmica con la altura efectiva de la antena de estación base.

$C_{A\_HT}$ : término independiente de la recta que controla la dependencia con la distancia.

$C_{B\_HT}$ : inverso de la pendiente de la recta anterior.

$a(h_m)$ : función de corrección según la altura de la antena móvil.

$b$ : factor adicional de modificación de la dependencia con la distancia.

El factor  $b$  incluye la modificación propuesta en la Recomendación UIT-R 529 para distancias superiores a 20 km, en la forma:

$$b = \begin{cases} b = 1 & d \leq 20 \text{ km} \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} h_t) \left( \log \frac{d}{20} \right)^{0.8} & d > 20 \text{ km} \end{cases} \quad (4.10)$$

Los coeficientes  $C_{A\_HT}$  y  $C_{B\_HT}$  son constantes, siendo sus valores por defecto 44.9 y 6.55, respectivamente.

Para los coeficientes  $C_K$ ,  $C_F$  y  $C_{HT}$  se tienen en cuenta cuatro rangos fundamentales, según los distintos valores de frecuencia y altura efectiva. Los valores por defecto se recogen en la Tabla 4.67.

Altura efectiva	Frecuencia	
	$f \leq 1,500$ MHz	$1,500 \leq f \leq 2,000$ MHz
$h_t \leq 220$ m	Formulación original Okumura-Hata $C_K=69.55$ dB $C_F=26.16$ $C_{HT}=13.82$	Extensión COST 231 $C_K=43.30$ dB $C_F=33.9$ $C_{HT}=13.82$
$h_t > 220$ m	Extensión con método de altura efectiva $C_K=92.23$ dB $C_F=26.16$ $C_{HT}=23.5$	Extensión compuesta (por continuidad) $C_K=67.63$ dB $C_F=33.9$ $C_{HT}=23.5$

Tabla 4.17 Coeficientes de la fórmula básica Okumura-Hata.

El término  $a(h_m)$  es una corrección que depende de la altura de la antena del móvil. Para la altura estándar  $h_m = 1.5$  m,  $a(h_m) = 0$ . Para otras alturas,  $a(h_m)$  depende del tipo de ciudad de la forma siguiente:

Ciudad media-pequeña:

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8) \quad (4.11)$$

Ciudad grande:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29(\log 1.54h_m)^2 - 1.1 & f \leq 300 \text{ MHz} \\ 3.2(\log 11.75h_m)^2 - 4.97 & f > 300 \text{ MHz} \end{cases} \quad (4.12)$$

Las pérdidas totales según este método, se calculan a partir de las pérdidas en medio urbano, en función del tipo de entorno, como sigue:

$$L_{OH} = \begin{cases} L_{OH\_urbano} & \text{urbano} \\ L_{OH\_urbano} - 2\left(\log \frac{f}{28}\right)^2 - 5.4 & \text{suburbano} \\ L_{OH\_urbano} - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 & \text{rural} \end{cases} \quad (4.13)$$

#### b) Método Anderson 2D

La atenuación total para macrocélulas en el método Anderson 2D está dada por la ecuación:

$$L_{LOS} = 32.45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{km}) + L_{reflex} + L_{Fresnel} \quad (4.14)$$

donde:

$L_{reflex}$ : Pérdidas debido al rayo reflejado.

$L_{Fresnel}$ : Pérdidas debido a la obstrucción parcial del radio de Fresnel.

$f$ : Frecuencia del enlace.

$d$ : distancia del enlace.

Las pérdidas debido al rayo reflejado se calculan de la siguiente manera:

$$L_{reflex} = 20 \log |1 + |R|e^{j(\varphi_R + \Delta\varphi)}| \quad (4.15)$$

$$R = \begin{cases} \frac{\text{sen} \gamma_0 - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \gamma_0}}{\text{sen} \gamma_0 + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \gamma_0}} \dots\dots\dots \text{polarización horizontal} \\ \frac{\epsilon \text{sen} \gamma_0 - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \gamma_0}}{\epsilon \text{sen} \gamma_0 + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \gamma_0}} \dots\dots\dots \text{polarización vertical} \end{cases} \quad (4.16)$$

$$\gamma_T = \arctg \left( \frac{h_T}{d_T} \right); \quad (4.17)$$

$$\gamma_R = \arctg \left( \frac{h_R}{d_R} \right) \quad (4.18)$$

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi d'_T h'_R}{d\lambda} \quad (4.19)$$

**R:** Coeficiente de reflexión complejo.

$\Delta\varphi$ : desfasaje debido a la diferencia de caminos entre los dos rayos. (rad)

$\gamma_0$ : ángulo de incidencia correspondiente al punto de reflexión.

$\epsilon$ : permitividad compleja.

$\gamma_T$  y  $\gamma_R$ : ángulos de incidencia en el punto de evaluación con respecto al transmisor y al receptor respectivamente.

$h_T$  y  $h_R$ : alturas relativas a la altura del punto de evaluación del transmisor y receptor respectivamente.

$d_T$  y  $d_R$ : distancias desde el punto de evaluación al transmisor y receptor respectivamente.

$h'_T$  y  $h'_R$ : alturas relativas al punto de reflexión del transmisor y receptor respectivamente.

$\lambda$ : longitud de onda. (m)

$d$ : distancia del enlace (m)

El punto de reflexión  $\gamma_0$  se obtiene cuando  $\gamma_T = \gamma_R$ . Cuando esta condición no se cumple en la práctica, se busca el punto donde  $\gamma_T < \gamma_R$ , y se hace una estimación por medio de una interpolación lineal.

El valor de estas pérdidas se encuentra entre -6 a 25 dB.

Las pérdidas por obstrucción del radio de Fresnel se calculan cuando se intercepta el volumen correspondiente al 60% de la primera zona de Fresnel. Su valor varía normalmente entre 0 y 6 dB y se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_{\text{Fresnel}} = 6,0 \left( 1 - \frac{C_{\text{obs}}}{R_F} \right) \quad (4.20)$$

donde  $C_{obs}$  es la diferencia de altura entre el rayo y el terreno y  $R_F$  es el radio equivalente al 60% de la zona de Fresnel.

#### 4.5.2. Pérdidas en picocélulas

Los valores de atenuación en interiores de edificios se evalúan añadiendo a la atenuación de referencia una cantidad adicional para tener en cuenta las pérdidas debidas a las paredes, techos, suelos y muebles del edificio. La siguiente fórmula es la propuesta para evaluar la atenuación en interiores en UMTS:

$$L_p = L_{of} + L_r + \sum_{i=1}^N k_{wi} L_{wi} + L_f \cdot n^{[(n+2)/(n+1)-b]} \quad (4.21)$$

$n$ : número de techos o suelos considerados en el recorrido del rayo.

$L_f$ : la pérdida correspondiente de cada uno de ellos.

$i$ : tipo de paredes.

$k_{wi}$ : número de paredes de esa clase.

$L_{wi}$ : pérdida a través de esa pared de tipo  $i$ .

$L_c$ : término de pérdida constante, su valor es de: 37 dB

$b$ : término empírico de valor constante;  $b=0.46$

$L_{of}$ : pérdida en condiciones de espacio libre.

Los valores de  $L_f$  y  $L_{wi}$  más comunes son los de la Tabla 4.18

Tipo	Parámetro	Valor (Db)
Suelo, espesor < 30 cm	$L_f$	18.3
Paredes ligeras o con ventanas	$L_{w1}$	3.4
Paredes duras (tabiques de ladrillo)	$L_{w2}$	6.9

Tabla 4.18 Valores promedio de pérdidas de penetración.

#### 4.6. Planificación Radio en UMTS

En UMTS la planificación Radio tiene una gran importancia por dedicarse de los cálculos de enlace, de cobertura y capacidad con objeto de aprovechar al máximo a los Nodos B y brindar las calidades de servicio necesarias. El proceso de planificación que va a describirse está basado en la modalidad FDD, debido a que como se mencionó anteriormente, la explotación TDD va a estar limitada a interiores y picocélulas, por lo que su planificación será particular para cada caso y no una metodología general como lo es para el modo FDD.

El objetivo de la planificación es asegurar que el conjunto de terminales móviles en situación de fuera de servicio sea inferior a un porcentaje (entre 1 ó 5%) como objetivo de calidad y que depende del tipo de servicio.

#### 4.6.1. Capacidad de las células

La capacidad en un sistema CDMA está íntimamente ligada con la cobertura celular, el tráfico cursado y la distribución geográfica de los usuarios. Dichos valores deben satisfacer el requisito de calidad de servicio en todas las ubicaciones de la zona de planificación. De esta manera, el valor de la relación  $E_b/N_0$  (energía por bit/Ruido térmico más interferencias) debe ser superior a un umbral establecido con base en el tipo de servicio y la tasa de errores de bit (BER). En consecuencia, para todos los enlaces debe verificarse la siguiente inequación:

$$\frac{(P_{ik} G_i / A_{ij}) / R_k}{(I_{in} + I_{ex} + N) / W} \geq \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_k \quad (4.22)$$

donde:

$P_{ik}$ : Potencia del transmisor  $i$ -ésimo (base o móvil) para el servicio  $k$ -ésimo (voz, datos LCD, datos UDD...).

$G_i$ : Ganancia absoluta de la antena del transmisor  $i$ -ésimo.

$A_{ij}$ : Atenuación de propagación entre el transmisor  $i$ -ésimo y el receptor  $j$ -ésimo.

$R_k$ : Velocidad de transmisión (bit/s) para el servicio  $k$ -ésimo.

$I_{in}$ : Potencia de interferencia intracelular.

$I_{ex}$ : Potencia de interferencia intercelular.

$N$ : Potencia de ruido térmico.

$W$ : Velocidad de chips (chip/s)

$(E_b/N_0)_k$ : Umbral (absoluto) de la relación  $E_b/N_0$  para el servicio  $k$ -ésimo.

Como se puede observar, se tiene una inequación por cada tipo de servicio, terminal móvil y enlace (ascendente y descendente) presentes en el escenario de planificación. La relación de igualdad implica un control de potencia perfecto.

Para determinar el lugar óptimo de las estaciones y el radio celular de cada una, debe analizarse el cálculo de la capacidad de una manera analítica para el caso del enlace ascendente y el descendente.

##### 4.6.1.1. Capacidad del enlace ascendente.

El procedimiento analítico para el cálculo de la capacidad del enlace ascendente, está determinado por dos factores:

- El nivel de interferencia generada por los terminales móviles que utilizan la misma frecuencia portadora, tanto en la propia célula como en otras. En función de esta interferencia se obtiene un cierto número de usuarios y una capacidad de tráfico equivalente en Erlangs que se denomina "soft capacity".
- El número de elementos físicos de procesamiento de canales disponibles en el receptor de la estación base (hard capacity)

Para un servicio en específico e introduciendo el concepto de potencia de recepción ( $P_r$ ) en la expresión (4.23) se tiene que:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r/R}{N + I_{int} + I_{ext} / W} \quad (4.23)$$

En los servicios de voz y en los de datos por paquetes, la transmisión no es continua. Esto se recoge en el denominador factor de actividad  $\alpha$  que expresa el porcentaje de tiempo de transmisión en una sesión ( $\alpha < 1$ ). Suponiendo que hay  $K$  usuarios ocupados con llamadas en la célula y que el control de potencia es ideal (todos reciben con potencia  $P_r$ ) la potencia de interferencia interna que recibe un usuario es la resultante de los  $K-1$  restantes:

$$I_{int} = P_r(K-1) \alpha \quad (4.24)$$

La interferencia externa puede expresarse en función de la interna y del factor de reutilización  $f$  como:

$$I_{ext} = (f-1) I_{int} \quad (4.25)$$

Sustituyendo (4.24) y (4.25) en (4.23) se obtiene:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_r/R}{[P_r(K-1)\alpha f + N]/W} = \frac{G_p}{(K-1)\alpha f + N/P_r} \quad (4.26)$$

llamando  $G_p = W/R$  a la ganancia de procesado. Despejando  $P_r$  queda:

$$P_r = \frac{N}{G_p/(E_b/N_0) - (K-1)\alpha f} \quad (4.27)$$

De 4.27 se desprende que si  $K$  aumenta, también lo hace  $P_r$  de forma que cuanto más usuarios se incorporan, todos han de transmitir con mayor potencia. Si el denominador se hace cero, la potencia de recepción y la de transmisión son infinitas. En este caso  $K$  alcanza un máximo y la capacidad correspondiente se llama capacidad asintótica (pole capacity), cuyo valor es:

$$K_{max} = 1 + \frac{G_p/(E_b/N_0)}{\alpha f} \quad (4.28)$$

Las redes deben funcionar por debajo del máximo. Si  $K$  es el número de usuarios ( $K < K_{max}$ ), se llama factor de carga  $X$ , al cociente:

$$X = \frac{K-1}{K_{max}-1} \quad (4.29)$$

Fijando un valor para el factor de carga, a partir de (4.27), (4.28) y (4.29) se obtiene la potencia (sensibilidad) de recepción:

$$S = \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \frac{1}{G_p} \frac{1}{1-X} N \quad (4.30)$$

Como  $N = kT_0 WNF$  y  $G_p = W/R$ , resulta:

$$S = \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \frac{1}{1-X} kT_0 RNF \quad (4.31)$$

donde  $k$  es la constante de Boltzman,  $T_0$  la temperatura de referencia (290K) y  $NF$  es el factor de ruido del receptor. Pasando (4.31) a dBm:

$$S(\text{dBm}) = -174 + 10 \log R(\text{bit/s}) + \left( \frac{E_b}{N_0} \right) + NF(\text{dB}) - 10 \log(1-X) \quad (4.32)$$

Para una potencia de transmisión dada y tomando en cuenta los demás parámetros del cálculo de enlace (ganancia de antenas, pérdidas, etc.), la distancia de cobertura es función de la sensibilidad de recepción. Como ésta, según la ecuación (4.60), depende de la capacidad a través de  $X$ , se pone de manifiesto la relación capacidad-cobertura característica del enlace ascendente.

El incremento del umbral de ruido NFR representa la degradación de la sensibilidad del receptor CDMA cuando hay  $k$  usuarios respecto a un receptor digital monousuario. Para calcular el NFR se utiliza la ecuación:

$$NFR = \frac{I_{int} + I_{ext} + N}{N} = \frac{P_r(K-1)\alpha_f + N}{N} \quad (4.33)$$

Sustituyendo las ecuaciones (4.30), (4.31) y (4.33) resulta:

$$NFR = \frac{1}{1-X} \quad (4.34)$$

Esta expresión representa la relación entre el NFR y el factor de carga.

A continuación se pretende generalizar las expresiones anteriores contemplando varios tipos de servicios correspondientes a varios usuarios. Se considera una célula con  $M$  usuarios de  $S$  servicios diferentes. La relación  $E_b/N_0$  para el usuario  $j$ -ésimo resulta ser:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{P_j/R_j}{\left[\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^M \alpha_i P_i + N\right]/W} = \frac{P_j G_{p_j}}{I_{total} - \alpha_j P_j} \quad (4.35)$$

donde:

$\alpha_j$ : Factor de actividad del usuario  $j$ -ésimo.

$P_j$ : Potencia de recepción de la estación base del móvil  $j$ -ésimo. Esta potencia es la misma para todos los usuarios de un mismo servicio.

$G_{p_j}$ : Ganancia de procesamiento para el usuario  $j$ -ésimo.

$N$ : Potencia de ruido térmico.

$I_{total}$ : Interferencia total.

Donde el índice  $j$  recorre el conjunto de usuarios. De esta ecuación se deducen las siguientes dos ecuaciones:

$$I_{total} = \sum_{j=1}^M \alpha_j P_j + N \quad (4.36)$$

$$P_j = \frac{I_{total}}{\alpha_j + K_{oj}} \quad (4.37)$$

Siendo

$$K_{oj} = G_{p_j} / (E_b / N_0)_j \quad (4.38)$$

Se define el factor de carga de conexión  $\lambda_j$  para la conexión del usuario  $j$ -ésimo como:

$$\lambda_j = \frac{P_j \alpha_j}{I_{total}} = \frac{\alpha_j}{\alpha_j + K_{oj}} \quad (4.39)$$

De esta ecuación se desprende que el factor de carga de conexión, en este caso unicolor, depende únicamente del tipo de servicio. Combinando (4.36) y (4.39) resulta:

$$I_{total} - N = I_{total} \sum_{j=1}^M \lambda_j \quad (4.40)$$

A la suma de los factores de carga de conexión de todos los usuarios se le denomina factor de carga del enlace ascendente  $X_{UL}$ :

$$X_{UL} = \sum_{j=1}^M \lambda_j = \lambda_1 M_1 + \lambda_2 M_2 + \dots + \lambda_s M_s \quad (4.41)$$

donde  $M_i$  es el número de usuarios del servicio  $i$ -ésimo y  $S$  es el número de servicios. De (4.40) se deduce:

$$I_{total}(1 - X_{UL}) = N \quad (4.42)$$

por lo que el incremento del umbral de ruido será:

$$NFR = \frac{I_{total}}{N} = \frac{1}{1 - X_{UL}} \quad (4.43)$$

Se observa que esta ecuación coincide con (4.34), siendo una generalización de ésta para el caso multiservicio.

Se amplía ahora la definición del factor de carga para que abarque la situación real multicelular. Para ello se introduce el factor de reutilización  $f$ , de manera que el factor de carga para el enlace ascendente queda:

$$X_{UL} = f \sum_{j=1}^K \lambda_j \quad (4.44)$$

y el margen de interferencia será igual a  $-10 \log(1 - X_{UL})$

La capacidad expresa la intensidad de tráfico  $A$  (Erlangs) que puede cursarse en una célula con un grado de servicio (GOS) caracterizado por una probabilidad de degradación  $p_{out}$  y para un cierto número de servidores  $K$ . Para el cálculo de la intensidad de tráfico de cada servicio  $A$  se sigue el método de Viterbi, el cual describe el entorno real de funcionamiento de una red celular CDMA. Para ello se basa en las siguientes hipótesis:

- El control de potencia no es perfecto, sino que tiene una fluctuación caracterizada por una distribución log-normal de media 0 dB y desviación típica  $\sigma$  dB.
- En las células vecinas a la de referencia hay móviles conectados a sus bases respectivas que producen interferencia en la estación base de la célula de referencia (interferencia intercelular). La potencia de esa interferencia externa  $I_{ext}$  se expresa en función de la potencia de la interferencia intercelular  $I_{int}$  y del llamado factor de reutilización  $f$ , de forma que:

$$I_{ext} = I_{int}(f - 1) \quad (4.45)$$

La fórmula de Viterbi, que relaciona la probabilidad de desbordamiento con esa intensidad  $A$  y los parámetros del sistema CDMA, es la siguiente:

$$P_{out} = Q \left[ \frac{k'_0 - \bar{\alpha}A(1 + f)e^{(\beta\sigma_r)^2/2}}{\sqrt{\bar{\alpha}A(1 + f)e^{(\beta\sigma_r)^2}}} \right] \quad (4.46)$$

siendo  $Q$  la función de distribución complementaria de Gauss,

$$\beta = \ln(10)/10 \quad (4.47)$$

y  $\alpha$  es el valor medio del factor de actividad.

Para dejar  $A$  que es la intensidad de tráfico que nos interesa, puede escribirse como sigue:

$$A = k'_0 \frac{F(B, \sigma_c)}{\alpha f} \quad (4.48)$$

donde:

$$k'_0 = \frac{G_p}{(E_b/N_0)\lambda_j} X_{UL} \quad (4.49)$$

$$F(B, \sigma_c) = \frac{1}{\varphi_c} \left[ 1 + \frac{\varphi_c^3 B}{2} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4}{\varphi_c^3 B}} \right) \right] \quad (4.50)$$

$$\varphi_c = e^{(\beta\sigma_c)^2/2} \quad (4.51)$$

$$B = \frac{[Q^{-1}(P_{md})]^2}{k'_0} \quad (4.52)$$

La función  $Q^{-1}$  es la inversa de la función de distribución de Gauss complementaria.

#### 4.6.1.2. Capacidad del enlace descendente

En UMTS el enlace descendente tiene unas características operativas diferentes de las del ascendente, debido a que:

- La comunicación procede desde un único transmisor (base) con destino a múltiples receptores móviles.
- Debe radiarse, con cierto nivel, una señal de referencia común para permitir la sincronización de los móviles y facilitar la detección coherente y estimación del canal por parte de éstos.
- La interferencia externa recibida por un móvil procede de un número limitado de fuentes concentradas (estaciones base de otras células) en vez de provenir de un número grande de estaciones distribuidas, como en el ascendente.
- La interferencia interna, teóricamente es nula, ya que el enlace descendente utiliza códigos ortogonales. Sin embargo, en la práctica, la ortogonalidad no se mantiene en el enlace descendente debido a la propagación multitrayecto, por lo que hay que tener en cuenta esta interferencia interna.
- Los móviles pueden encontrarse en un estado de traspaso con continuidad, conectados a más de una estación base.

Como consecuencia de todo lo anterior, el cálculo de la capacidad es complicado, ya que influyen en él las posiciones donde están los móviles y la potencia radiada por las

estaciones base de las células vecinas, que depende de la carga de tráfico de éstas. Se presenta a continuación la evaluación teórica de la capacidad del enlace descendente siguiendo los métodos de Viterbi y Gilhousen, que se basan en las siguientes hipótesis:

- Todas las estaciones base transmiten con la misma potencia máxima.
- La potencia de las estaciones base se divide en dos partes: un porcentaje  $1-\beta$  de la misma se destina a radiar el canal piloto y otros canales comunes. El porcentaje restante,  $\beta$ , se distribuye entre los canales de tráfico.
- Cada usuario está registrado en una célula de tal forma que tiene asignada una fracción de potencia  $\beta\phi_i$ , determinada en función de la calidad de la comunicación.
- Se considera inicialmente que el usuario recibe interferencia intracelular sin reducción por ortogonalidad.

Sea  $p_{ij}$  la potencia recibida por el usuario  $i$ -ésimo desde la base  $j$ -ésima. Deberá cumplirse que  $p_{i1} > p_{ij}$  ( $j=2, \dots, J$ ), ya que el móvil se adscribe a la base desde la que recibe mayor potencia. La relación  $E_b/N_0$  para el usuario de referencia será:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{\beta\Phi_1 p_{i1}/R}{(I_{in} + I_{ex} + N)/W} \quad (4.53)$$

donde  $I_{in}$ ,  $I_{ex}$  son las interferencias intra e intercelular respectivamente, y  $N$  es la potencia de ruido térmico.

De forma similar a como se ha procedido en el enlace ascendente, se llega a la definición del factor de carga medio para el enlace descendente, el cuál es:

$$X_{DL} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \lambda_i \quad (4.54)$$

donde  $\lambda_i$  es el factor de carga para la conexión del usuario  $i$ -ésimo, siendo en este enlace:

$$\lambda_i = \frac{f_i - o_i - \beta\Phi_1(1 - o_i)}{\beta\Phi_1 k_i} \quad (4.55)$$

en la cual tomamos en cuenta el factor de ortogonalidad  $o_i$ . Por lo tanto, el margen de interferencia medio vale:

$$M_1 = -10 \log(1 - X_{DL}) \quad (4.56)$$

de donde puede estimarse la potencia media por usuario como:

$$P = L_{media} - 174 + NF(dB) + 10 \log R(\text{bit/s}) + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{db} + M_1(dB) \quad (4.57)$$

siendo  $NF$  el factor de ruido del receptor y  $L_{media}$  el valor medio de la atenuación en la célula. Esta expresión se utiliza en el balance del enlace descendente. Es importante mencionar que la ecuación anterior se ha obtenido para los valores medios (al contrario que

la deducida para el enlace ascendente, que es válida en general, cuando el error del control de potencia es nulo). Ello implica que el concepto de margen de interferencia para el enlace descendente sólo sea aplicable cuando se define sobre valores medios. Es decir, no puede utilizarse para los cálculos en caso de los móviles que están en el borde de la célula. Así pues, se habla de potencia media transmitida por usuario.

Si se considera un usuario medio con valores promedio de  $f_i$  y  $o_i$  iguales a  $f$  y  $o$  respectivamente, se tendrá el siguiente valor medio para la carga  $f_{\min}$ :

$$\Phi_{\min} = \frac{f - o}{\beta(k + 1 - 0)} \quad (4.58)$$

y el número máximo de usuarios será:

$$M_{\max} = \frac{1}{\Phi_{\min}} \quad (4.59)$$

Para la evaluación de la capacidad Erlang, se toman como base las ecuaciones obtenidas hasta ahora y se calcula la probabilidad de desbordamiento en una célula. Como reconoce Viterbi, la distribución de la variable aleatoria que se presenta para el enlace descendente no puede expresarse analíticamente, se realizan simulaciones en distintos escenarios. Se generan posiciones aleatorias del usuario  $i$ -ésimo dentro de su célula con una distribución uniforme. Como resultado, se generan histogramas de la distribución de la variable aleatoria que se emplea para generar curvas de capacidad (tráfico de Erlangs) en función de la probabilidad de desbordamiento.

#### 4.7. Terminales y tarjetas USIM

Los terminales móviles constituyen uno de los aspectos más importantes de la cadena de comunicación a través de la red UMTS. Los terminales móviles UMTS se dividen en dos dominios: el dominio de equipo móvil (ME) y de módulo de identidad de usuario de UMTS (USIM). El primero es el encargado de realizar la transmisión y recepción de la señal radio, así como de algunas aplicaciones. Dentro de él se distinguen la terminación móvil (MT), donde se efectúan las operaciones relativas a la interfaz radio, y el equipo terminal TE, en el que residen las aplicaciones extremo a extremo.

El módulo USIM es una tarjeta extraíble que contiene todos los datos y procedimientos para identificar al usuario frente a la red, sin ambigüedades y con seguridad. El hecho de su separación del ME supone la independencia de la identificación del usuario, con respecto al equipo móvil empleado. En este sentido, UMTS continuará con la misma idea utilizada en GSM, basada en la personalización de los terminales mediante la inserción de la oportuna tarjeta identificadora.

Los terminales UMTS adoptarán un rango muy versátil de configuraciones. Así los habrá centrados en la prestación de voz, otros enfocados a la transmisión de datos, diseñados en forma de tarjeta PCMCIA, agenda electrónica asistente digital personal PDA. Otros estarán pensados para aplicaciones multimedia, con lo que dispondrán de pantallas de

mayor tamaño y diseños que faciliten el manejo de las aplicaciones de este tipo (con teclados, cámaras de vídeo, etc.)

Los terminales están previstos para ser multimodo, capaces de trabajar tanto en redes GSM como UMTS, además de incorporar interfaces con sistemas de conexión de corto alcance y alta velocidad, como Bluetooth.

Cabe mencionar que el tipo de terminal utilizado para 2G es inadecuado para la 3G, pero los terminales 3G sí serán compatibles con redes 2G. Las características de estos terminales son las siguientes:

- Soporte de Acceso Radio: W-CDMA (FDD ó TDD)
- Posibilidad de modo dual: UMTS-GSM.
- Modo CS, PS, CS/PS, comunicación voz-datos simultánea.
- Soporte de vídeo (Equipo E/S, codificadores de vídeo: H.261, H.263, MPEG-4).
- Soporte de audio (Equipo E/S, codificadores de audio: AMR, G.723.1)
- Soporte de sistemas de posicionamiento.
- Sistema Operativo: PALM OS, EPOC, Windows CE.
- Soporte de tecnologías: J2ME, WAP, Bluetooth, tarjetas de memoria (para guardar archivos, juegos, MP3, etc.).

Los distintos fabricantes de "chipsets" para comunicaciones móviles tienen pensado comercializar los nuevos circuitos integrados para 3G a principios del 2003, existiendo en estos momentos algunos prototipos con las características mencionadas anteriormente. La empresa Qualcomm ha sacado al mercado varios circuitos que realizan la conversión RF a banda base, son multimodo y multibanda (2G y 3G) que permite el verdadero roaming global inalámbrico (Tabla 4.19). En la Figura 4.25 se observa el diagrama eléctrico de un terminal de UMTS con uno de los Módems Móviles de Qualcomm.

	IS-PSA/B	CDMA2000 1X	CDMA2000 1x EV-DO	WCDMA	GSM/GPRS
MSM6000	✓	✓			
MSM6050	✓	✓			
MSM6100	✓	✓			
MSM6200				✓	✓
MSM6300	✓	✓			✓
MSM6500	✓	✓	✓		✓
MSM6600	✓	✓		✓	✓

Tabla 4.19 Circuitos Integrados de Qualcomm para 3G

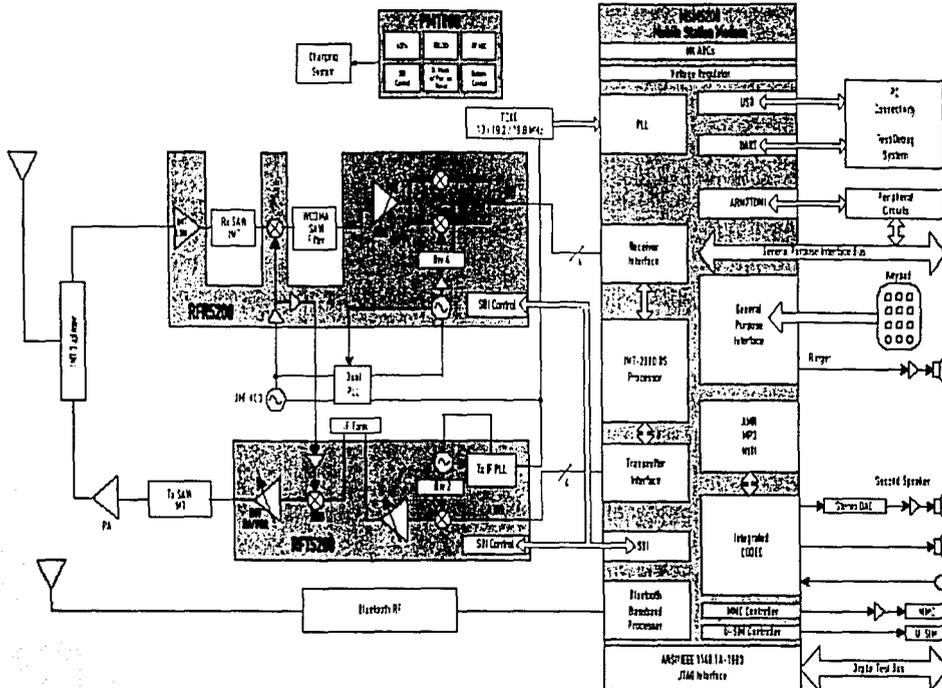


Figura 4.25 Diagrama eléctrico de un terminal móvil para UMTS de Qualcomm (Fuente: www.qualcomm.com)



**Figura 4.26** *Aspecto externo de un terminal UMTS (Fuente: [www.motorola.com](http://www.motorola.com)).*

#### 4.7.1. Vídeo y Audio

Se tratan de equipos E/S tanto para audio como vídeo; por ejemplo, para el caso de un videoteléfono, este dispositivo consistiría de una videocámara y una pantalla haciendo las veces de monitor. Para lograr el grado de compresión requerido, todas las codificaciones de vídeo que pueden ser empleadas como codificaciones multimedia en 3GPP, combinan técnicas de disminución de redundancia espacial y temporal con objeto de minimizar la anchura de banda necesaria para transmitir la señal de vídeo con la tasa adecuada. La redundancia espacial puede reducirse cambiando el dominio de la señal de entrada de tiempo a frecuencia mediante una conversión DCT (Discrete Cosine Transformation). La reducción temporal se logra por comparación de la trama actual con la trama previamente transmitida y la estimación de una serie de vectores que, aplicados a diversas áreas de la escena y por combinación con la trama anterior, permiten al receptor recuperar la trama original. Dado que este procedimiento no es perfecto, junto a los vectores transmitidos se incluye información con la estimación del error.

El modo de codificación H.261 soporta imágenes en formato CIF (Common Intermediate Format) y QCIF (Quarter CIF). Proporciona una buena calidad de vídeo a velocidades iguales o superiores a 64 kbit/s. Emplea codificación de canal BCH y como método de corrección de errores FEC. El formato de vídeo CIF es empleado en sistemas de videoconferencia y soporta con facilidad el envío de señales PAL y NTSC. El H.263 es una extensión del anterior que permite el tratamiento de entradas en formato sub-QCIF, 4CIF y 16CIF.

MPEG-4 es un estándar desarrollado por MPEG (Moving Pictures Experts Group), en respuesta a los crecientes requerimientos tecnológicos y a la clara convergencia de las industrias de las telecomunicaciones: televisión, internet y computación. Hoy en día, los

formatos Quicktime, RealVideo y Windows Media tienen acaparado el mercado de la transmisión de video y audio por internet. Sin embargo, MPEG-4 es un formato mucho más eficiente y abre una gran gama de posibilidades. MPEG-4 fue diseñado desde su inicio para satisfacer necesidades de accesibilidad a información audiovisual en medios propensos a tener gran cantidad de errores (redes). Además, MPEG-4 fue diseñado, también, para lograr funciones interactivas. Permite comunicaciones para interactuar con los espectadores que utilizan las nuevas soluciones digitales. MPEG-4 estará presente en una amplia gama de tecnologías, desde las tradicionales, hasta internet, aplicaciones de banda ancha y los nuevos dispositivos móviles inalámbricos.

MPEG-4 presenta una eficiente compresión para el almacenamiento y la transmisión de datos audiovisuales respetando calidad de video y audio. Utiliza muy bajas tasas de transmisión bitrates (debajo de los 64 kbits). Permite la codificación y compresión de objetos individuales como 2D y 3D, y textos y gráficas, contrariamente a MPEG 1 y 2 que utilizan compresión por bloques (frame-based). MPEG-4 está probado ya en televisión digital, aplicaciones interactivas (contenido sintético), multimedia interactiva, internet y distribución y acceso de datos, entre otras tecnologías. MPEG-4 proveerá el fácil y eficiente acceso a bases de datos que soporten contenido audiovisual.

Con MPEG-4 se puede realizar una producción que combine escenarios naturales con objetos, textos o gráficos. Tiene la habilidad de codificar y manipular datos de audio y video naturales y sintéticos. Se utilizará en películas o programas digitales en los que será posible ver desde distintos puntos de vista imágenes y sonidos.

Como MPEG 4 presenta mejoras notables en la eficiencia de codificación, hace posible la transmisión con calidad en canales con ancho de banda limitado, y puede realizar un eficaz almacenamiento en dispositivos digitales o limitados, como los discos magnéticos. Con MPEG-4 se podrán codificar pistas (tracks) de sonido e imágenes de escenas con alto nivel de movimiento. Para aplicaciones que utilizan video estereoscópico (como las proyecciones en tercera dimensión), el MPEG-4 puede explotar la redundancia y que el usuario tenga la posibilidad de múltiples vistas o puntos de audición de la misma escena (no es lo que hace SKY Interactive). Será posible obtener codificaciones unidas compatibles con video y audio analógico y digital (no estereoscópico). Estas características se aplican a entretenimiento interactivo como juegos de realidad virtual, películas de tres dimensiones y teleconferencias (que cada día son más comunes). Importante es destacar que MPEG-4 es un formato que puede ser utilizado por cualquier fabricante, aunque debe vencer a la competencia que ya existe hoy. La tendencia es que en Internet exista la posibilidad verdadera de realizar producciones sofisticadas que sean atractivas para los cibernautas como lo son hoy el cine y televisión, más la siempre interesante ventaja de la interactividad. MPEG 4 permitirá el acceso desde redes cableadas y no cableadas. Y podrá transmitir información de base de datos con terminales móviles y contar con almacenamiento de contenido audiovisual de datos en una estación remota.

En cuestión de audio, el AMR (Adaptive Multi-Rate) hace referencia a un modo de codificación de voz estandarizado por el ETSI para GSM y adoptado por el 3GPP como el sistema de codificación que permite mejor calidad de voz y aprovechamiento de recursos

radio en conexiones por conmutación de circuitos. Junto con el Full Rate, el Enhanced Full Rate y el Half Rate, AMR es uno de los cuatro tipos de codificación posibles para los canales de voz en GSM.

Las principales diferencias entre los distintos modos de codificación radican en el codificador de voz; dependiendo del modo empleado se introduce más o menos redundancia en los datos transmitidos, con los que se consigue una mayor protección de los mismos a costa de incrementar la tasa de transmisión y reducir la capacidad efectiva de la red. En AMR la tasa de redundancia introducida, es decir, el modo de codificación empleado, se basa en estimaciones de la calidad del canal realizadas por la red y el terminal móvil.

#### 4.8. Servicios y Aplicaciones de UMTS

Existen dos conceptos importantes de mencionar en este nuevo escenario de servicios móviles multimedia. Uno de ellos son las llamadas API's (Application Program Interfaces). Consisten en la utilización de un lenguaje de programación con el cual terceras entidades podrán desarrollar servicios para una red que los soporte, sin necesidad de conocer los detalles de funcionamiento de ésta. El otro concepto importante es el de VHE (Virtual Home Environment). Básicamente consiste en ofrecer a los usuarios un entorno de interacción con los servicios UMTS, de características homogéneas y constantes, independientemente de la red en la que se encuentre el abonado. Esto supone que éste conserve su perfil personal de servicios, su interfaz de acceso y edición de éstos, así como el repertorio se mantenga constante, sea cual sea el tipo de red de acceso utilizada.

En cuanto a los servicios hay que considerar tres condiciones indispensables, que son:

- a) **Requisitos de acceso:** Es decir, se ha de acceder al mayor número posible de servicios de las redes fijas, así como poder usar el servicio por satélite, así como poder funcionar en un medio aéreo o marítimo. Hemos de poder acceder tanto a líneas fijas, móviles y por satélite, todo ello de forma transparente al usuario.
- b) **Requisitos de seguridad:** Se trata de poder mantener comunicaciones cifradas, es decir sólo las personas autorizadas podrán descifrar el mensaje. También interesa que un usuario pueda ocultar su identidad cuando accede a la red y en caso de un usuario móvil que puede ocultar su localización.
- c) **Requisitos de calidad:** Evidentemente la calidad de sistema IMT-2000 debe ser superior a los sistemas de telefonía de segunda generación.

Los servicios efectivos obtenidos por un usuario dependerán de la capacidad de su terminal, del tipo de abono que haya suscrito y de la gama de servicios que ofrezca su operador de red. Los servicios que requieran velocidades de transmisión elevadas se prestarán prioritariamente en zonas de gran actividad, por ejemplo en centros comerciales. Los servicios en UMTS los podemos clasificar en: servicios móviles, servicios interactivos y servicios de distribución. El tipo de servicios móviles se describe en la Tabla 4.20

Servicio móvil	Características
Movilidad del terminal.	Serán los servicios relacionados directamente con la movilidad del usuario, incluida la del terminal. Por ejemplo la localización del terminal para las personas autorizadas. Siendo el tipo de información: voz, audio, texto, imagen, vídeo o señalización. Todo ello nos serviría por ejemplo para localizar llamadas de socorro, o para localizar al usuario con cualquier otro fin. También tendría su utilidad para la navegación de vehículos, control de flotas etc.
Movilidad personal.	Se ha de permitir al usuario que no tenga por que estar registrado a ningún terminal especial cuando este esperando acceder a su servicio. El usuario tendrá el mismo interfaz y entorno de servicio a pesar de la localización.
Movilidad del servicio.	El usuario ha de poder acceder a su servicio personalizado independiente del terminal o de la red que nos este dando el servicio.

Tabla 4.20 Servicios móviles.

Los servicios interactivos los subdividiremos en tres grupos:

- Servicios conversacionales: Permiten la comunicación bidireccional, de extremo a extremo, en tiempo real entre usuarios o entre un usuario y una base de datos.
- Servicios de mensajería: Ofrecen comunicaciones entre usuarios individuales a través de unidades con funciones de almacenamiento y retransmisión, buzón electrónico y/o tratamiento de mensajes.
- Servicios de consulta y almacenamiento: Permiten la recuperación y el archivo de informaciones en centros de información.

Los servicios de distribución proporcionan un flujo continuo de información que se distribuye desde una fuente central a un número ilimitado de receptores autorizados. El usuario podrá o no controlar la presentación. La información puede ser difundida a todos los receptores, a un conjunto limitado de ellos a uno sólo.

A modo de resumen, enumeramos a continuación algunas de las novedades que la tecnología UMTS aportará a nuestras vidas en sus facetas personal y profesional.

- Acceso a Internet a alta velocidad: posibilidad de utilizar Internet con la interfaz a la que hoy estamos acostumbrados en ordenadores de sobremesa y con velocidades sustancialmente mayores que harán de esta herramienta un servicio realmente eficaz.
- Servicios de comunicación: correo electrónico con posibilidad de incluir imágenes, gráficos, hojas de cálculo e incluso imágenes de vídeo en tiempo real, chats, foros y servicios de mensajería unificada.
- Servicios financieros: realización de todo tipo de trámites bancarios y compra de valores, con gran riqueza de información gráfica que facilite su utilización.
- Servicios de ocio: quizás una de las aplicaciones de mayor éxito de esta tecnología ya que permitirán disfrutar de imágenes de vídeo, juegos interactivos compartidos en red con otros jugadores, música de alta calidad o también, enviar y recibir imágenes digitales de gran calidad captadas desde el propio terminal móvil.

- Realización de trámites administrativos: peticiones, declaraciones, consultas y en general todo tipo de trámites que hoy nos obligan a desplazarnos a oficinas públicas.
- Servicios de salud y emergencia: basados en la localización automática de la persona o vehículo y posibilidad de monitorización remota.
- Comercio electrónico: con posibilidades adicionales que permitan ver por ejemplo un extracto de película o un catálogo de productos con imágenes reales.
- Servicios de máquina a máquina: como lectura automática de contadores a distancia, averías de vehículos y autochequeo de equipos.
- Servicios de domótica: como la utilización a distancia de equipos electrodomésticos y alarmas.
- Comunicación personal: con posibilidades añadidas de videotelefonía y videoconferencia.
- Acceso a los sistemas corporativos y aplicaciones: sin limitaciones, con la misma riqueza de información y a una velocidad superior a la que actualmente podemos disfrutar desde las propias oficinas de la empresa.
- Televisión Portátil, juegos interactivos.

La sistemas de tercera generación soportarán diferentes grados en la calidad de servicio. Este hecho nace debido a que los recursos de radio son limitados. Es pues una forma de maximizar el rendimiento de los recursos que son limitados. La QoS del UMTS será compatible con la QoS del Internet.

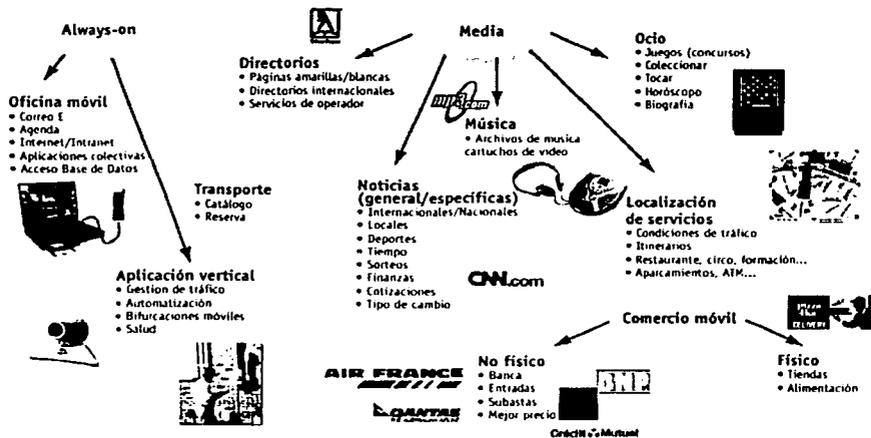


Figura 4.27 Servicios en UMTS.

#### 4.9 Cálculo de Enlaces en UMTS.

El procedimiento que a continuación se va a describir está basado en datos obtenidos del UMTS forum [30]. Se presenta un método general a seguir para cálculo de enlaces en UMTS y posteriormente una aplicación práctica que consiste en la obtención de los cálculos de enlace correspondientes para distintos servicios de UMTS (voz, datos a 64 kb/s, y datos a 384 kb/s) en 3 entornos para macrocélulas: urbano, suburbano-vehicular y rural. Los resultados van a ser: el radio de la célula y una aproximación al número de usuarios que se podrían tener con esos 3 servicios dentro de la misma. Para ello se realizarán los cálculos de enlace por medio de una hoja de cálculo y se generará un programa en Matlab del modelo de propagación empleado que proporcionará varios datos y gráficas útiles correspondientes al comportamiento de las variables utilizadas en el cálculo de enlace.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1) Como primer paso se definen los parámetros básicos en los enlaces en UMTS y que representan un valor conocido constante al realizar los cálculos. Se pueden observar en la Tabla 4.21

Parámetro	Valor en UMTS
<b>Tasa de velocidad binaria (<math>R</math>):</b> Es la tasa de transmisión del codificador, en bits por segundo. Los codificadores de voz pueden reducir su tasa binaria en los periodos de silencio. De esta forma, mejoran su ganancia de procesado, por lo que la potencia de transmisión necesaria es menor.	8 kb/s ó 12 kb/s para voz; 64 kb/s, 144 kb/s, 384 kb/s y 2048 kb/s para datos.
<b>Potencia de transmisión (<math>P_{TX}</math>):</b> Para el enlace ascendente, es la potencia nominal de los equipos móviles. Para en enlace descendente, es la potencia total disponible en el Nodo B	Los equipos móviles tienen una potencia máxima de 21 dBm (125 mW). La potencia máxima para coberturas macrocelulares es 43 dBm. Para micro y picocélulas es 30 dBm.
<b>Factor de actividad vocal (<math>\alpha</math>):</b> Dato estadístico que depende del comportamiento humano. En una conversación normal se considera que la señal está activa durante el 35 al 50% del tiempo.	Está comprendido entre 0.4 y 0.7 para voz. En servicios de datos con conmutación de circuitos el factor de actividad es 1, ya que la utilización del canal es continua.
<b>Ganancias de las antenas de transmisión y recepción (<math>G_{TX}</math> y <math>G_{RX}</math>)</b>	Ganancia de la antena del terminal móvil: 0 dBi, tanto en transmisión como en recepción. En el caso del Nodo B, depende del tipo de antenas utilizadas. Un valor típico es 18 dBi.

<b>Pérdidas en los cables y conectores en transmisión y recepción (<math>L_{\text{cables TX y RX}}</math>)</b>	En el Nodo B dependen de la longitud y tipo de los cables. Normalmente se toman de 3 dB. En el terminal móvil se suponen iguales a 0 dB.
<b>Factor de ruido del receptor (<math>NF</math>)</b>	Los receptores de los Nodos B utilizan amplificadores de bajo ruido con valores típicos del factor de ruido de 2 dB. Para los receptores de los terminales móviles este valor es de 8 dB.
<b>Carga de la célula <math>X</math> (%):</b>	Generalmente está comprendido entre el 50 y el 65%.
<b>Factor de ortogonalidad (<math>O</math>):</b> En el enlace descendente los códigos utilizados para ensanchar el espectro de la señal de cada canal son ortogonales. Sin embargo, se producen imperfecciones en la ortogonalidad entre los códigos de un mismo sector, debido a la propagación multirrayecto	Un valor típico de reducción de la capacidad de la célula debida a la pérdida de ortogonalidad, es de 0.4. En el enlace ascendente los códigos no son ortogonales, por lo que este factor vale 0.
<b>Relación <math>E_b/N_0</math> objetivo:</b> El parámetro $E_b/N_0$ está muy relacionado con la calidad de los canales de tráfico y determina la capacidad y cobertura de las células UMTS. Los valores objetivo que se utilizan en el diseño de redes son los que garantizan el cumplimiento de los requisitos de calidad ( $BER < 10^{-3}$ para voz y $BER < 10^{-6}$ para datos)	Los valores de $E_b/N_0$ objetivo utilizados para distintos servicios, entornos y velocidades del móvil, se recogen en la Tabla 4.22, donde UL y DL son los valores para el enlace ascendente y descendente, respectivamente. LCD y UDD indican servicios de datos con conmutación de circuitos y con conmutación de paquetes, respectivamente. El tipo de distinción A o B es considerando una menor difracción de obstáculos para el tipo A y B un mayor efecto de dispersión.
<b>Desviación típica del control de potencia (<math>\sigma_c</math>):</b> el control de potencia sirve para asegurar que el Nodo B reciba a todos los usuarios de su área de cobertura con el mismo nivel de potencia, cualquiera que sea la distancia de estos usuarios a la estación. Este nivel de potencia debe ser el mínimo necesario para mantener el objetivo de calidad de enlace. Niveles de potencia mayores añaden interferencia innecesaria al enlace WCDMA y, por tanto, reducen la capacidad.	Un valor usual para este parámetro es 2,4dB.

<p><b>Ganancia por traspaso con continuidad SHO (Soft Handover):</b> El sistema WCDMA soporta diferentes tipos de traspaso; más usual es el conocido como traspaso con continuidad. En el enlace descendente las señales se combinan para dar lugar a una señal compuesta de mayor calidad. En el enlace ascendente, la señal transmitida por el móvil se recibe en dos estaciones de base que la demodulan por separado y envían las tramas al controlador de estaciones de base, RNC, donde se realiza su combinación. Esto proporciona una ganancia, conocida como macrodiversidad.</p>	<p>Un valor típico para este parámetro es de 2 dB</p>
<p><b>Ganancia por diversidad:</b> La diversidad es un procedimiento mediante el cual se obtienen copias de la señal parecidas, de tal forma que se selecciona aquella que sufre menor desvanecimiento por multirrayecto.</p>	<p>Un valor típico para este parámetro es de 3 dB para el enlace ascendente y 0 dB para el descendente.</p>
<p><b>Pérdidas adicionales:</b> se incluyen aquí las pérdidas por penetración en edificios y las asociadas a la proximidad del terminal móvil al cuerpo del usuario.</p>	<p>Los valores usuales de pérdidas de penetración son: 15dB para zonas urbanas, 10dB para el interior de vehículos y 5dB para áreas rurales. Las pérdidas debidas al cuerpo del usuario se estiman en 2 o 3dB.</p>
<p><b>Margen log-normal:</b> Para asegurar la cobertura en un <math>L\%</math> de las ubicaciones durante un <math>T\%</math> del tiempo debe añadirse un margen. Como se supone que el desvanecimiento lento espacio-temporal tiene una variación log-normal, el margen <math>M_{LN}</math> es:</p> $M_{LN} = \left\{ [k(L) \cdot \sigma_L]^2 + [k(T) \sigma_T]^2 \right\}^{1/2} \quad (4.60)$ <p>Generalmente suele despreciarse la variación temporal, por lo que</p> $M_{LN} = k(L) \sigma_L \quad (4.61)$	<p><math>k(L)</math> se obtiene a partir de la distribución gaussiana inversa. Para el valor <math>L=90\%</math> que corresponde a una cobertura del 90% de las ubicaciones, resulta <math>k(L) = 1,28</math>; <math>\sigma_L</math> es la desviación típica de la distribución log-normal de la variabilidad de la atenuación de propagación (o de la potencia recibida) con las ubicaciones. Para la banda de 2000 MHz de UMTS, suele tomarse <math>\sigma_L=8\text{dB}</math>, por lo cual se tiene: <math>M_{LN}=10.2 \text{ dB}</math>.</p>

**Tabla 4.21** *Parámetros básicos en los enlaces UMTS.*

Servicio	Entorno y Velocidad	$E_b/N_0$ (dB) UL/DL
Voz 8 kbit/s Actividad: 50% BER= $10^{-3}$ Entrelazado 10 ms	Interior A 3 km/h	4.8/6.7
	Interior B 3 km/h	5.2/6.7
	Peatonal A 3 km/h	4.8/6.8
	Peatonal B 3 km/h	6.1/7.7
	Vehicular A 120 km/h	6.4/8.8
Datos LCD 64 BER= $10^{-6}$	Interior A 3 km/h	2.3/1.9
	Peatonal A 3 km/h	2.4/1.9
	Vehicular A 120 km/h	3.8/3.7
Datos LCD 144 BER= $10^{-6}$	Vehicular A 120 km/h	3.1/2.5
Datos LCD 384 BER= $10^{-6}$	Peatonal A 3 km/h	1.3/1.1
Datos LCD 2048 BER= $10^{-6}$	Interior A 3 km/h	1.8/1.6
Datos UDD 64 BER= $10^{-6}$	Interior A 3 km/h	1.5/1.2
	Peatonal A 3 km/h	1.5/1.2
	Vehicular A 120 km/h	3.8/3.0
Datos UDD 144 BER= $10^{-6}$	Vehicular A 120 km/h	3.0/2.9
Datos UDD 384 BER= $10^{-6}$	Peatonal A 3 km/h	0.4/0.1

Tabla 4.22 Valores de  $E_b/N_0$  (dB) para diferentes servicios

2) Con base en los valores típicos de los parámetros anteriores se calculan los parámetros intermedios que sirven para calcular la atenuación compensable o máxima atenuación del entorno (urbano, rural, vehicular). Los parámetros que deben calcularse, en el orden propuesto, son los siguientes:

- **Potencia en el borde:** Este es un valor que se emplea en el enlace descendente y supone que si el modelo de propagación empleado tiene un exponente de atenuación

con la distancia, el valor de la potencia nominal del Nodo B en transmisión disminuye a lo largo de la distancia del móvil al mismo. Mientras mayor sea el diámetro de la célula menor será la Potencia recibida por el equipo móvil en el borde. Es por esto que el ajuste de potencia en el borde para el enlace descendente se calcula típicamente:

$$P_{borde} = P_{tx} * C \quad (4.62)$$

El valor de la constante  $C$  es 0.65 para voz, 0.75 para datos a 64 kb/s, 0.8 para datos a 144 kb/s y 0.85 para datos a 0.85 kb/s

- **Margen de interferencia:** necesario para compensar las interferencias producidas tanto dentro de la célula, entre distintos usuarios, como por los usuarios de otras células. Se calcula mediante la expresión:

$$\text{Margen de Interferencia} = -10 \log (1-X) \quad (4.63)$$

donde  $X$  es el factor de carga de la célula, en tanto por uno.

- **Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE):** Potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia que radía una antena, en una dirección determinada. Para cálculos de enlace en UMTS se determina de la siguiente manera:

$$PIRE = P_{borde} + G_{ix} - L_{cables}TX. \quad (4.64)$$

- **Densidad de Ruido:** Es la cantidad de ruido térmico del enlace más el factor de ruido en la recepción:

$$\text{Densidad de Ruido: } -174 + NF \quad (4.65)$$

- **Valor  $E_b/N_0$  efectivo:** Es el valor de  $E_b/N_0$  necesario en el receptor para cumplir los requisitos de calidad especificados. Este valor tiene en cuenta las imperfecciones del control de potencia a través de la desviación típica del control. Se calcula como sigue:

$$E_b/N_0 \text{ efectiva (dB)} = E_b/N_0 \text{ objetivo (dB)} + 10 \log \sigma_C \quad (4.66)$$

donde  $\sigma_C$  es el error del control de potencia en dB y  $\sigma_C$  viene dado por la ecuación 4.51

- **Sensibilidad de terminales y estaciones de base:** Los estándares elaborados por el ETSI utilizan tipos de entornos radio normalizados, sobre los que se especifica la calidad de servicio que, necesariamente, han de cumplir los equipos (ya sea parte de la infraestructura o terminales). Estos entornos incluyen ámbitos urbanos, rurales y suburbanos, con distintas velocidades de los móviles. De esta manera se han creado tablas para calcular este valor. Sin embargo, es preferible obtener su valor característico para cada enlace por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{Sensibilidad RX} = \text{Densidad de Ruido} + 10\log(R) + \text{Margen de interferencia RX} + \frac{E_b}{N_0} \text{ efectiva} \quad (4.67)$$

3) Con base en los valores obtenidos hasta el momento se calcula la atenuación compensable o máxima pérdida del entorno. Sirve de base para la obtención de la distancia de cobertura. Debe ser similar para el enlace ascendente y para el descendente. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Máxima pérdida del entorno} = \text{PIRE} + G_{RX} - L_{\text{cables}}RX - \text{Sensibilidad del receptor} + \text{Ganancia por SHO} + \text{Ganancia por diversidad} - M_{LN} - \text{Pérdidas de penetración en edificios} - \text{Pérdidas en cuerpo.} \quad (4.68)$$

4) Cálculo de la distancia de cobertura: aplicando algún modelo de predicción de propagación, según el tipo de entorno que proceda, se obtiene la distancia de cobertura para cada uno de los servicios. Se tiene que fijar un valor para la altura de la estación móvil, la altura del Nodo B y la frecuencia del enlace, siendo los valores típicos 1.5 m, 25 m y 2000 MHz respectivamente.

5) Se calcula la cantidad de tráfico que puede cursarse en una célula con un cierto grado de servicio por medio de las ecuaciones 4.47 a 4.52. Este cálculo nos va a servir para verificar que el radio de cobertura corresponde a una Densidad de Tráfico Objetivo, y si no es así ajustarlo. De entre los radios obtenidos con los balances de potencia se elegirá el menor. Para obtener el radio de cobertura en este caso se emplea la siguiente fórmula:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\frac{DTO}{\pi}} * F_{\text{solap}}} \quad (4.69)$$

donde:

R: Radio de cobertura en km.

A: Tráfico/sector (Erlang)

DTO: Densidad de tráfico objetivo (Erlang/km<sup>2</sup>)

F<sub>solap</sub>: Factor de solapamiento.

De los dos radios (balance de potencia y balance de tráfico) se elegirá el menor. Aquí influye un parámetro que ayuda a aumentar el tráfico cursado y es el factor de solapamiento. Así si se tiene un emplazamiento trisectorial, el factor de solapamiento será 3, si es bisectorial 2, pero debido a que los sistemas de antenas no son ideales, la utilización de tres antenas no supone un aumento de tráfico en un factor de tres exactamente, por lo que en muchos casos se tienen decimales.

6) Por último, aplicando las ecuaciones 4.38, 4.39 y 4.44 se puede obtener una aproximación al número de usuarios que podrían utilizar los servicios de voz y datos en

UMTS simultáneamente sin rebasar el factor de carga máximo. Por medio de la ecuación 4-44 se obtiene una ecuación con 2 grados de libertad, por lo que pueden existir varias soluciones.

Para comprender claramente el procedimiento anteriormente propuesto, se propone el siguiente ejemplo de cálculo de enlace en UMTS.

Se quiere planificar una capa de macrocélulas en las zonas urbana y rural de una región determinada, existiendo el desplazamiento vehicular de equipos móviles. Los servicios que se proporcionan en UMTS son voz a 12.2 kb/s, datos a 64 kb/s y datos a 384 kb/s. El propósito es obtener el radio de cobertura que satisfaga la densidad de tráfico objetivo para cada uno de los entornos. Los datos de demanda de tráfico [21] se pueden observar en la Tabla 4.23

Escenario	Densidad de tráfico objetivo (Erlang/Km <sup>2</sup> )			Factor de solapamiento	Factor de carga máximo (X)
	Voz	64 kb/s	384 kb/s		
Urbano	10	1	0.1	2.55	0.65
Vehicular	0.4	0.08	-	1.7	0.65
Rural	0.1	0.05	0.01	2.55	0.65

Tabla 4.23 Datos de demanda de tráfico en una región.

Cabe aclarar que hasta el momento para UMTS se tiene pensado que únicamente existirá servicio de datos en movilidad a 64 kb/s.

Se preparan los balances para los enlaces ascendente y descendente de forma independiente[21]. Es importante conseguir un equilibrio razonable entre ambos enlaces. Cuando los enlaces están equilibrados, se minimizan las interferencias y los problemas de traspasos que se producirían si las coberturas en cada sentido fueran muy diferentes.

### Resultados.

Se comienza a aplicar el procedimiento anterior. Los datos del paso 1 son constantes para todo el enlace, por lo que pueden ir escribiéndose en una tabla. Se ha tomado, en todos los casos, un valor relativamente elevado. Esto es justificado por ser una primera aproximación hasta no tener una mayor fiabilidad de los datos de tráfico previstos.

Los cálculos correspondientes a los pasos 2 y 3 se realizaron por medio de hojas de cálculo, debido a la facilidad de éstas para presentar los datos en tablas. En la Tabla 4.24 se muestran los parámetros típicos y constantes para todos los enlaces.

Los resultados de los balances de enlace para cada uno de los entornos se muestran en las Tablas 4.25 a 4.32:

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
$P_{TX}$ (dBm)	21	42.78
$G_{TX}$ (dBi)	0	18
$L_{cables TX}$ (dB)	0	3
$G_{RX}$ (dBi)	18	0
$L_{cables RX}$ (dB)	3	0
NF RX (dB)	2	8
O (Factor de ortogonalidad)	0	0.4
$\sigma_C$ (dB)	2.5	1.5
Ganancia por SHO (dB)	2	2
Ganancia por diversidad (dB)	3	0
$M_{LN}$ (dB)	10.2	10.2
Pérdidas en cuerpo (dB)	3	3
Frecuencia (MHz)	2000	2000
Altura de la estación base (m)	25	25
Altura de la estación móvil (m)	1.5	1.5

Tabla 4.24 Parámetros típicos que se emplearon en todos los balances de enlace en UMTS.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	12200	12200
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	5.2	6.7
X (%)	0.48	0.65
Pérdidas de penetración en edificios urbanos (dB)	15	15
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	0.4	0.4
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\Phi_C$	1.18020047	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	27.807
PIRE (dBm)	21	42.807
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	2.83996656	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	5.91955784	6.95904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-122.376877	-113.618041
Máxima Pérdida urbana (dB)	135.176877	130.225041

Tabla 4.25 Balance de enlace servicio de voz entorno urbano.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	64000	64000
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	2.3	1.9
X (%)	0.48	0.65
Pérdidas de penetración en edificios urbanos (dB)	15	15
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	1	1
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.16496922	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	32.085
PIRE (dBm)	21	47.085
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	2.83996656	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	2.96314451	2.15904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-118.135089	-111.21984
Máxima Pérdida urbana (dB)	131.935089	133.10484

Tabla 4.26 Balance de enlace servicio de datos a 64 kb/s entorno urbano.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	384000	384000
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	1.3	1.1
X (%)	0.48	0.65
Pérdidas de penetración en edificios urbanos (dB)	15	15
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	1	1
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.16496922	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	36.363
PIRE (dBm)	21	51.363
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	2.83996656	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	1.96314451	1.35904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-111.353577	-104.238327
Máxima Pérdida urbana (dB)	125.153577	130.401327

Tabla 4.27 Balance de enlace servicio de datos a 384 kb/s entorno urbano.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	12200	12200
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	6.4	8.8
X (%)	0.65	0.65
Pérdidas de penetración en edificios urbanos (dB)	10	10
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	0.4	0.4
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.18020047	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	27.807
PIRE (dBm)	21	42.807
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	4.55931956	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	7.11955784	9.05904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-119.457524	-111.518041
<b>Máxima Pérdida semiurbana vehicular (dB)</b>	<b>137.257524</b>	<b>133.125041</b>

Tabla 4.28 Balance de enlace servicio de voz entorno semiurbano vehicular.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	64000	64000
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	3.8	3.7
X (%)	0.65	0.65
Pérdidas de penetración en edificios urbanos (dB)	10	10
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	1	1
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.16496922	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	32.085
PIRE (dBm)	21	47.085
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	4.55931956	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	4.46314451	3.95904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-114.915736	-109.41984
<b>Máxima Pérdida semiurbana vehicular (dB)</b>	<b>133.715736</b>	<b>136.30484</b>

Tabla 4.29 Balance de enlace servicio de datos a 64 kb/s entorno semiurbano vehicular.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	12200	12200
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	6.1	7.7
X (%)	0.65	0.65
Pérdidas de penetración en edificios (dB)	5	5
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	0.4	0.4
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.18020047	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	27.807
PIRE (dBm)	21	42.807
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	4.55931956	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	6.81955784	7.95904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-119.757524	-112.618041
Máxima Pérdida rural (dB)	142.557524	139.225041

Tabla 4.30 Balance de enlace servicio de voz entorno rural

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	64000	64000
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	2.4	1.9
X (%)	0.65	0.65
Pérdidas de penetración en edificios (dB)	5	5
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	1	1
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.16496922	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	32.085
PIRE (dBm)	21	47.085
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	4.55931956	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	3.06314451	2.15904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-116.315736	-111.21984
Máxima Pérdida rural (dB)	140.115736	143.10484

Tabla 4.31 Balance de enlace servicio de datos a 64 kb/s entorno rural.

Parámetro	Enlace ascendente	Enlace descendente
R (bit/s)	384000	384000
$E_b/N_0$ objetivo (dB)	1.3	1.1
X (%)	0.65	0.65
Pérdidas de penetración en edificios (dB)	5	5
Factor de actividad vocal ( $\alpha$ )	1	1
$\beta$	0.23025851	0.23025851
$\varphi_c$	1.16496922	1.0614611
Potencia en el borde (dBm)	21	36.363
PIRE (dBm)	21	51.363
Densidad de Ruido (dBm)	-172	-166
Margen de Interferencia (dB)	4.55931956	4.55931956
$E_b/N_0$ efectiva (dB)	1.96314451	1.35904082
Sensibilidad receptor (dBm)	-109.634224	-104.238327
Máxima Pérdida rural (dB)	133.434224	140.401327

Tabla 4.32 Balance de enlace servicio de datos a 384 kb/s entorno rural.

Una vez realizados los balances de enlace se procede a elegir el modelo de propagación para el cálculo del radio de cobertura. El modelo de propagación que se va a emplear es el Okumura-Hata con la extensión COST231, el cual fue explicado con anterioridad en el apartado 4.5.1 (Ecuaciones 4.9 a 4.13), debido a que es uno de los modelos más simple y de los mejores en términos de exactitud de las predicciones de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados (en Japón es un estándar en el desarrollo de sistemas móviles). De hecho es el considerado por el UMTS forum como el modelo de propagación para sistemas de 3G. Con respecto a cada uno de los radios, cabe aclarar que para el diseño de la macrocélula, siempre se toma el menor de ellos en el entorno. Se realizó un programa en Matlab (ver Anexo 2) de este modelo y los resultados de los radios de cobertura están en la Tabla 4.33.

	Enlace ascendente (UL)	Enlace descendente (DL)
Entorno Urbano		
Voz	0.9554	0.6944
Datos a 64 kb/s	0.7753	0.8360
Datos a 384 kb/s	0.5009	0.7024
Entorno semiurbano-vehicular		
Voz	2.4086	1.8457
Datos a 64 kb/s	1.9173	2.2653
Entorno rural		
Voz	12.4868	10.0743
Datos a 64 kb/s	10.6693	12.9349
Datos a 384 kb/s	6.9376	10.8674

Tabla 4.33 Radios de cobertura para cada uno de los casos en km.

En las Figuras 4.28 a 4.30 se puede observar como varía el radio de cobertura con respecto a la atenuación para cada uno de los 3 entornos.

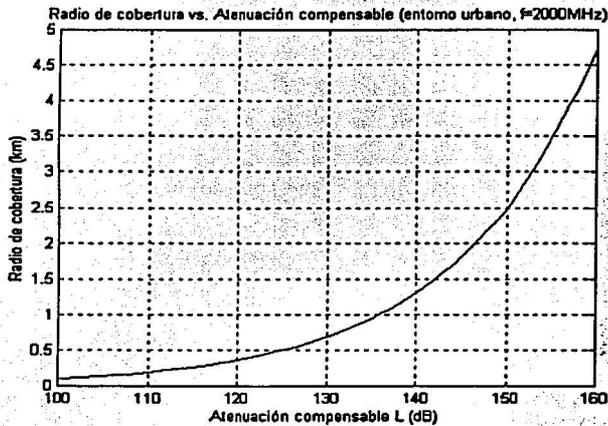


Figura 4.28 Radio de cobertura vs Atenuación compensable (entorno urbano  $f=2000\text{MHz}$ )

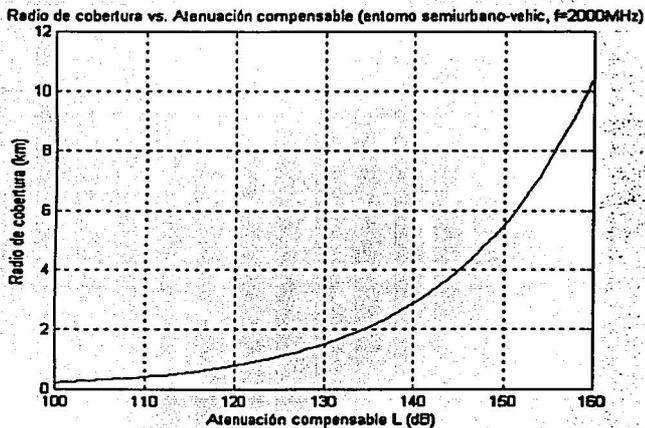
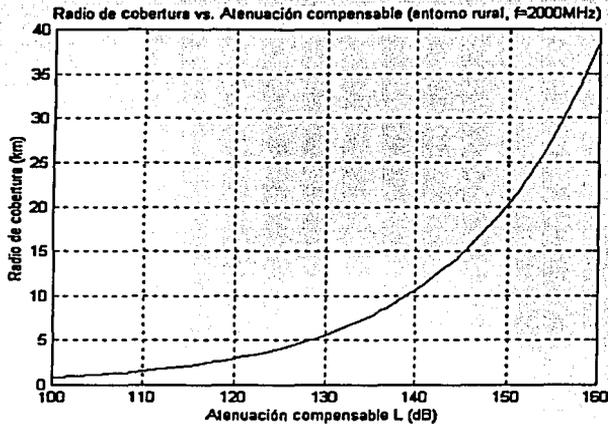


Figura 4.29 Radio de cobertura vs. Atenuación compensable (entorno semiurbano vehicular,  $f=2000\text{MHz}$ )



**Figura 4.30** Radio de cobertura vs. Atenuación compensable (entorno rural,  $f=2000\text{MHz}$ )

Comparando los resultados de las tablas y de las figuras se ve que al aumentar la atenuación compensable también aumenta el radio de cobertura, lo cual es un resultado lógico. Por eso en el diseño se parte de los balances de enlace con ciertos parámetros de potencia y ganancia con los cuáles es posible compensar dicha atenuación. Puede observarse que en ambientes rurales (con baja capacidad), la cobertura proporcionada por una estación base en UMTS es mayor que la proporcionada en ambientes urbanos, donde la capacidad de las células aumenta.

Posteriormente se tiene que realizar un balance de tráfico que compruebe que el menor de los radios obtenidos en el balance de potencia por entorno (Ecuaciones 4.47 a 4.52), satisface la densidad de tráfico objetivo. El radio de cobertura final siempre es el menor ya sea el correspondiente al balance de potencia o al de tráfico. Los resultados obtenidos por medio de una hoja de cálculo se muestran en las Tablas 4.34 a 4.36. Se supone para todos los casos una probabilidad de desbordamiento de 0.02.

Servicio	12.2 kb/s	64 kb/s	384 kb/s
Probabilidad de desbordamiento	0.02	0.02	0.02
Fr (Factor de reutilización)	1.6	1.6	1.6
Función $Q^{-1}$	2.05	2.05	2.05
$\alpha$	0.4	1	1
$K'_o$	8.2	3.26	0.69
B	0.51	1.29	6.08
$\varphi_c$	1.18	1.18	1.06
$F(B, \sigma_c)$	0.35	0.22	0.10

Tráfico (Erlang/sector)	4.46	0.45	0.04
Radio célula balance de potencia (km)	0.5	0.5	0.5
Densidad de tráfico objetivo (Erlang/km <sup>2</sup> )	10.0	1.00	0.1
Radio célula balance de tráfico.	0.6	0.6	0.6
Radio célula	0.5	0.5	0.5
Tráfico/sector (Erlang)	3	0.3	0.03

Tabla 4.34 Balance de tráfico entorno urbano

Servicio	12.2 kb/s	64 kb/s
Probabilidad de desbordamiento	0.02	0.02
Fr (Factor de reutilización)	1.6	1.6
Función Q <sup>-1</sup>	2.05	2.05
$\alpha$	0.4	1
K' <sub>o</sub>	18.96	11.24
B	0.22	0.38
$\varphi_c$	1.18	1.18
F(B, $\sigma_c$ )	0.47	0.39
Tráfico (Erlang/sector)	13.83	2.77
Radio célula balance de potencia (km)	1.8457	1.8457
Densidad de tráfico objetivo (Erlang/km <sup>2</sup> )	0.4	0.08
Radio célula balance de tráfico.	4.32	4.32
Radio célula	1.8457	1.8457
Tráfico/sector (Erlang) Resultado	2.51	0.5

Tabla 4.35 Balance de tráfico entorno semiurbano-vehicular

Servicio	12.2 kb/s	64 kb/s	384 kb/s
Probabilidad de desbordamiento	0.02	0.02	0.02
Fr (Factor de reutilización)	1.6	1.6	1.6
Función Q <sup>-1</sup>	2.05	2.05	2.05
$\alpha$	0.4	1	1
K' <sub>o</sub>	5.48	6.38	1.24
B	0.77	0.66	3.41
$\varphi_c$	1.18	1.18	1.06
F(B, $\sigma_c$ )	0.29	0.31	0.16
Tráfico (Erlang/sector)	2.48	1.24	0.12
Radio célula balance de potencia (km)	6.9376	6.9376	6.9376
Densidad de tráfico objetivo (Erlang/km <sup>2</sup> )	0.10	0.05	0.005
Radio célula balance de tráfico.	4.44	4.44	4.44
Radio célula	4.44	4.44	4.44
Tráfico/sector (Erlang)	2.48	1.24	0.12

Tabla 4.36 Balance de tráfico entorno rural

Como se puede observar, en los dos primeros casos ha sido el radio obtenido por balance de potencia el que ha limitado el alcance. En el caso de servicios en entorno rural, el radio de la célula está limitado por consideraciones de tráfico. Esto es debido al empleo de servicios de datos a 384 kb/s en este tipo de zonas. Si se tuviera la ausencia de este servicio, se podría cargar más las células con los otros servicios, obteniendo alcances sensiblemente mayores. La planificación de las estaciones base se realiza de forma directa a partir de los radios de cobertura calculados en las 3 tablas anteriores

Por otro lado, se ha calculado el número máximo de usuarios a los que se puede dar servicio bajo estas condiciones para transmisión de voz, datos a 64 kb/s y datos a 384 kb/s por entorno (Ecuación 4.28). Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.37. Estos resultados están considerados para cada caso por tipo de servicio, suponiendo que existen cero usuarios de los otros servicios.

Servicio	Número Máximo de Usuarios
<b>Ciudad</b>	
Voz	149.50
Datos a 64 kb/s	23.08
Datos a 384 kb/s	5.63
<b>Semiurbano-vehicular</b>	
Voz	113.66
Datos a 64 kb/s	16.63
<b>Rural</b>	
Voz	121.72
Datos a 64 kb/s	22.57
Datos a 384 kb/s	5.63

Tabla 4.37 Número Máximo de Usuarios por servicio en cada entorno.

Se realizó una estimación del número de usuarios que se podrían tener al mismo tiempo con los 3 tipos de servicios en cada uno de los entornos (Ecuaciones 4.38, 4.39 y 4.44). Si  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$  son los números de usuarios de voz, datos a 64 kb/s y datos a 384 kb/s respectivamente y se supone un factor de carga máximo  $X=0.65$ , se forman las siguientes ecuaciones para cada tipo de entorno:

$$0.65 = 1.6 (0.0042M_1 + 0.0275M_2 + 0.1189M_3) \quad \text{ambiente urbano} \quad (4.70)$$

$$0.65 = 1.6 (0.0055M_1 + 0.0384M_2) \quad \text{ambiente semiurbano-vehicular} \quad (4.71)$$

$$0.65 = 1.6 (0.0052M_1 + 0.0281M_2 + 0.1189M_3) \quad \text{ambiente rural} \quad (4.72)$$

Los valores  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$  se obtienen por consideraciones de tráfico, existiendo varias soluciones. Cabe mencionar que los usuarios de datos a 384 kb/s aportan la mayor contribución al factor de carga total, por lo que en general,  $M_1 > M_2 > M_3$ . Se realizaron gráficas en Matlab para cada una de las ecuaciones 4.70 a 4.72 y se pueden observar en las Figuras 4.31 a 4.33. Así, por ejemplo, para un ambiente urbano con  $M_3 = 2$  usuarios de 384 kb/s y  $M_2 = 5$  usuarios de 64 kb/s, resultan  $M_1 = 9$  usuarios de voz.

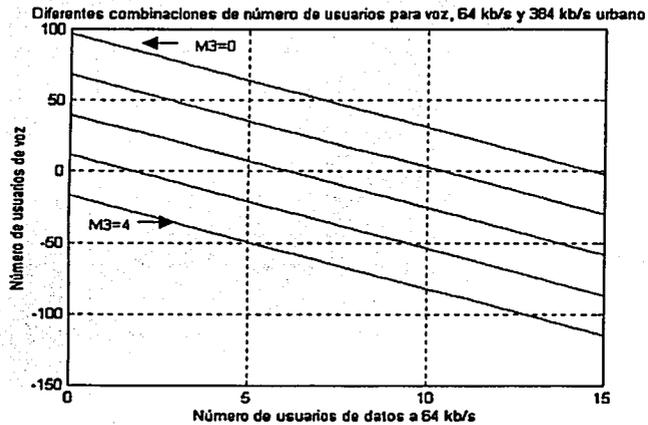


Figura 4.31 Diferentes combinaciones de número de usuarios para servicios de voz, datos a 64 kb/s y datos a 384 kb/s ambiente urbano. Cada una de las curvas corresponde a un valor de usuarios de servicios de datos a 384 kb/s ( $M3$ ),

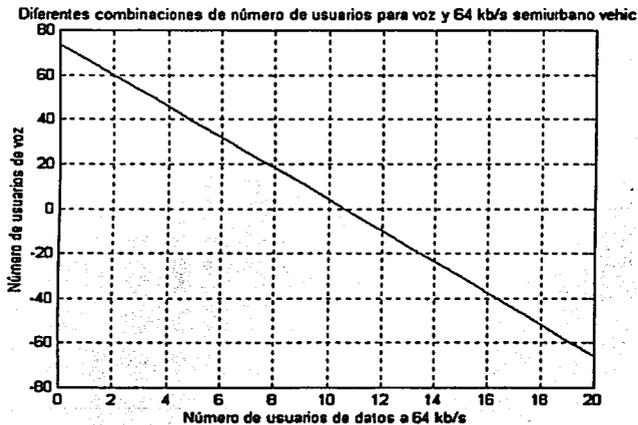


Figura 4.32 Diferentes combinaciones de número de usuarios para servicios de voz y datos a 64 kb/s ambiente semiurbano vehicular.

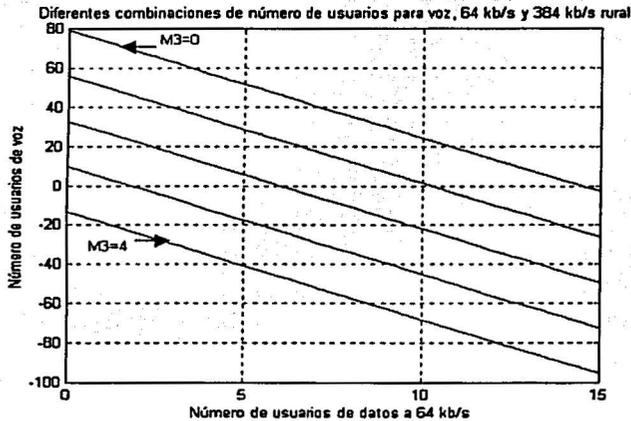


Figura 4.33 Diferentes combinaciones de número de usuarios para servicios de voz, datos a 64 kb/s y datos a 384 kb/s ambiente rural.

Para complementar el análisis de los cálculos de enlace en UMTS se realizaron las gráficas que describen el comportamiento de diferentes variables en los mismos. En la Figura 4.34 se puede observar como aumenta el margen de interferencia con el factor de carga, lo cual se traduce en que al aumentar la carga de la célula aumenta la interferencia y disminuye la atenuación compensable, por lo que también disminuye el radio de cobertura.

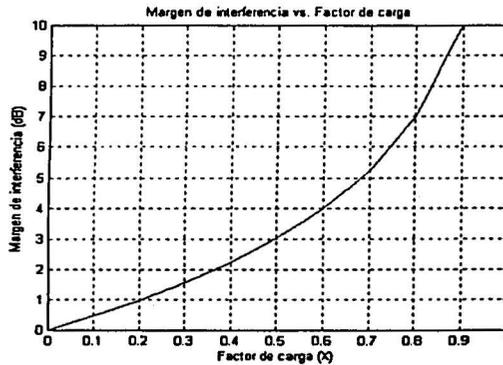
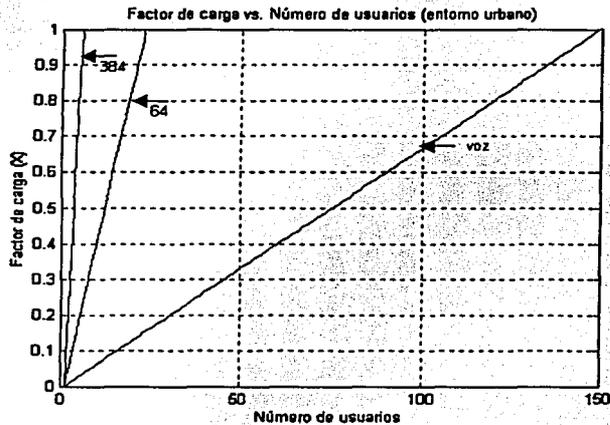
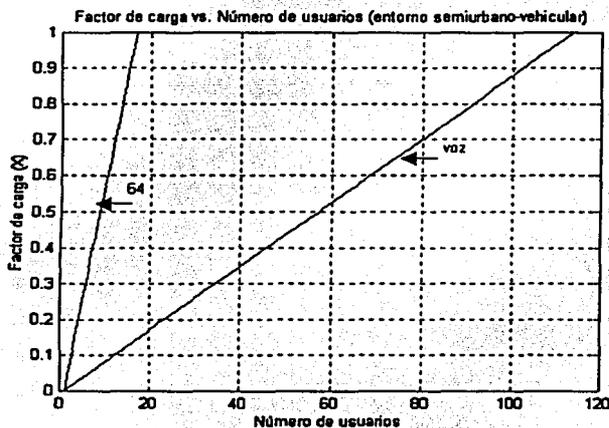


Figura 4.34 Margen de Interferencia vs. Factor de Carga.

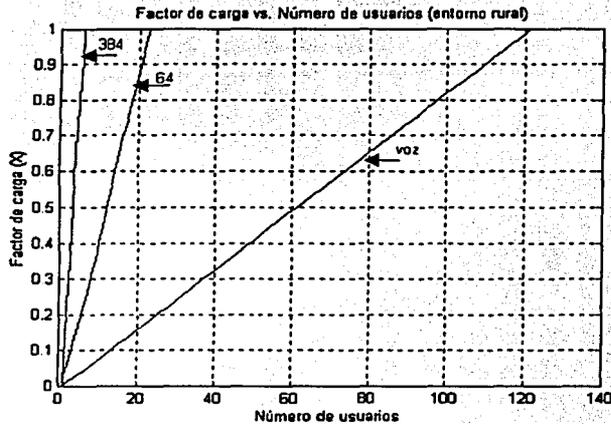
En las Figuras 4.35 a 4.37 se puede observar como aumenta el factor de carga al aumentar el número de usuarios en la célula para cada uno de los servicios descritos



**Figura 4.35** Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno urbano)

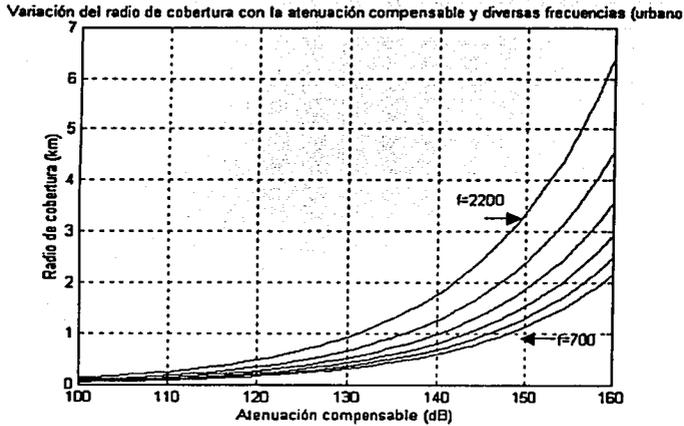


**Figura 4.36** Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno semiurbano vehicular)

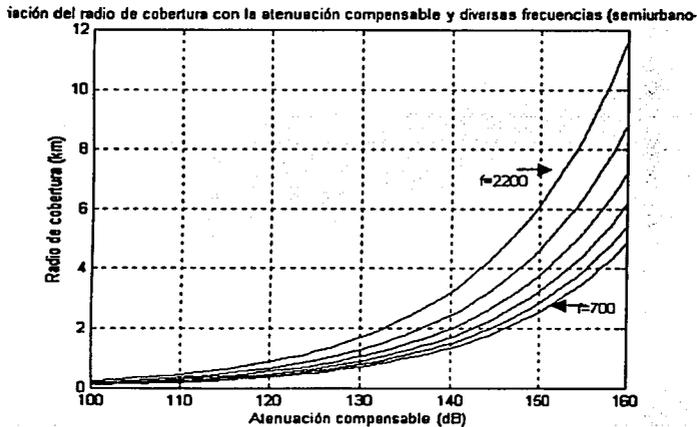


**Figura 4.37** Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno semiurbano vehicular)

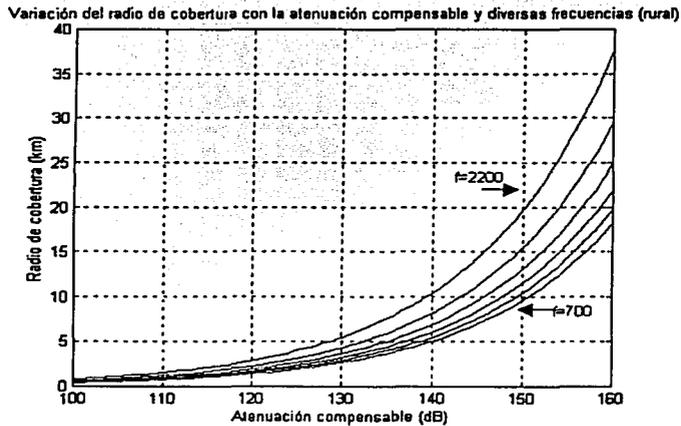
Por último, se obtuvieron las gráficas correspondientes al Modelo de Propagación empleado (Hata-COST231) para un caso general con diferentes alturas de la estación base y diferentes frecuencias. Las Figuras 4.38 a 4.40 muestran el comportamiento de la distancia de cobertura contra la atenuación para diferentes frecuencias y en los 3 ambientes. Las Figuras 4.41 a 4.43 muestran ese mismo comportamiento pero ahora variando la altura de la antena de la estación base. La altura de la estación móvil siempre se consideró de 1.5 m.



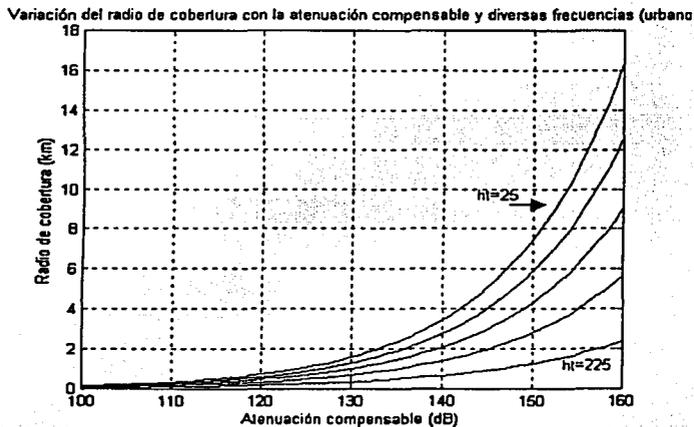
**Figura 4.38** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente urbano para diversas frecuencias (cada una de las curvas corresponde a una frecuencia variando desde 700 MHz hasta 2200 MHz cada 500 MHz).



**Figura 4.39** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente semiurbano vehicular para diversas frecuencias (cada una de las curvas corresponde a una frecuencia variando desde 700 MHz hasta 2000 MHz).

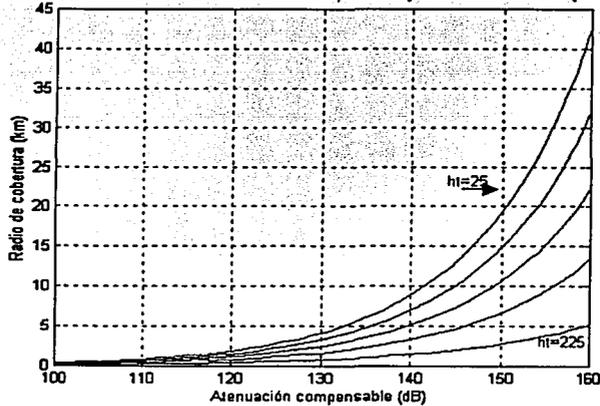


**Figura 4.40** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente rural para diversas frecuencias (cada una de las curvas corresponde a una frecuencia variando desde 700 MHz hasta 2000 MHz).



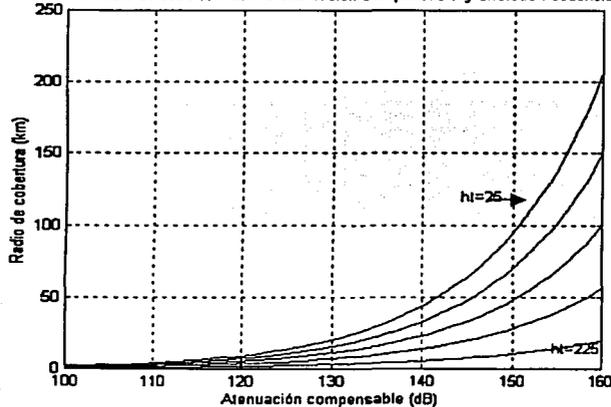
**Figura 4.41** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente urbano para diversas alturas de la estación base (cada una de las curvas corresponde a una altura variando desde 25 m hasta 225 m cada 50 m).

Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable y diversas frecuencias (semiurbano)



**Figura 4.42** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente semiurbano vehicular para diversas alturas de la estación base (cada una de las curvas corresponde a una altura variando desde 25 m hasta 300 m cada 50 m).

Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable y diversas frecuencias (rural)



**Figura 4.43** Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable en ambiente rural para diversas alturas de la estación base (cada una de las curvas corresponde a una altura variando desde 25 m hasta 300 m cada 50 m).

## 5. Estandarización y Regulación de UMTS

Este capítulo describe las características de los trabajos de normalización vinculados con la aparición de la tercera generación de los sistemas móviles terrestres; presenta los principales organismos de normalización y describe el procedimiento de adopción de licencias y el calendario seguido para los sistemas móviles de tercera generación (3G).

### 5.1 Proceso Normativo de Tercera Generación

El estado actual de la normalización de los sistemas móviles 3G es el resultado de los trabajos llevados a cabo en numerosos países desde 1986, fecha en la que comenzaron las tareas de normalización del FPLMST (Future Public Land Mobile Telecommunication System) iniciadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Radio (UIT-R), Grupo de Estudio 8. A partir de este momento las actividades de normalización en Europa siguieron la trayectoria que puede observarse en la Tabla 5.1 [30]

Proyecto	Fecha	Características
RACE I	1988	Comenzó el trabajo básico de investigación en UMTS.
RACE II	1992-95	Condujo al desarrollo de los prototipos del CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y del ATDMA (Advanced Time División Múltiple Access), y también a trabajar en los aspectos de la red en el proyecto MONET (MOBILE NETWORK).
ACTS (Advanced Communication Technologies and Services)	1996	Proyecto FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System) que sentó las bases para las tecnologías de acceso W-CDMA.

**Tabla 5.1 Grupos de investigación europeos sobre UMTS hasta 1996**

La normalización Europea de la radio 3G alcanzó su fase importante durante 1997, cuando cinco sistemas candidatos fueron considerados por el comité SMG (Grupo Especial de Móviles) del ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Después de un largo debate, en enero de 1998 el ETSI SMG acordó usar finalmente la tecnología WCDMA (Wideband CDMA) para la interfaz aire del UMTS UTRA (Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access) sobre bandas de frecuencias apareadas para el funcionamiento de las tecnologías FDD (Frequency Division Duplex) y TDCDMA (Time Division CDMA) y asignaciones del espectro no emparejadas para el funcionamiento del TDD (Time Division Duplex). Esta decisión fue la base para la propuesta del UTRA presentada por el ETSI a la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) como una candidata a la tecnología de transmisión radio IMT2000.

Al mismo tiempo, otros países como Japón, Estados Unidos y Corea, fueron eligiendo independientemente sus propias tecnologías de acceso radio 3G. Se hizo evidente que sería muy difícil alcanzar especificaciones idénticas para asegurar una compatibilidad global de los equipos (que era un requisito crucial) con todo este trabajo realizándose en paralelo. Sin embargo, hubo iniciativas para crear un foro único para la normalización de una especificación común del UTRA. El proyecto 3GPP (3rd Generation Partnership Project) fue establecido en 1998 con este objetivo en mente. En él participan los siguientes socios: TTC/ARIB por Japón, ETSI por Europa, TTA por Corea, TIPI por EE.UU. y, más recientemente (1999), CWTS por China. Casi al mismo tiempo, el mercado celular norteamericano creó el grupo 3GPP2 para trabajar sobre la tecnología de radio rival cdma2000, y el UWCC (Universal Wireless Communication Consortium) fue ampliado para cubrir la tecnología UWC136 ó IMT-SC (Single Carrier). Estos dos grupos industriales se apoyan en los 41 protocolos de movilidad del ANSI (American National Standards Institute) definidos en el comité TIA TR45.2. Los dos consorcios, junto con el UWCC y el proyecto ETSI que trabajan sobre el sistema DECT de 2 Mbit/s (Digital Enhanced Cordless Telecommunication), están trabajando a través de sus propios organismos de normalización para completar el marco UIT para las tecnologías radio para el IMT2000, como se muestra en la Figura 5.1.

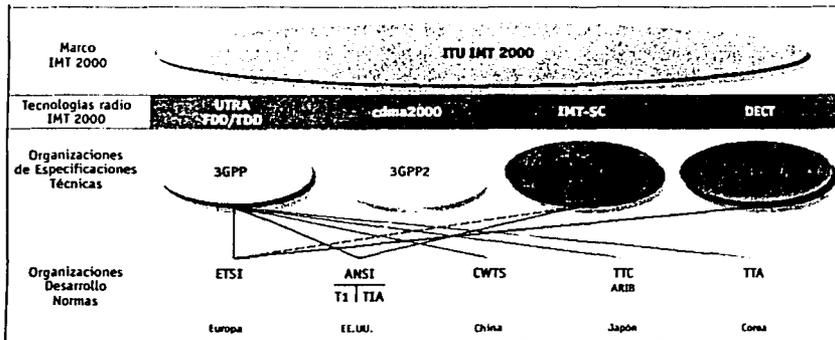


Figura 5.1 Organización de la normalización del IMT2000

Aunque los organismos 3GPP, 3GPP2, UWCC y ETSI EP DECT son los líderes en la normalización de los móviles 3G, no son los únicos grupos que están trabajando en este campo. Existen otras organizaciones importantes como:

- La UIT tiene varios grupos trabajando en el IMT-2000. Dentro del UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones – Telecomunicaciones), el principal grupo es el SSG (Special Study Group) IMT2000, mientras que el liderazgo en UIT-R está ahora asignado al Working Party WP8F, que sustituye a los antiguos grupos TG8/1 y WP8/13.

- El Mobile Wireless Internet Forum (MWIF), que tiene la misión de "impulsar la aceptación y la adopción de una única arquitectura para la radio móvil e Internet, independiente de la tecnología de acceso". El objetivo principal del foro es la búsqueda de la sinergia entre los mercados GSM/UMTS y CDMA/cdma2000.
- 3G mobile Internet (3G.IP), que tiene la responsabilidad de "promover activamente un sistema radio común basado en IP para la tecnología de comunicación móvil de tercera generación, con el fin de asegurar un rápido desarrollo de las normas y su recepción por parte de los operadores, vendedores y diseñadores de aplicaciones". El objetivo principal es la búsqueda de la sinergia entre los mercados GSM/UMTS y TDMA/UWC136, para de esta forma promover el uso común de un paquete de datos troncal basado en el servicio GPRS (General Packet Radio Service).
- El IETF (Internet Engineering Task Force) está cada vez más involucrado en los aspectos de las normas móviles conforme se introduce la tecnología IP en las redes móviles. Los grupos de trabajo principales para la movilidad 3G son MOBILEIP (para la movilidad), SIP (para el control de las llamadas basado en IP) y SIGTRAN (para la transmisión de señalización).
- El OHG (Operator Harmonization Group) ha jugado un papel esencial para poner de acuerdo a los competidores en el mercado de la movilidad (GSM, CDMA, TDMA) y desactivar la situación explosiva que se produjo durante 1999 acerca de la armonización de las normas de radio 3G. El grupo continúa reuniéndose, junto a representantes de la industria, para discutir sobre la evolución de las normas de los móviles 3G.

Las relaciones entre todos estos organismos puede parecer muy compleja, pero en la práctica la situación está más clara si se considera el flujo de ideas y la jerarquía de la influencia técnica que existe. La mayoría de los principales expertos en normalización de los organismos regionales más importantes trabajan a través de los proyectos conjuntos del 3GPP/3GPP2 y UWCC para acordar las especificaciones que luego serán publicadas oficialmente por sus organizaciones como normas. Estas son, a su vez, referenciadas y/o resumidas por la UIT en sus recomendaciones oficiales. En paralelo algunos de esos mismos expertos están involucrados en los organismos que establecen los requisitos, tales como OHG, MWIF y 3G.IP, donde pueden discutir acerca de la problemática del funcionamiento de los distintos sistemas y sobre la armonización.

## 5.2 Organización del 3GPP

El 3GPP es grande, con una organización inspirada en la establecida por el ETSI para GSM [31]. Las responsabilidades del 3GPP son las de preparar, aprobar y mantener las especificaciones técnicas globales para la tercera generación de sistemas móviles. La Figura 5.2 muestra la organización general del 3GPP, que incluye:

- **Socios de la Organización (OP):** Estos son organismos de normas abiertas que están oficialmente reconocidos en sus propios países y que tienen la capacidad y autoridad para definir, publicar y establecer normas a nivel nacional o regional, y que han firmado el acuerdo de participación en el proyecto.
- **Socios Representantes del Mercado (MRP):** Estos socios son responsables de la identificación de los requisitos de mercado. Su papel en el 3GPP es el de llegar a un consenso sobre los requisitos de mercado (por ejemplo, servicios, facilidades y funcionalidad). Un MRP es invitado por los Socios de la Organización.
- **Miembros Individuales (IM):** Los IMs contribuyen técnicamente o de otra manera a los Grupos de Especificaciones Técnicas. Tienen que ser miembros de una OP.
- **Observadores:** La categoría de "Observador" puede ser concedida por los Socios de la Organización a una entidad que tiene las cualificaciones para llegar a ser en el futuro un Socio de la Organización. El trabajo técnico detallado se lleva a cabo en los Grupos de Especificaciones Técnicas (TSG). Las tareas de estos grupos son las de especificar, aprobar y mantener las especificaciones técnicas y los informes. El grupo de Aspectos de los Sistemas y Servicios es responsable de la coordinación técnica del trabajo emprendido dentro del 3GPP, así como de la integridad de la arquitectura total del sistema. Como se indica en la Figura 5.3, existen cinco TSGs, cada uno de ellos dividido en subgrupos:
  - **El TSG de los Aspectos del Sistema y del Servicio:** Responsable de la definición y el desarrollo de la capacidad del servicio, fase uno, así como de la descripción de la tarificación y de la contabilidad, aspectos de la gestión de red y de seguridad, definición de la arquitectura total, evolución y mantenimiento, principios para la definición de la transmisión extremo a extremo (aspectos del codec), y coordinación del proyecto.
  - **El TSG de la Red de Acceso Radio:** Este TSG es el más relacionado con la tecnología CDMA. Es el responsable de las especificaciones de las capas 1 a 3, especificación de las interfaces Iu-b, Iu-r e Iu, requisitos de operación y mantenimiento de la UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), rendimiento de la estación base de la radio, y especificaciones de las pruebas de homologación de los productos.
  - **El TSG de la Red Central:** Este TSG es responsable de la gestión de la movilidad, señalización de control de las conexiones de las llamadas entre el equipo del usuario y la red central, definición de las características de interfuncionamiento, cuestiones relacionadas con paquetes tales como mapa de la calidad de servicio, aspectos de la interfaz Iu relacionados con la red central, y requisitos de operación y mantenimiento de la red central.
  - **El TSG del Terminal:** Este TSG está encargado de los protocolos de capacidad del servicio, mensajería, interfuncionamiento extremo a extremo de los servicios,

interfaz del terminal móvil con el módulo UMTS Subscriber Identity Module (USIM), modelo e infraestructura de las interfaces de los terminales y ejecución de los servicios, y especificaciones de las pruebas de homologación de los terminales, incluyendo los aspectos radio.

- *El TSG GERAN:* Creado a mediados del año 2000 para asegurar la cohesión entre las especificaciones del GSM y del 3G. El TSG GSM/EDGE Radio Access Network (GERAN) es responsable del mantenimiento y desarrollo de las especificaciones y los informes técnicos del GSM, incluyendo las tecnologías evolucionadas del acceso radio GSM tales como el GPRS y el EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution).

El 3GPP define con gran precisión las reglas para la toma de decisiones en cada uno de los niveles de la organización. Los Miembros Individuales del 3GPP están ligados por las normas de los Derechos de Propiedad Intelectual (IPR) de sus respectivos Socios de la Organización. Los Miembros Individuales son alentados para declarar, lo antes posible, cualquier IPR que piensen que pudiera ser esencial, o potencialmente esencial, para cualquier trabajo en curso dentro del 3GPP. Después de comparar sus políticas sobre el IPR, ARIB, ETSI, T1, TTA y TTC acordaron que esas políticas compartieran principios comunes bastante similares para maximizar el éxito del 3GPP.

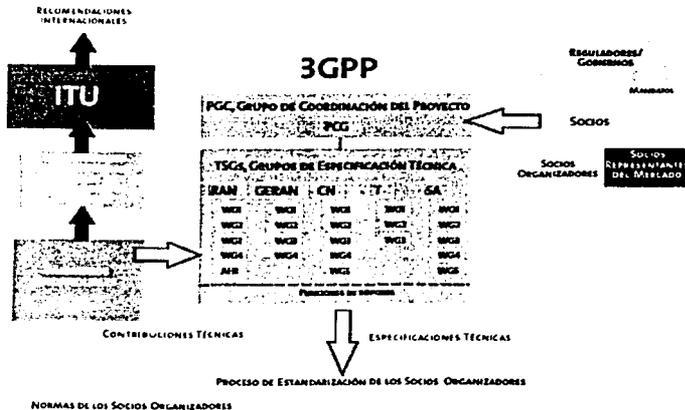


Figura 5.2 Estructura, tipos de socios e interfaces externas del 3GPP

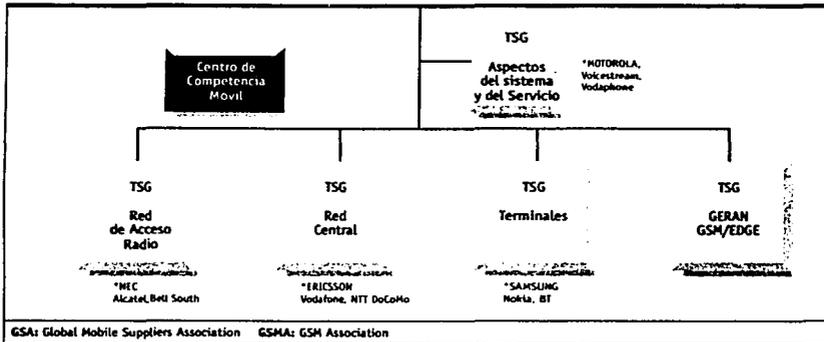


Figura 5.3 Organización y responsabilidades del 3GPP.

### 5.3 Compatibilidad Global y Ambiente regulatorio en el mundo

El 3GPP reconoce que los sistemas de tercera generación deben tener una cobertura global. El proceso de estandarización de los sistemas móviles de la 3G ha avanzado con mayor rapidez en Japón. El organismo japonés más grande dictador de estándares (ARIB) ha comenzado con un proyecto de estandarización fuertemente apoyado por el operador de telefonía celular más fuerte en ese país: NTT DoCoMo. Este operador ha ordenado prototipos a distintas empresas japonesas, europeas y norteamericanas para un sistema de pruebas, basados en CDMA de banda ancha. Los resultados de estas pruebas sirvieron para la especificación de los estándares japoneses de 3G y ayudaron al proceso normativo de la UIT. La comercialización de su sistema se dio durante el año 2001.

El sistema americano de telefonía de tercera generación es conocido como IMT-2000 (International Mobile Telecommunications), aunque antes se llamaba FPLMST (Future Public Land Mobile Telecommunications System). Cabe destacar que es el sistema predominante, y que los demás sistemas similares que se implementen tendrán como referente dicho sistema, con el fin de conseguir una compatibilidad razonable entre los diferentes sistemas; aunque esto sólo es válido en el área de influencia de los EEUU.

Los estudios que realiza el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT sobre las IMT-2000 se efectúan en el Grupo de Tareas Especiales (Task Group 8/1).

UMTS es definido por la ETSI como el verdadero sistema de tercera generación representando la evolución de GSM, RDSI y DECT. UMTS es un miembro de la familia IMT-2000. El objetivo es establecer roaming con los demás miembros de IMT-2000, estableciendo un sistema real de tercera generación con servicios móviles multimedia y sistemas que representen un paso delante de los existentes en la 2G, adaptándose a las necesidades del mercado. El empleo de terminales móviles globales y de los mismos

servicios proporcionados por todos los operadores en el mundo es uno de los aspectos primarios analizados en las recomendaciones del IMT-2000.

El camino recorrido hasta ahora por la UIT ha producido un conjunto de documentos (recomendaciones e informes) bastante amplio. En la Tabla 5.2 se mencionan las principales recomendaciones IMT-2000 [32]

Recomendación	Nombre	Sector
M.687-2	International Mobile Telecommunications 2.000 (IMT-2000)	ITU-R
M.816-1	Framework for services supported by IMT-2000	ITU-R
M.817	IMT-2000 network architectures.	ITU-R
M.818	Satellite operation within IMT-2000	ITU-R
M.819-2	IMT-2000 for developing countries	ITU-R
M.1034-1	Requirements for the radio interface(s) for IMT-2000	ITU-R
M.1035	Framework for the radio interface(s) for IMT-2000	ITU-R
M.1036-1	Spectrum considerations for implementation of IMT-2000 in the bands 1885-2025 MHz and 2110-2200 MHz	ITU-R
M.1078	Security principles for IMT-2000	ITU-R
M.1079	Speech and voiceband data performance requirements for IMT-2000	ITU-R
M.1167	Framework for the satellite component of IMT-2000	ITU-R
M.1168	Framework of IMT-2000 management	ITU-R
M.1223	Evaluation of security mechanisms for IMT-2000	ITU-R
M.1224	Vocabulary of terms for IMT-2000	ITU-R
M.1225	Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000	ITU-R
M.1311	Framework for modularity and radio commonality within IMT-2000	ITU-R
M.1390	Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements	ITU-R
M.1391	Methodology for the calculation of IMT-2000 satellite spectrum requirements.	ITU-R
M.1457	Detailed specifications of the radio interfaces of IMT-2000	ITU-R
F.115	Service objectives and principles for future public land mobile telecommunication systems.	ITU-T
Q.1701	Framework for IMT-2000 networks	ITU-T
Q.1711	Network functional model for IMT-2000	ITU-T

**Tabla 5.2. Principales recomendaciones de la UIT para la 3G.**

#### 5.4 Ambiente regulatorio en la Unión Europea para UMTS

En Europa el sistema de telefonía de tercera generación se conocerá como UMTS. Como ya se ha dicho se ha diseñado como parte del sistema IMT-2000, dentro del mismo marco. Es un sistema de alta capacidad, alta velocidad de transmisión e incluye tanto la componente terrestre como por satélite [33].

De la estandarización del UMTS se ha ocupado principalmente la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), en colaboración con otras entidades de estandarización nacionales y regionales. En 1998 la ETSI seleccionó un nuevo interfaz de radio llamado UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). Cabe también destacar los programas de investigación tales como RACE I y II, y ACTS. Del mantenimiento del sistema GSM se encargará el GSM MoU Association.

Para acelerar el proceso de definición de los estándares necesarios, de las acciones políticas a tomar por los gobiernos y entidades reguladoras y la cooperación industrial precisa, así como la definición de un marco regulatorio y conseguir las frecuencias del espectro necesarias, por parte de los gobiernos y entidades reguladoras, se creó en 1996 el UMTS Forum. La participación activa de los gobiernos, así como de las entidades reguladoras es un aspecto fundamental en el desarrollo exitoso del UMTS. Sin un apoyo político el mercado europeo corre el riesgo de quedar fragmentado y debilitado.

Como sistema vivo y en evolución, existe un calendario de versiones UMTS, definido por el 3GPP. Hasta hace poco, eran dos las versiones consideradas: la versión 99 y, posterior a ella, la 00 (ó 2000).

La versión 99 se estableció sobre todo con la intención de proporcionar una especificación del sistema a tiempo para el desarrollo de redes UMTS en Japón. Éste país es el que más empeño ha puesto en conseguir que la 3G estuviese disponible para su despliegue en el año 2000. Inicialmente, estaba pensado cerrarla en diciembre de 1999 (de ahí el nombre). Sin embargo, la realidad es que ha resultado imposible cumplir con el calendario marcado, de suerte que no ha sido hasta la reunión del 3GPP en junio del 2000, que se ha declarado oficialmente congelada esta versión.

La versión posterior a la 99, denominada hasta hace poco 2000 ó 00, tenía prevista su conclusión para diciembre del año 2000. Sin embargo, el 3GPP ha reconsiderado su política en este tema. Así, se abandona, tras la versión 99, la nomenclatura de versiones basadas en el calendario. En su lugar, se adopta otra, ajustada a las versiones documentales de las especificaciones. Si se tiene en cuenta que los documentos de la versión 99 se corresponden con la versión 3, la siguiente versión de las especificaciones será la 4, seguida de la 5, y así sucesivamente. No existe una obligación formal de generar una versión anual, aunque la intención es que ello tenga lugar siempre que la cantidad y contenido de los nuevos temas de trabajo lo justifiquen. En cualquier caso, el objetivo principal sería conseguir versiones consistentes e implementables, cuyas correcciones esenciales no se desplacen a versiones posteriores, y en las que, una vez cerradas, no sea necesario incorporar nuevas funciones.

En la Figura 5.4 se observan estas diferentes versiones de UMTS.

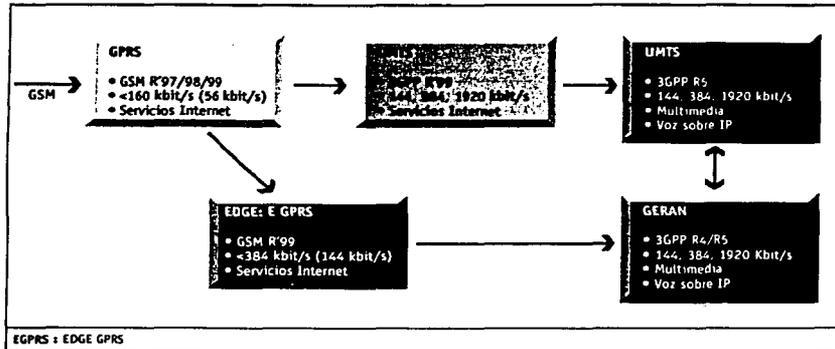


Figura 5.4 Diferentes versiones de UMTS.

### 5.5 Licencias UMTS

Uno de los requisitos previos para adaptar con éxito los servicios móviles de tercera generación es un marco regulatorio prudente que permita a los operadores construir redes con costes ajustados, al tiempo que facilite a los abonados disfrutar con la máxima utilidad todas las ventajas de la 3G a un precio justo y equitativo. El proceso de concesión de licencias para la 3G, ya sea por concurso o subasta, está ahora en pleno apogeo. Algunas de estas subastas han generado ingresos tan elevados que la industria ha expresado su preocupación sobre el impacto que podría tener estas tasas sobre las tarifas de usuario y el crecimiento de los servicios de la 3G.

Los miembros de la industria del UMTS Forum han estudiado las cuotas por asignar licencias, incluyendo licencias por el espectro, con referencia especial al UMTS, y han formulado recomendaciones de la industria a los reguladores nacionales acerca del uso de dichos cargos. Se reconoce que la responsabilidad de licitar redes UMTS es competencia estricta de los reguladores nacionales. Una cuota generalmente acompaña a la emisión y uso de una licencia por el espectro. Tradicionalmente, estas cuotas se han utilizado como medio de financiar los costes administrativos de las licencias. Recientemente, la justificación de los precios ha sido también alentar a los licenciataria a utilizar el espectro de la forma más eficiente.

Dado que el número de posibles licenciados se hace más pequeño a medida que aumenta el coste del espectro, poner precio al espectro puede también utilizarse como un instrumento para seleccionar a los licenciados en situaciones donde hay escasez de frecuencias. La subasta, algunas veces denominada concurso competitivo, otorga la licencia al contendiente que hace la aportación más elevada. El mayor riesgo de las subastas es que los precios

pagados por los licenciados puede ser excesivo. La teoría de mercado predice que las subastas asignarán el espectro a aquellos que más lo valoran y, por tanto, harán el uso más eficiente del mismo. Sin embargo, esto no significa necesariamente que el espectro se usará de forma eficiente desde el punto de vista del cliente final.

Para la industria celular, los grandes pagos de licencias incrementan la incertidumbre en los inversores y, en consecuencia disminuye la inversión en la red para un nuevo servicio como el UMTS. Además, la selección de tecnología puede estar dirigida por una visión a corto plazo para recuperar las altas cuotas pagadas, en lugar de una visión a largo plazo teniendo en cuenta el crecimiento total de la industria. Esto puede tener consecuencias irreversibles para la provisión del servicio.

La experiencia con la subasta del bloque C del PCS en los EE.UU. ha mostrado como las altas tasas pueden dinamitar la viabilidad de un operador nuevo cuando éste debe desplegar una red totalmente nueva empezando desde cero, mientras que los operadores existentes tienen la oportunidad de reutilizar su infraestructura. Esto compromete a la competencia.

Los miembros de la industria en el Forum han formulado las siguientes recomendaciones a los reguladores nacionales en lo que concierne al precio del espectro:

- El precio del espectro puede utilizarse como un incentivo para utilizarlo de forma eficiente, suponiendo que esas cuotas son justas, proporcionadas, transparentes y neutrales con la competencia. Deberán estar principalmente motivadas por la recuperación de los costes y no por la maximización de los ingresos. Los beneficios, sin embargo, deberán ponderarse adecuadamente frente al daño potencial sobre el servicio.
- Cuando se necesita seleccionar a los operadores por la escasez de frecuencias, será preferible la opción de comparación administrativa a la de subastas. Las subastas llevan a altas cuotas de entrada, que incrementarán los precios a los usuarios, frenarán el desarrollo de servicios nuevos e innovadores como el UMTS, disminuirán las inversiones en infraestructura y perjudicarán la competencia.
- Debe evitarse poner precio al espectro como una herramienta impositiva, dado que tendrá un impacto negativo directo sobre el crecimiento del mercado de las telecomunicaciones y la economía general. A la larga, tal impuesto disminuirá los ingresos totales del Estado. Los altos valores del mercado deberían ser un incentivo para que los reguladores encuentren más espectro, que beneficiará al público mucho más que las transferencias excesivas de dinero a las arcas públicas.
- Tomando en consideración que el mercado del UMTS está todavía en un estado de desarrollo muy temprano, cualquier acción regulatoria sobre el espectro del UMTS debe tener como meta alentar las inversiones en sistemas UMTS. Los cálculos del plan de negocio del UMTS indican que las cuotas altas tendrán un impacto negativo. Deberán evitarse las grandes cuotas de entrada al comienzo del periodo de la licencia, utilizando en cambio cargos relacionados al uso del sistemas, como tasas anuales. Debe

darse la debida consideración a la naturaleza global de los sistemas por satélite cuando se busque establecer un mecanismo adecuado para definir los costes de las licencias y el precio del espectro para la componente vía satélite del UMTS.

En la Tabla 5.3 se pueden observar el total de licencias concedidas hasta finales del 2001 y algunos países que planean adjudicarse algunas durante el 2002 [32]

País	No. De licencias	Método	Fecha de obtención de las licencias	Tecnología actual de 2G	Suma pagada en millones de dólares
Alemania	6	Subasta	Julio 2000	GSM	45,870
Australia	6	Subasta	Marzo 2001	GSM/CDMA	351.7
Austria	6	Subasta	Noviembre 2000	GSM	610.0
Bélgica	4	Subasta	Febrero 2001	GSM	418.8
Canadá	5	Subasta	Enero 2001	AMPS/GSM	1,482
Chile	-	Concurso	2002	TDMA-DAMPS, GSM, CDMA	-
China	-	Concurso	2002	-	-
Dinamarca	5	Subasta	Octubre 2001	-	-
España	4	Concurso y cuota fija	Marzo 2000	GSM	120 cada una
Estados Unidos.	-	-	Junio 2002	-	-
Finlandia	4	Concurso y cuota fija.	Marzo 1999	GSM	900 dólares por cada 25khz
Francia	4	Concurso y cuota fija.	Julio 2001	GSM	4,520
Grecia	4 ó más	Subasta	Julio 2001	GSM	-
Holanda	5	Subasta	Julio 2000	GSM	2,508
India	3 a 5	Subasta	2001	-	-
Indonesia	3 a 5	Concurso	2002	-	-
Inglaterra	5	Subasta	Abril 2000	GSM	35,390
Irlanda	4	Concurso y cuota fija.	Abril 2001	GSM	Entre 116 y 140 cada una
Israel	4	Subasta	Julio 2001	GSM	-
Italia	5	Subasta	Octubre 2000	GSM	10,070
Jamaica	-	-	2002	-	-
Japón	3	Concurso	Junio 2000	PDC/CDMA	-
Korea	3	Concurso y cuota fija.	Finales 2000	CDMA	3,080
Luxemburgo	4	Concurso	Junio 2001	GSM	-
Nueva Zelandia	4	Subasta	Enero 2001	GSM	51.4
Noruega	4	Concurso y cuota fija.	Noviembre 2000	GSM	44.8
Portugal	4	Concurso y cuota fija.	Diciembre 2000	GSM	360
Rusia	2	-	2001	GSM	-
Singapur	4	-	Abril 2001	GSM	165.6
Suecia	4	Concurso	Diciembre 2000	GSM	44.08
Suiza	4	Subasta	Diciembre 2000	GSM	116
Venezuela	-	Subasta	2002	CDMA/TDMA/ GSM	-

Tabla 5.3 Licencias en los distintos países para dar servicios de 3G

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

En conjunto, sumadas las cifras de las UMTS concedidas y por conceder, se calcula que la cifra podría rondar los 180 mil millones de dólares, repartidos entre las 77 licencias que, a priori, se prevén. Casos como el de España, donde se estudia ofrecer una nueva licencia UMTS, pueden repetirse en otros países. Por otro lado, cabe destacar que las subastas producidas en Alemania y el Reino Unido podrían superar perfectamente el capital recaudado entre todo el resto de países juntos. Este dato, además de reafirmar las potencias económicas europeas, se debe a la modalidad escogida por ambos países para otorgar las licencias: la polémica subasta.

### 5.6 Calendario de UMTS

En la Tabla 5.4 se pueden observar los principales acontecimientos sucedidos con relación a UMTS e IMT-2000 desde 1989 a la fecha [32].

Año	Acontecimiento
1989	El concepto de IMT-2000 nace en la UIT como nombre genérico a los sistemas de comunicaciones móviles de la 3G.
1992	Se dan las especificaciones para el espectro de las IMT-2000 en la WRC
1999	Definición de las interfaces radio de las IMT-2000 por la UIT; DoCoMo introduce I-mode; Finlandia es el primer país en dar licencias para UMTS
2000	Durante la WRC 2000 se aprueba la expansión del espectro para las IMT-2000; surge el primer demo de servicios de 3G; surgimiento de los adaptadores para Bluetooth; lanzamiento de la primer red de GPRS en China.
2001	NTT DoCoMo lanza sus servicios de 3G en Japón; se retrasa el lanzamiento de UMTS en Europa.
1999-2001	Se otorgan licencias para UMTS en 17 países de Europa y en varios países del mundo
2002	Exposición de los primeros terminales IMT-2000 funcionando.
Octubre 2002	Lanzamiento de servicios de UMTS en varios países de Europa.
2003	Servicios de las IMT-2000 son utilizados en todo el mundo.
2004	15.5 millones de usuarios de la 3G; 84% de la población europea tienen teléfonos móviles.
2001-2004	Lanzamiento de las IMT-2000 en todo el mundo
2006 en adelante	Evolución de las especificaciones para la 3G

*Tabla 5.4 Principales hitos en el desarrollo de UMTS.*

La evolución de las especificaciones para 3G se refiere al concepto de redes de cuarta generación (4G) y que ya se menciona en la UIT. La transición de la 3G a la 4G no es considerada actualmente un cambio tan radical equivalente al de 2G a 3G. Cualquier sistema más allá de los definidos en la IMT-2000 es una continuación de los servicios y de las redes de 3G.

## 6. El sistema UMTS en México y el mundo

### 6.1 Situación actual de la Telefonía celular en México

La Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) es el órgano encargado de regular las comunicaciones móviles en México, mientras que la legislación es generada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). La telefonía celular entró en México en 1989 fecha en la que se convocó a las empresas del ramo a presentar solicitudes para ofrecer este servicio en las nueve diferentes regiones en que fue dividido el país [34]. Cada región recibiría servicio de dos operadores en competencia. Comercialmente los servicios se iniciaron en 1990. Las licencias fueron subastadas para dar servicios de telefonía celular en la banda de 800 MHz. Las nueve regiones en las que se dividió el país se pueden observar en la Figura 6.1.



Figura 6.1 Regiones de México para servicio de telefonía celular.

A finales de 1992, el número aproximado de suscriptores al servicio, sumando ambos operadores de cada región, era el que se observa en la Tabla 6.1 [35]

Región	Nombre	Número aproximado de suscriptores
1	Baja California	10,000
2	Noroeste	8,000
3	Norte	16,000
4	Noreste	30,000
5	Occidente	26,000
6	Centro	16,000
7	Golfo y Sur	16,000
8	Sureste	11,000
9	Distrito Federal y alrededores	181,000
Total		314,000

**Tabla 6.1** Número de usuarios en las diferentes regiones de México en 1992

Cada uno de los dos operadores regionales tiene asignadas dos bandas en la región que le corresponde: una para la comunicación del equipo móvil hacia las bases y otra para la comunicación de las bases hacia las unidades móviles. La asignación se muestra en la Tabla 6.2.

Banda	Móvil (MHz)	Base (MHz)
A	824-835, 845-846.5	869-880,890-891.5
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894

**Tabla 6.2** Asignación de bandas para la telefonía celular en México.

Cada una de las bandas, está dividida en canales que ocupan 30 kHz cada uno, por lo cual, en cada banda caben 333 canales (o conversaciones simultáneas). Vale la pena resaltar que en cada región puede haber cualquier cantidad de células, usando cada una de ellas un determinado conjunto de estos 333 canales, siempre y cuando no sean utilizados los mismos canales en células adyacentes.

Posteriormente, en Mayo de 1998 COFETEL realiza la subasta por las licencias correspondientes a la banda de 1900 MHz, los operadores seleccionados obtienen las licencias 4 meses después.

El caso de México es muy interesante, debido a que cuando se inició el servicio, las tecnologías ya habían sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimador de la demanda que podría ser esperada. En los pocos años que han transcurrido desde entonces, la aceptación ha sido extraordinaria.

Como en muchos otros países, en México, la telefonía celular se ha incrementado de manera muy importante. En los dos últimos años el crecimiento ha sido significativo. Por ejemplo, entre enero de 1999 y diciembre del 2000, se cuadruplicó el número de usuarios de 3.5 millones a 14 millones, superando el número de líneas fijas de alrededor de 12

millones en todo el país, cifra que era similar a la cantidad de líneas celulares en septiembre del 2000, es decir, en 3 meses aumentó en 2 millones el número de líneas móviles mientras que el crecimiento de líneas fijas en ese lapso a nivel nacional fue de apenas 500 mil más. Esto se puede observar en la Tabla 6.3.

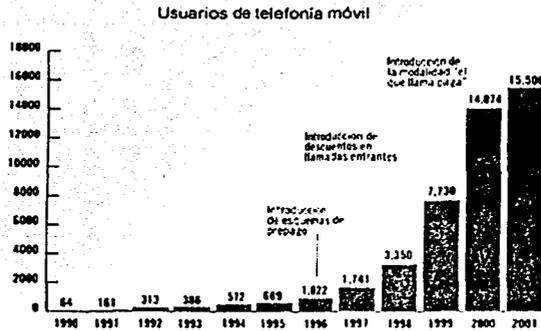
CRECIMIENTO DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN MÉXICO		
Año	Número de líneas (millones)	Crecimiento (%)
1996	1,021,500	46%
1997	1,740,800	70%
1998	3,349,000	92%
1999	7,677,000	128%
2000	14,049,173	84%

**Tabla 6.3** *Crecimiento de la Telefonía Celular en México.*

Por lo anterior, se puede observar que la telefonía celular de ser elitista, se convirtió en un servicio más accesible para millones de mexicanos. Es importante hacer notar que el crecimiento explosivo del número de usuarios a partir de la aplicación del esquema tarifario "el que llama paga", ha impactado en la calidad de servicios.

La Comisión Federal de Telecomunicaciones, COFETEL, evaluará en qué medida las compañías de telefonía celular cumplen con los nuevos parámetros de calidad vigentes desde septiembre de 2001, número de intento de llamadas no completadas, número de llamadas caídas y tiempo de establecimiento de las llamadas. Los valores que se han fijado para estos parámetros, son que el usuario debe fracasar como máximo en un 5% de los intentos para escuchar el tono de llamada. Se le debe interrumpir un máximo del 5% de las llamadas y establecer comunicación con otro teléfono celular o fijo, en menos de 13 segundos.

De 1999 a 2000, el número de usuarios se incrementó en 89%, gracias a los sistemas de prepago, la reducción en términos reales de las tarifas, la aceptación positiva de los usuarios y la modalidad conocida como "el que llama paga". Cifras preliminares de la COFETEL indican que al 31 de marzo de 2001 el número de usuarios se ubicó cerca de los 15.5 millones. En diciembre de 2001, esta cifra alcanzó los 18.5 millones de usuarios, y para el año 2004, los 33.4 millones. Esto significa crecer 18% en promedio cada año.



**Figura 6.2.** Usuarios de telefonía móvil en México hasta el 2001.

Existen varios operadores de telefonía celular en México siendo el principal operador Telcel, la subsidiaria de Teléfonos de México [36]. Telcel lanzó su red analógica AMPS en 1989 y en 1998 introduce su infraestructura con equipo digital TDMA. Actualmente, Telcel se encuentra en el proceso de instalación de una red GSM/GPRS [37]. En la Tabla 6.4 se puede observar el dominio de Telcel sobre las demás operadoras hasta el año 1999.

Operador Móvil	1996	1999
Telcel	58%	71%
IUSACELL	23%	18%
Pegaso	0%	2%
Otros	19%	9%
Total	100%	100%
Número de suscriptores (miles)	1,022	7,442

**Tabla 6.4** Mercado Inalámbrico en México hasta 1999.

Este potencial del crecimiento de la telefonía móvil ha sido visto por empresas como Vodafone, que adquirió en casi \$ 1,000 millones de dólares la participación accionaria de la familia Peralta en Iusacell, y la española Telefónica, que pagó más de \$ 1,000 millones a Motorola por las acciones de Cedetel y otras firmas relacionadas. Telcel también se fortaleció al formar parte de América Móvil.

De esta manera, a principios del año 2002, la situación de los operadores móviles en México es la siguiente:

Telcel sigue dominando el mercado con el 70% del total de abonados e implantando una red GSM/GPRS para evolucionar hacia la 3G (UMTS).

Telefónica Móviles ha unificado las marcas de Cedetel, Norcel, Movitel y Baja Celular, operadoras de telefonía móvil mexicanas que administra desde marzo del 2001 y que se integraron a su grupo consolidado en julio de ese mismo año. Las cuatro compañías se unirán bajo la denominación Telefónica Móviles México, que actuará como filial del Grupo Telefónica Móviles para el mercado mexicano [38].

Telefónica Móviles es una de las primeras compañías mundiales de telefonía celular, que tiene más de 27,885 millones de clientes a finales del tercer trimestre de 2001, con operaciones en 14 países y un mercado potencial de 434 millones de habitantes. La compañía, que aspira a convertirse en uno de los cinco mayores operadores globales, ya es líder en los mercados de España y Latinoamérica y lleva a cabo una estrategia de expansión selectiva en Europa y la Cuenca Mediterránea.

El total de clientes de Telefónica Móviles en Latinoamérica, contando con las operadoras de Telefónica S.A. en Chile y Puerto Rico controladas por Telefónica Móviles y las cuatro operadoras del norte de México, superó los 11,372 millones a finales de septiembre, lo que supone un aumento de 3,141 millones de nuevos clientes (un 38,1% más) respecto a la cifra de septiembre de 2000.

Iusacell es el segundo proveedor de comunicación inalámbrica más grande en México, con cerca de 1.7 millones de suscriptores en los sistemas digitales y analógicos, reportados en el tercer trimestre del 2001 [39]. La Compañía tiene y opera concesiones inalámbricas en las cuatro regiones centrales del país, incluyendo la Ciudad de México y, recientemente adquirió la proveedora de servicios celulares de la banda A en la región sureste de México, la cual está en proceso de consolidación. Adicionalmente cuenta con concesiones para proveer servicios inalámbricos de PCS (Servicios Personales de Comunicación) en las regiones 1 y 4 del norte de México. En Octubre del 2001 Iusacell concluyó exitosamente la adquisición de Grupo Portatel S.A. de C.V., el proveedor de telefonía celular en la banda A en el sureste de México.

Iusacell está bajo la administración y control operativo de Verizon Communications (39.4%), compañía resultante de la fusión entre Bell Atlantic y GTE. Verizon Communications ha invertido aproximadamente \$1.2 billones de dólares en Iusacell desde 1993. Iusacell cuenta además con el respaldo como accionista de una de las empresas más importantes en telefonía inalámbrica de Europa y del mundo: Vodafone (34.5%)

Vodafone, con sede en Inglaterra, es la empresa más grande de comunicación inalámbrica del mundo [40]. La empresa tiene operaciones en 24 países de los 5 continentes, con más de 35.5 millones de clientes celulares. En la Tabla 6.5 se puede observar la cobertura de Vodafone.

<b>País</b>	<b>Nombre del operador en el país</b>	<b>Porcentaje de Propiedad.</b>	<b>Fecha de Inicio de operaciones y tecnologías actuales</b>
<b>Europa</b>			
Albania	Vodafone	76.9	2001, GSM
Bélgica	Proximus	25.0	1994, GSM 1987, ETACS
Francia	SFR	31.9	1992, GSM 1989, NMT450
Alemania	D2 Vodafone	99.6	1992, GSM
Grecia	Vodafone	52.8	1993, GSM
Hungría	Vodafone Hungría	50.1	1999, GSM
Irlanda	Eircell	100	1993, GSM
Italia	Omnitel Vodafone	76.5	1995, GSM
Malta	Vodafone Malta	80.0	1997, GSM 1990, ETACS
Holanda	Vodafone	70.0	1995, GSM
Polonia	Plus GSM	19.6	1996, GSM 1998, GSM
Portugal	Vodafone	50.9	1992, GSM
Rumania	Connex GSM	20.1	1997, GSM
España	Vodafone	91.6	1995, GSM
Suecia	Europolitan Vodafone	71.1	1992, GSM
Suiza	Swisscom	25.0	1993, GSM
Reino Unido	Vodafone	100	1992, GSM
<b>América</b>			
México	Iusacell	34.5	1998, CDMA 1989, AMPS
Estados Unidos	Versión Wireless	44.1	1984, AMPS 1996, CDMA/TDMA
<b>África</b>			
Egipto	Vodafone	60.0	1998, GSM
Kenya	Safaricom	40.0	1997, GSM
Sudáfrica	Vodacom	31.5	1994, GSM
<b>Asia</b>			
Australia	Vodafone	95.5	1994, GSM
China	China Mobile	2.18	1994, GSM
Fiji	Vodafone	49.0	1994, GSM
India	RPG Cellular	20.6	1995, GSM
Japón	J-Phone	39.3	1994, PDC 1996, PDC
Nueva Zelanda	Vodafone New Zealand	100	1993, GSM

Tabla 6.5 Cobertura de Vodafone en el mundo.

PEGASO PCS es la empresa de telecomunicaciones y telefonía digital conformada por Grupo Pegaso, Sprint PCS, Leap Wireless, Citicorp, LAIF y Nissho Iwai [41]. Con una inversión superior a los 1,800 millones de dólares, PEGASO PCS construye la primera red nacional 100% digital en México. Utilizando tecnología CDMA en la banda de 1900 MHz, actualmente PEGASO PCS ofrece servicio en las principales ciudades de la República Mexicana, proyectando cobertura nacional para principios del 2002.

Desde el inicio de las operaciones comerciales en febrero de 2000, Unefon ha expandido su área de cobertura a quince ciudades en el país, incluyendo la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, con una población total cubierta de 35 millones. Al mes de julio de 2001, Unefon había alcanzado 500,000 suscriptores [42].

Los accionistas más grandes de la Compañía son la familia Saba y TV Azteca, quienes poseen 46.5 por ciento cada uno. El 7 por ciento restante de Unefon es público. En diciembre de 2000, Unefon completó su Oferta Pública Primaria en la Bolsa Mexicana de Valores. La compañía recaudó US\$ 98 millones mediante la venta de 176 millones de acciones Serie A a un precio de Ps. 5.20 por acción. Los recursos obtenidos con la Oferta Pública Primaria serán utilizados para financiar el capital de trabajo y la expansión nacional de la red de comunicaciones de Unefon, así como para el prepagado de una parte de su deuda.

En resumen, en las Tablas 6.6 y 6.7 se puede observar la distribución del mercado actual en México y las características técnicas de cada operador.

Operador	Cobertura	Socios mayoritarios	No. de suscriptores
Telcel	Nacional	Grupo Carso	12,183,820
Iusacell	Regiones 5,6,7 y 9. Recientemente incorporadas regiones 1, 4 y 5.	Verizon y Vodafone	1,900,000
Telefónica Móviles México (Cedetel, Bajacel, Movitel y Norcel)	Regiones 1,2,3 y 4	Telefónica	750,000
Pegaso	Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Tijuana, Toluca, Reynosa, Saltillo, Nuevo Laredo, Cuernavaca, Mexicali, Ensenada y Chapala	Grupo Pegaso, Sprint PCS,	1,500,000
Unefon	Toluca, León, Puebla, Monterrey, Querétaro, Guadalajara, Aguascalientes, Acapulco, San Luis Potosí, Morelia, Torreón, Tampico, Tuxtla Gutiérrez y Distrito Federal.	TV Azteca y familia Saba	700,000

**Tabla 6.6. Distribución del mercado de telefonía celular en México en Enero 2002**

Proveedor	Estándar	Tecnología	Bandas de Frecuencia	Tipo de Modulación.
Telcel	AMPS	AMPS	800	FM
Telcel	IS-136	TDMA	800/1900	$\pi/4$ DQPSK
Telcel	GSM	TDMA	1900	GMSK
Iusacell	AMPS	AMPS	800	FM
Iusacell	CDMA	CDMA	800/1900	QPSK
Telefónica	CDMA/AMPS	AMPS/CDMA	800/1900	FM/QPSK
Pegaso	CDMA	CDMA	1900	QPSK
Unefon	CDMA	CDMA	1900	QPSK

**Tabla 6.7** Características técnicas de los operadores celulares en México.

## 6.2 Panoramas y perspectivas de UMTS

### 6.2.1 Caso mundial

UMTS está previsto ser lanzado en Europa a finales del año 2002. Esto puede cambiar por diversos factores, tales como son la adquisición de licencias, la actualización de las infraestructuras y el desarrollo de terminales. Cada país ha tenido diferentes escenarios en cuanto al tema de adquisición de licencias. Mientras en algunos países, las licencias se han adjudicado por medio de concurso, en el que el Estado fija el precio a pagar por cada adjudicatario, en otros la forma elegida ha sido la de subasta, en la que los diferentes operadores compiten por obtener una licencia. De esta forma, la subasta ha proporcionado cuantiosos ingresos, mientras que el concurso no [43].

**Alemania:** En este país se han alcanzado cifras millonarias en la subasta por las seis licencias que ofreció el gobierno alemán. Una de ellas ha sido para el consorcio Telefónica y la finlandesa Sonera, que juntos han pagado 6,500 millones de dólares. Así, mientras en España, el operador exmonopolista ha obtenido una licencia por 109 millones de dólares, en Alemania, junto con su socio Sonera, ha pagado 60 veces más por una licencia igual. En total, el estado alemán ha ingresado la cantidad de 42,000 millones de dólares. En el último momento de la subasta, los operadores hicieron un pacto para evitar que las elevadas cifras que se estaban alcanzando, hicieran peligrar la rentabilidad de las inversiones. Ahora en Alemania, al igual que en Gran Bretaña, los consumidores se preguntan qué porcentaje van a tener que pagar ellos, en forma de tarifas elevadas, para amortizar los desproporcionados costes de las licencias. Los proveedores tienen que empezar a construir las redes UMTS de los 6 operadores con licencia, en el plazo más corto posible. De ellos, dos no tienen red propia GSM, con lo cual parten de cero.

**Gran Bretaña:** En la subasta británica, trece operadores compitieron por cinco licencias durante semanas, hasta que quedaron cinco, tantos como licencias a otorgar: British Telecom, Vodafone, Orange One2One y la canadiense TIW. En total el gobierno británico ingresó 32,000 millones de dólares, mientras se reproducía la misma polémica que en Alemania.

**Francia:** Las licencias de telefonía móvil UMTS fueron concedidas mediante concurso durante el mes de junio de 2001. La Autoridad de Regulación de las Telecomunicaciones (ART) estudió comparativamente las diferentes propuestas de los operadores, y adjudicó cada una de las cuatro licencias por 4,000 millones de dólares a los operadores elegidos, por un periodo de 15 años.

**Italia:** La subasta de las cinco licencias italianas de UMTS, se ha cerrado con la retirada del consorcio Blu, formado por la italiana Autostrade y el operador British Telecom. Esta retirada ha supuesto un duro golpe para el estado italiano, que ha visto como se desvanecían sus previsiones de ingresos billonarios en la adjudicación de estas licencias. Tendrá que conformarse con 12,162 millones de euros (10,000 millones de dólares), la mitad de lo previsto inicialmente. Las 5 licencias fueron adjudicadas a: GSM Tim (la división de móviles de Telecom Italia), Omnitel (perteneciente a Vodafone), Wind (de la eléctrica Enel y la francesa France Telecom) y los consorcios Andala (del grupo financiero de Hong Kong, Hutchinson Whampoa) e Ipse 2000 (del grupo español Telefónica).

**Holanda:** Para otorgar cinco licencias de telefonía de tercera generación, Holanda optó por el sistema de la subasta, animado por el éxito de la operación en Reino Unido, la recaudación alcanzó 2,200 millones de dólares.

**Bélgica:** el gobierno belga sacó a subasta el pasado mes de diciembre de 2001, cuatro licencias de UMTS, con la ventaja que le da la experiencia de los países vecinos. Los resultados finales todavía no se obtienen, pero en total, el gobierno belga espera ingresar una cantidad en torno a los 1,250 millones de dólares. Hasta en Febrero del 2002, seis candidatos optan por una de las cuatro licencias: Proximus (del ex monopolista Belgacom), Mobistar (perteneciente a France Telecom), Orange, British Telecom, Versatel y el consorcio formado por Telefónica y el grupo francés Suez-Lyonnaise des Eaux.

**Suecia:** el gobierno sueco, ha tomado una decisión sorprendente, concediendo por sólo 10,000 dólares a cada adjudicatario una licencia. Con estas cantidades que apenas cubren los papeleos administrativos, el gobierno sueco pretende valorar especialmente el compromiso de inversión de los operadores, el cumplimiento de los plazos de despliegue de la red, las tarifas a aplicar y las inversiones previstas.

**Finlandia:** las cuatro licencias de telefonía UMTS de este país nórdico, se concedieron gratis. De esta forma el Estado será el titular de la red de UMTS, una red que abarcará toda la geografía finlandesa y de la que los cuatro operadores adjudicatarios colgarán sus servicios.

**España:** En este país se concedieron cuatro licencias de telefonía móvil UMTS. Como estaba previsto, los operadores actuales Amena, Vodafone y Telefónica obtuvieron tres de las licencias adjudicadas. El misterio se centraba en la cuarta licencia que finalmente ha recaído en Xfera. El concurso para la adjudicación de esta nueva licencia, ha estado muy reñido e incluso ha resultado polémico, ya que Xfera, un consorcio sin ningún socio tecnológico presente en el mercado de la telefonía en España, se impuso a Movi2 (versión móvil del operador Uni2, controlada por France Télécom- y MovilWeb 21) controlada por

Deutsche Telekom y Jazztel. Al parecer la participación de estos dos grandes exmonopolistas (France Télécom y Deutsche Telekom) supuso en contra de la adjudicación de una de las licencias a estos aspirantes. La adjudicación de la cuarta licencia, no supondrá a corto plazo, un aumento de la competencia en el mercado de móviles, ya que Xfera no podrá prestar servicios de telefonía móvil mediante tecnología GSM y tendrá que esperar a que la tecnología UMTS esté plenamente desarrollada para comenzar a desplegar su red de infraestructuras.

**Latinoamérica:** Chile y Venezuela han adquirido ya a UMTS como su sistema de 3G, siendo los únicos países de esta región del mundo mostrando una postura decisiva hacia la emigración a 3G. El proceso de entrega de licencias en estos países se realizará a lo largo del 2002.

**Estados Unidos:** CDMA2000 es la tecnología que se va a emplear en Estados Unidos como estándar de la 3G. El proceso de entrega de licencias en este país aún no se ha realizado, y los fabricantes de equipos anuncian que hasta el momento únicamente hay prototipos de prueba. La comercialización se hará hasta el 2003. Es por esto que se ha retrasado la llegada de la 3G en este país. Sin embargo, Verizon anunció en Febrero del 2002 que ha lanzado una red de prueba de la versión 1X de CDMA2000 en determinadas áreas del país. Inicialmente no hay terminales propios de la 3G para esta red de prueba, solamente se pueden utilizar terminales que funcionan como módems inalámbricos conectándolos a una laptop. Verizon espera alcanzar con este sistema de prueba velocidades de entre 40 kb/s y 60 kb/s, muy lejos del valor teórico (144 kb/s) que con la versión 1X se piensa alcanzar [44].

**Japón:** La introducción de las IMT-2000 en Japón se debe a tres factores principales [45]. El primero es la demanda creciente de servicios multimedia. El éxito espectacular de los servicios como el *i-mode* es síntoma de la necesidad de aplicaciones móviles avanzadas. Los teléfonos con capacidad *i-mode* permiten a los usuarios acceder a contenido Internet personalizado a través de una red de transmisión por paquetes. El contenido web para el sistema *i-mode*, se define a partir de un lenguaje de etiquetado hipertexto simplificado (cHTML, *compact HTML*), un subconjunto de la codificación en lenguaje de etiquetado hipertexto (HTML) que se utiliza para crear las páginas web clásicas y, de ese modo, se obtienen sitios web compatibles con el *i-mode*. Por otra parte, una codificación especial de la empresa permite crear iconos que representan conceptos tales como alegría, tristeza, baños termales, tiendas típicas del país, determinadas líneas de ferrocarril (por ejemplo, el *Shinkansen*) o vacaciones. El sistema *i-mode* no utiliza el protocolo de aplicación inalámbrica (WAP) de código abierto, sino un conjunto especial de etiquetas HTML simplificadas.

El segundo es la demanda de itinerancia internacional. Japón es una isla, pero los numerosos japoneses que viajan al extranjero por negocios o vacaciones crean un amplio mercado de servicios mundiales.

El último factor y, quizá el más importante, es la escasez de frecuencias causada por el aumento totalmente inesperado del número de abonados móviles. Las bandas de

frecuencias utilizadas por los sistemas de segunda generación (800 MHz y 1,5 GHz) parecen insuficientes y, por consiguiente, se necesitan servicios que utilicen bandas de frecuencias diferentes.

En abril de 1993, la *Association of Radio Industries and Businesses (ARIB)* (Japón), una organización privada de normalización, creó el Comité de Estudio de las IMT-2000 de ese país. Ese Comité fue encargado de estudiar las tecnologías de interfaz radioeléctrica para las IMT-2000. Estaba integrado por unas 90 empresas como, por ejemplo, operadores, *NTT DoCoMo*, *KDDI* y *J-Phone*, y fabricantes, en particular *NEC* y *Fujitsu*, y sus miembros tenían el cometido de proponer sistemas IMT-2000. Al final de sus estudios, el Comité llegó a la conclusión de que el acceso múltiple por división de código de banda ancha (W-CDMA) era la norma más adecuada para Japón. Esa norma fue aceptada por el *TTC (Telecommunication Technology Council, Consejo de Tecnología de Telecomunicaciones)* de Japón y propuesta a la UIT en junio de 1998. Japón y Europa recomendaban versiones distintas de la norma W-CDMA. En cambio, Estados Unidos recomendaba normas basadas en tecnología cdma2000 y TDMA. El temor a crear otro sistema nacional aislado como el de teléfonos portátiles personales (PHS, *personal handyphone system*) y el celular digital personal (PDC, *personal digital cellular*), incita a Japón a optar por pasar su red medular a la tecnología GSM.

NTT DoCoMo será el primer operador que propondrá servicios 3G en Japón con el nombre comercial de "FOMA" (*freedom of mobile multimedia access* – acceso móvil multimedia libre), que se basa en la norma WCDMA de la UIT. El lanzamiento comercial definitivo del sistema FOMA estaba previsto inicialmente para el 30 de mayo de 2001 pero se aplazó al 1 de octubre de 2001. Entretanto, gracias al servicio que propuso al principio NTT DoCoMo y que puso en funcionamiento el 30 de septiembre de 2001, varios usuarios pudieron elegir entre tres tipos de microteléfonos diferentes: clásico (tipo FOMA N2001), con sistema de visualización (tipo FOMA P2101 V) o con tarjeta de datos (tipo FOMA P2401).

Las políticas de concesión de licencias para las estaciones de radiocomunicaciones 3G tenían en cuenta el método de selección comparativa. Además, se debían considerar los criterios siguientes para conceder licencias si había más de tres postulantes:

- Conveniencia de los servicios y adaptación a la demanda por parte de los clientes.
- Plan de instalación de la estación de base y posibilidades de modularidad.
- Utilización del espectro para evitar o reducir la interferencia con estaciones existentes tales como las del PHS.
- Conveniencia de crear estaciones radioeléctricas para proporcionar únicamente servicios IMT-2000.
- Contribución al desarrollo armonioso de las IMT-2000 mediante una utilización eficaz del espectro radioeléctrico y de los servicios nacionales, y compatibilidad con normas internacionales.

Al final, los resultados fueron los representados en la Tabla 6.8

Operadores	NTT DoCoMo	J-Phone	KDDI
Métodos de modulación	DS-CDMA	DS-CDMA	MC-CDMA
Fecha de solicitud de la licencia	3 de abril de 2000	19 de abril de 2000	12 de mayo de 2000
Lanzamiento del servicio	<p>30 mayo de 2001* región de Kanto (Tokai)</p> <p>1 de diciembre de 2001 regiones de Tokai y Kansai**</p> <p>1 de abril de 2002 regiones de Hokkaido, Tohoku, Hokuriku, Chugoku, Shikoku y Kyushu</p>	<p>1 de diciembre de 2001* regiones de Kanto, Tokai y Kansai**</p> <p>1 de octubre 2002 regiones de Hokkaido, Tohoku, Hokuriku, Chugoku, Shikoku y Kyushu</p>	<p>30 de septiembre de 2002 regiones de Kanto, Tokai y Kansai**</p> <p>31 de marzo de 2004 regiones de Hokkaido, Tohoku, Hokuriku, Chugoku, Shikoku y Kyushu</p>

**Tabla 6.8 Resultados del procedimiento de concesión de licencias en Japón.**

Los operadores móviles, además de preocuparse por la obtención de licencias en sus respectivos países, deben invertir dinero en la construcción o expansión de sus redes físicas. La infraestructura es un tema primordial para estimar costos de implementación de UMTS. La verdad es que la mayor parte de las operadoras no saben a ciencia cierta cuánto les va a costar construir una red UMTS. En general estas cifras varían entre 2,500 millones y 11,000 millones de dólares. En Inglaterra, Vodafone pagó cerca de 8,600 millones de dólares por la obtención de la licencia 3G, y posteriormente firmó con Ericsson para que éste le proporcionara la infraestructura necesaria por unos 5,800 millones de dólares. De manera similar, en Alemania, Mannesmann (ahora Vodafone Alemania), cambió su estructura de red invirtiendo unos 4,600 millones de dólares después de haber pagado 7,500 millones de dólares por su licencia UMTS. Esto nos lleva a pensar que el costo de una red de 3G es un tema de pensarse para cada operador de cada país.

Con respecto a los terminales multibanda y multimodo de 3G, los fabricantes han dicho que estarán disponibles al mercado masivo hasta principios del 2003, retrasando de alguna manera el lanzamiento de UMTS en el 2002. Es por esto que muchos creen que un beneficio para los operadores es dar servicios de 2.5G (GPRS) y de esta manera poder solventar los gastos de UMTS e ir introduciendo a los clientes a los nuevos servicios.

Ciertamente, el costo de construcción de una red UMTS será diferente para operadores ya establecidos y nuevas empresas. Las nuevas compañías sin infraestructura actual de GSM, se estima que gastarán en promedio 6,200 millones de dólares en la implementación de una red UMTS, tal es el caso de Sonera/Telefónica la alianza estratégica alemana. Los organismos reguladores han reconocido que debe existir un período de transición en el cual las nuevas operadoras puedan utilizar la infraestructura existente en lo que construyen la

suya. En la Tabla 6.9 se presenta el costo estimado por usuario correspondiente a un incremento de 1000 usuarios en una red GSM y en una UMTS [1].

Elemento de red	Costo por suscriptor (dólares)		Incremento (porcentaje)	Porcentaje del total (GSM)	Porcentaje del total (UMTS)
	GSM	UMTS			
Núcleo de red	20	24.5	22.5	10	7
Red Radio	70	101.5	45	35	29
Enlaces de transmisión	40	80.5	101.3	20	23
Mantenimiento de la red	22	38.5	75	11	11
Ventas y marketing	16	35	118.8	8	10
Facturación y atención al cliente	20	42	110	10	12
Servicios de administración de las TI	12	28	133.3	6	8
<b>Total</b>	<b>200</b>	<b>350</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabla 6.9 Cambio en el costo de una red GSM a una UMTS.

Basándonos en el hecho de que a principios del año 2002 las tecnologías de comunicaciones móviles más usadas en el mundo son GSM y GPRS, de acuerdo con una investigación de GSMworld.com avalada por la UIT, se prevé que para el año 2005, el número de usuarios móviles será de 697 millones, de los cuales el 40% será de UMTS, como puede observarse en la Figura 6.3.

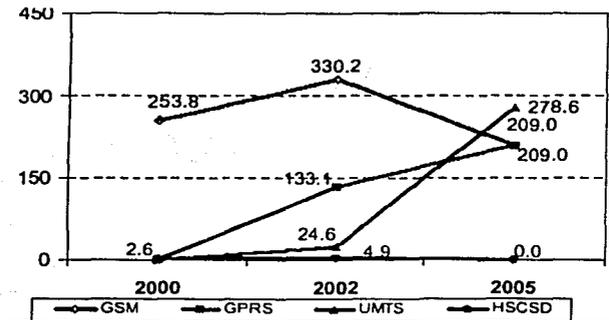


Figura 6.3 Suscriptores previstos de GSM, GPRS, UMTS y HSCSD hasta el 2005 (# de usuarios en millones)

### 6.2.2 Caso de México.

La situación actual de la telefonía celular en México es muy alentadora. Dos de los principales operadores móviles en el mundo (Vodafone y Telefónica) han entrado en nuestro país queriendo realizar grandes inversiones para mejorar los servicios existentes hasta el momento. En la Figura 6.4 se observa el aumento de usuarios de telefonía móvil en México desde 1990 hasta el 2001 [34].

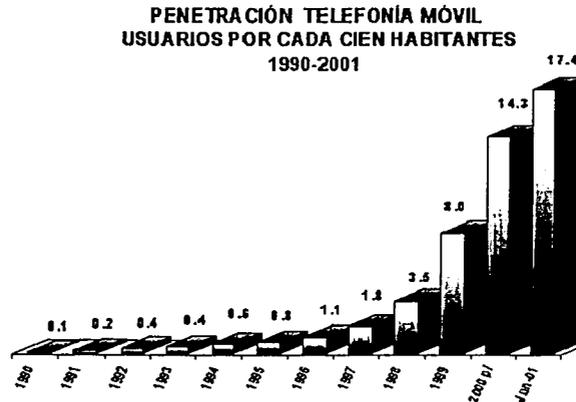


Figura 6.4 Aumento de usuarios de telefonía móvil hasta el 2001

Actualmente, en nuestro país aún existen sistemas de 1ª generación y los sistemas de 2ª generación están en su fase de madurez. CDMA y TDMA son los líderes del mercado, y las empresas mexicanas quieren sacar el mayor provecho de los mismos. Se ve difícil la entrada de sistemas de tercera generación a menos que exista una gran inversión de alguna empresa y arriesgándose a ver el resultado en el mercado. WAP, como en todos los países, ha resultado ser un fracaso. En México los resultados obtenidos por las 3 empresas que han comercializado este protocolo no ha sido el esperado. Las características del servicio ofrecido por estas empresas se puede observar en la Tabla 6.10

Empresa	Fecha de lanzamiento del servicio	Costo en pesos	Servicios.
Telcel	Sep-00	5-13	Noticias, e-commerce, banca, páginas amarillas, e-mail
Pegaso PCS	Mayo-00	Gratis	e-mail, banca, noticias, Yahoo!, AOL, Amazon
Iusacell	Julio-00	7-10	e-mail, servicios PDA, alo.com

Tabla 6.10 WAP en México.

México se encuentra en la Región 2 de las definidas por la UIT. Por su parte México tiene una larga frontera terrestre con los Estados Unidos de Norteamérica y acuerdos de reciprocidad y protección de señales radioeléctricas transfronterizas. La importancia de tender hacia un mercado común nos obliga a alinear en lo posible la atribución de frecuencias nacionales con aquella de nuestros vecinos y principales socios comerciales. Por estas razones en 1995 se inició en nuestro país el proceso de atribución y subasta de frecuencias para servicios de PCS en las mismas bandas asignadas en Estados Unidos y Canadá, de igual manera como ya se habfan concesionado en 1991 las frecuencias de telefonía celular en las bandas de 824 a 849 Mhz y de 869 a 894 Mhz.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en Ginebra en 1997, las Delegaciones se pronunciaron por la adopción de una banda de frecuencias para acceso móvil global, sujeta a condiciones técnicas y de mercado, bajo una norma operativa común a desarrollar denominada IMT 2000.

Desafortunadamente, las frecuencias identificadas entonces para ese fin, de 1885 a 2025 Mhz y de 2110 a 2200 Mhz incluyendo las subbandas para el componente satelital de 1980 a 2010 Mhz y de 2170 a 2200 Mhz, continuaban siendo incompatibles con las atribuciones de la Región 2, poniendo en entredicho las importantes inversiones en frecuencias e infraestructura que los operadores y concesionarios habfan ya realizado en PCS.

Las resoluciones WRC2000 dan cuenta de esta voluntad aunque nuevamente identifican bandas que en la Región 2 se encuentran asignadas a servicios concesionados cuyo despegue podría ser costoso y/o legalmente cuestionable: se trata de la banda de 1710 a 1885 Mhz en la cual los Estados Unidos tienen algunas aplicaciones militares y la de 2500 a 2690 Mhz donde precisamente operan los sistemas MMDS.

Los sistemas de radiodifusión de televisión por microondas o MMDS, se desarrollan desde los años 80 a partir de sistemas experimentales utilizados por algunas universidades norteamericanas, conocidos como ITFS (Instructional Television Fixed Service). Cuando la FCC abre la banda para fines comerciales se consolida una configuración de 31 canales analógicos de 6 Mhz ( de 2500 a 2686 Mhz )que competiría en su momento, gracias a su gran facilidad y versatilidad de instalación, con los sistemas de cable.

En la actualidad, la compresión digital y los modernos sistemas satelitales de difusión directa al hogar que ofrecen cientos de canales televisivos han comenzado a comprometer la viabilidad del MMDS, por lo que los concesionarios están explorando alternativas de utilización de sus frecuencias.

Por otro lado, durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del 2000, México apoyó las decisiones sobre la identificación a nivel mundial de las bandas de frecuencias adicionales de 806-960 MHz, 1710-1885 MHz y 2500-2690 MHz para las IMT-2000; con la expectativa de que la armonización mundial podría lograrse en estas bandas de frecuencias.

La selección de las frecuencias idóneas para los sistemas de tercera generación y futuras tecnologías inalámbricas propiciará el crecimiento económico, asimismo facilitará el desarrollo integral de los nuevos servicios de telecomunicaciones y el uso óptimo de los sistemas actualmente en operación en la Región 2.

México considera conveniente que los países de la Región 2 presenten una clara posición sobre sus preferencias para el uso del espectro radioeléctrico que fue identificado por la UIT-R para que en lo posible se pueda llevar una posición integral de la Región 2 en los trabajos del WP8F del UIT-R.

Con anterioridad, en México se utilizaba la banda de 1700 - 2300 MHz para el establecimiento de enlaces punto a punto, sin embargo, con base en las decisiones de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones de 1992 (CAMR-92), en 1994 se determinó el despeje de esta banda para dar cabida a nuevos servicios de radiocomunicaciones, lo cual se encuentra en proceso.

En el caso de la banda de 1850-1990 MHz, en 1998 el Gobierno de México, decidió otorgar concesiones por 20 años en las sub-bandas A, B, D y E, del plan de frecuencias de los PCS, y se tienen en reserva las sub-bandas C y F. En cuanto a la banda de 2500-2690 MHz, está atribuida para servicios de televisión y audio restringido, utilizando sistemas MMDS. Dentro del rango de 2150-2170 MHz, México está analizando el impacto, al desarrollo de los sistemas de 3G, de atribuir la banda de 2150-2162 MHz, para los canales de retorno de los MMDS.

En los análisis realizados en México, tendientes a contribuir a los trabajos a nivel regional y mundial para la determinación de los planes de frecuencias que permitan la introducción eficiente de las IMT-2000, se han identificado los siguientes principios fundamentales:

- Evolución de los sistemas actuales maximizando las inversiones hechas hasta el momento en sistemas de 2G, garantizando su evolución a 3G.
- Uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- Facilitar el roaming global
- Factibilidad tecnológica.
- Compatibilidad entre sistemas 3G para tener acceso a las economías de escala.
- Uso de frecuencias que garantice el futuro desarrollo de los sistemas IMT-2000.

Las Administraciones que hayan otorgado licencias PCS, se verán imposibilitadas para utilizar esta banda para sistemas 3G bajo el plan UMTS, pero como se mencionó antes, los PCS podrán evolucionar en sus bandas de frecuencias actuales. Por esta razón, para introducir nuevos sistemas de 3G se deberán utilizar bandas de frecuencias fuera del espectro asignado a los PCS.

Es de esperarse que la evolución del GSM-1800 hacia servicios de 3G, tenga lugar en la misma banda de frecuencias. Con base en lo anterior, se considera que la adopción de un plan de frecuencias para 3G en la banda de 1710-1885 MHz que sea compatible con el plan GSM-1800, resulta ser el más adecuado. En los países donde esta banda de frecuencias se

encuentra disponible, como es el caso de México, permitirá la armonización de espectro y el roaming mundial en el corto plazo.

Para hacer eficiente el uso del espectro radioeléctrico, el segmento intermedio entre los bloques de frecuencias para el enlace de subida (Uplink, R/L) y el enlace de bajada (Downlink, F/L) del GSM-1800, podría aparearse con un segmento en la banda de 2110-2170 MHz.

El espectro que ya fue asignado en la Región 2 por algunas administraciones para los sistemas PCS y Celular, tendrá la oportunidad de evolucionar hacia servicios de tercera generación, tal como es el caso de México, por lo que se seguirá apoyando que dichos sistemas evolucionen para prestar servicios de tercera generación.

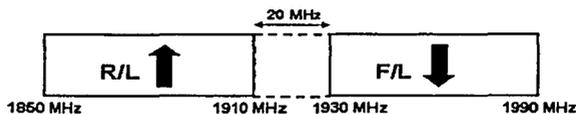


Figura 6.5 Banda de PCS y 3G para México.

La banda de los 800 MHz ha sido ampliamente utilizada en la Región 2 para la aplicación celular, estos sistemas también podrán tener la oportunidad de evolucionar para ofrecer servicios de 3G, por lo tanto México también apoyará el desarrollo de estos sistemas para que ofrezcan servicios de tercera generación.

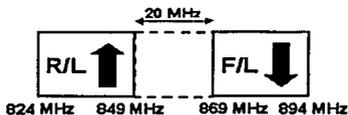


Figura 6.6 Banda de Telefonía celular y de 3G en México.

Las compañías celulares en México harán uso de las mismas frecuencias que utilizan para implantar la telefonía de tercera generación (3G). Así que las nueve regiones, ya concesionadas, no tendrán problema alguno para ofertar el servicio 3G en el país

Desde 1998, la Cofetel ha trabajado para evolucionar a la tercera generación en telefonía. Los principios fundamentales que se han tenido con la industria son cómo facilitar la migración de los servicios de segunda a tercera generación, al apuntar que la 3G no es otra cosa que una "peccata minuta" adicional de desarrollo tecnológico a los servicios móviles que puede enviar la transmisión de datos a mayores velocidades con servicios multimedia. Además es importante que se dé un uso eficiente del espectro radioeléctrico.

La decisión de hacer uso de la frecuencia 1885-2025 Mhz es garantizar que se está dentro del sistema MIT 2000 para facilitar que las comunicaciones sean totalmente globales, además de asegurar la compatibilidad de los sistemas de tercera generación de México y

otros países, para tener acceso a las economías de escala en la producción de los equipos de comunicación. En particular es muy importante manejar el espectro de una manera voluntaria frente a Estados Unidos.

Los trabajos que se han ido desarrollando desde 1998, hicieron que México apoyara la decisión de la conferencia mundial de radiocomunicación de incluir bandas adicionales de espectro, en las cuales se podría dar la modificación en el IMT2000 y en particular se agregaron las bandas de 806 a 960 Mhz, que es donde se encuentran los servicios de telefonía celular.

Sin embargo, la banda de los 1710 a 1885 Mhz en México se podría utilizar para los servicios de tercera generación haciendo uso del estándar GSM. Mientras, Estados Unidos ha llevado a cabo un análisis para pasar las bandas antes mencionadas a otra frecuencia (debido a que actualmente se utilizan para fines de seguridad militar) y en caso de hacer la transferencia de las frecuencias se utilizarán en 3G.

Pero existe un problema difícil de superar que son los servicios militares. Recientemente a inicios de agosto, EU determinó explorar nuevas bandas de frecuencias para probar los servicios de 3G, al dejar pendiente la subasta que se tenía programada para septiembre de 2002, al mismo mes de 2004.

La posición de México es por la banda de los 1710 y 1885 Mhz, porque esa banda se encuentra prácticamente desocupada, mientras que en EU particularmente las bandas de 1755 a 1850 se encuentran ocupadas por los equipos militares de comunicación satelital. Sin embargo, los servicios que se dan de los 1700 a 1755 son relativamente más fáciles de trasladarse a otras zonas del espectro, que hasta el momento no es nada oficial, esta banda después de desocupada bien podría ser para 3G.

Lo interesante de esta banda para 3G, al respetar la validación que se ha hecho en Europa para GSM en los 1800, comenta el comisionado, es que podríamos tener en esta banda un servicio global, ello armonizaría las frecuencias a escala mundial, ya que el principal obstáculo son los usos que tienen estas bandas en EU.

Mientras 3G continúa siendo una incógnita, varias empresas preparan redes de datos móviles intermedias, predominantemente en GSM/GPRS. Aunque con dudas acerca de cómo comercializar los servicios.

En México, 3G se mantiene sólo a la expectativa. Porque la realidad latinoamericana se ve atada a la falta de decisión de los Estados Unidos para alojar estos servicios en su espectro y a la crisis financiera que atraviesa la industria ocasionada en gran parte por los precios abonados para lograr licencias de 3G en Europa.

Sin embargo, a la espera de lo que sucede con 3G en el mundo, varios operadores latinoamericanos comenzaron a migrar sus redes para ofrecer transmisión de datos móviles a mayor velocidad.

El estándar para telefonía móvil más difundido en México es TDMA. Su evolución natural para 3G es la tecnología EDGE que se encuentra retrasada en su desarrollo.

La solución que encontraron los operadores es migrar a GSM/GPRS, una solución denominada 2,5G y desde allí escalar hacia EDGE para GSM, desembocando, finalmente, en WCDMA una vez que los servicios 3G estén disponibles.

Las empresas que utilizan en sus tendidos CDMA, deberán subir a CDMA 1X para 2,5G y CDMA 2000 en Tercera Generación. La cuestión a dirimir es que, si bien CDMA cuenta con una mayor eficiencia en la utilización del espectro, el estándar europeo GSM cuenta con mayor cantidad de abonados a escala mundial –más de 500 millones- y, por ende, con un mayor desarrollo de aplicaciones.

Nada menos que en Estados Unidos, AT&T Wireless (16 millones de abonados) decidió pasar de TDMA a GSM/GPRS. A su vez, la decisión del gobierno brasileño de elegir para sus PCS el estándar GSM en 1.800 MHz facilita la economía de escala para la tecnología europea en el continente.

El proveedor de equipos sueco Ericsson, firmó un contrato similar con Telcel (América Móvil). Telcel es la mayor compañía celular mexicana con cerca de 12 millones de clientes y su tendido GPRS será el primero en desarrollarse en México. Se estima que durante el tercer trimestre de este año estarán funcionando comercialmente los servicios.

Pero el mercado de México enfrenta desafíos particulares. Más del 60% de los usuarios de telefonía celular opta por la modalidad prepaga, que genera menores ingresos por usuario para las empresas. Por otra parte, la introducción de WAP no resultó exitosa en la medida que se esperaba, en parte por la aceptación del mercado y otro tanto por la demora en el arribo de los terminales capaces de soportar este protocolo, situación que podría repetirse con la aparición de nuevas tecnologías.

### **6.3 Modelos de negocio en el mundo**

El Portal Móvil será un elemento fundamental para la nueva era de los negocios 3G [21]. En él se establece la interfaz de la información y de las aplicaciones frente a los clientes. Existirán portales horizontales que ofrecerán contenidos de tipo general y de uso masivo, aplicaciones como la mensajería y los servicios de información personalizada. Los portales verticales irán jugando un papel más importante y estarán enfocados a los múltiples grupos de interés o comunidades. Sobre los portales se asentarán los negocios, desarrollando el comercio electrónico y también todos los ingresos por publicidad, y serán, asimismo, una referencia del propio valor del operador móvil 3G en la medida en que se incremente el número de visitas de clientes y la capacidad para interactuar con los usuarios y ofrecer todo tipo de soluciones y negocios en el mundo móvil multimedia. Los portales han de potenciar la capacidad para crear interfaces personales muy pegadizas y el hábito de conexión por parte de los clientes.

La clasificación de los modelos de negocio oficialmente reconocidos para la era de Internet móvil pueden observarse en la Tabla 6.11

Modelo de Negocio	Características
e-(m)shop	Se encarga del marketing en Web de una compañía, incluyendo la posibilidad de la compra y el pago de los productos.
e-(m)procurement	Incluye la administración de compras de bienes y servicios.
e-(m)auction	Mecanismo electrónico para realizar subastas
e-(m)mall	Conjunto de tiendas agrupadas bajo un sistema común
e-(m)learning	Aplicaciones diseñadas para la enseñanza on-line.
Market place de terceros	Terceras compañías que realizan el marketing de aquellas que así lo prefieran.
Comunidades virtuales	Miembros que añaden su información a un entorno común provisto por la compañía que ofrece la comunidad virtual.
Proveedor de servicio de cadena de valor	Especialista en una función específica de la cadena de valor, ya sea en el pago electrónico, la logística, etc.
Integrador de cadena de valor	Empresa que integra múltiples pasos de la cadena de valor con el potencial de explotar los flujos de información entre esos pasos como elemento de valor.
Plataformas de colaboración	En este caso se provee de un conjunto de herramientas y un entorno de información y colaboración entre empresas como puede ser soporte a proyectos con un equipo virtual de consultores.

Tabla 6.11 Modelos de negocio móviles.

Las fuentes de ingresos posibles para los agentes del mercado móvil multimedia se observan en la Tabla 6.12

Agentes	Fuente de ingresos							
	Alta de suscripción	Cuotas al mes	Tiempo de conexión básico (Airtime)	Tiempo de conexión al portal	Publicidad	Transacciones e-commerce servicios	Transacciones e-commerce por cantidad de información	Precio Mbit/s. Cantidad de información
Operador Móvil Multimedia	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Proveedor de Acceso a Internet Móvil				\$	\$	\$	\$	\$
Proveedor de servicio						\$	\$	\$
Proveedor de contenido							\$	\$

Tabla 6.12 Ingresos posibles para los agentes del mercado móvil multimedia

## 7. Conclusiones

Con el presente trabajo se ha logrado conocer mejor el estándar de comunicaciones móviles UMTS, en particular de su interfaz de radio. Durante el desarrollo del mismo se han conocido muchos aspectos de esta nueva tecnología, tales como: la arquitectura de la Red, donde se describieron los elementos que la componen, los fundamentos de la técnica de acceso DS-CDMA, junto con los códigos de la fuente y la codificación del canal empleada en UMTS, le estructura del protocolo y los canales lógicos, físicos y de transporte; se habló de los Modos FDD y TDD, y se profundizó en el aspecto de radiofrecuencia del sistema.

Para comprender todo esto fue necesario remontarse a varios temas estudiados en la carrera y conjuntarlos, de manera que el Capítulo 2 ha correspondido a una base teórica sobre telefonía celular. Posteriormente, se ha profundizado en las comunicaciones móviles de tercera generación, las cuales se conocen mundialmente como IMT-2000, siendo UMTS una de ellas.

Aún cuando las redes de comunicaciones celulares de segunda generación (GSM en Europa, IS-136 e IS-95 en EU) no han terminado de desplazar por completo a las de primera generación, en los últimos años ha habido una actividad muy fuerte de investigación y desarrollo a nivel internacional para finalizar los estándares de tercera generación que, eventualmente y de manera gradual, substituirán a las redes de segunda generación.

El cambio de primera a segunda generación se produjo como una respuesta a la saturación del espectro reservado para comunicaciones celulares (banda de 800 MHz). La tecnología TDMA (IS-136) logró multiplicar por tres el número de usuarios que FDMA podía atender en un canal, y CDMA (en promedio) incrementó este número a 5. La introducción de tecnología inalámbrica de tercera generación no se dará como respuesta a la saturación del espectro radioeléctrico, sino con la finalidad de ofrecer nuevos servicios de telecomunicaciones a los usuarios. Estos servicios no solamente serán para transferencia de información entre usuarios sino también entre dispositivos portátiles que funcionarán a nombre de los usuarios (aplicaciones bursátiles, transferencia de imágenes, correo electrónico, etc.).

Las redes de tercera generación estarán enfocadas hacia la transferencia de voz y datos con una velocidad máxima de 2 Mbps, velocidad que es suficiente para proporcionar servicios verdaderamente multimedia (tales como transferencia de archivos de imágenes, video en tiempo real, etc.), aunque los valores óptimos serían velocidades que van hasta los 10 Mbps (equivalentes a las de las redes LAN's típicas). Estos servicios multimedia de alta velocidad son el nicho que pretende atacar la tecnología de cuarta generación, de la cual se ha empezado a hablar en la UIT desde el año 2000 y está enfocada por el momento a una mejora en los servicios de 3G.

UMTS representa la alternativa europea para evolucionar a la 3G. El sistema UMTS es el que se encuentra más avanzado de los definidos por la UIT, ya que actualmente se dispone de la solución GPRS en varios países, así como el comienzo de la prestación de servicios de 3G durante el año 2001 en Japón. Actualmente está previsto que en Europa se comience a dar servicio a partir de octubre de 2002.

El sistema cdma2000 previsiblemente también comenzará a prestar servicio durante este año, en sus versiones cdma2000 RTT 1X y cdma2000 EV-DO (Estados Unidos y previsiblemente Latinoamérica), las cuales, si bien proporcionan más capacidad que las redes GPRS, no son estrictamente sistemas de tercera generación, ya que no cumplen con el gran ancho de banda de UMTS (hasta 2 Mbps) y no tienen compatibilidad global.

Técnicamente UMTS está diseñado para cumplir dos objetivos principales: itinerancia global y mayor ancho de banda. El segundo de ellos se resuelve por medio de la incorporación de la técnica DS-CDMA (conocida también como Wide-CDMA) la cual nos mejora la eficiencia del espectro por medio del ensanchamiento producido por la codificación de la fuente. La planificación Radio óptima es la idea pensada para poder cumplir con la cobertura y las calidades de servicio que se requieran. Así, se planearán estructuras celulares jerárquicas con el posible empleo del satélite, ya que con respecto al tema de cobertura, UMTS deberá cumplir primero la condición de dar servicio global para voz, y luego calidad de servicio para datos a altas velocidades de transmisión.

Se ha realizado una simulación que permite apreciar mejor todos los aspectos particulares de UMTS en el aspecto de RF, pudiendo conocer mejor la conformación de los balances de potencia, los balances de tráfico, modelos de propagación, y todos los parámetros que los conforman. Se han realizado cálculos de enlace bajo distintos ambientes y para diferentes servicios empleando el modelo de propagación Hata-COST231, el más empleado en comunicaciones móviles. Dicho método se programó en Matlab y se obtuvieron gráficas para diversas aplicaciones del modelo, sirviendo éstas de base para cualquier planificación radio que quiera hacerse en UMTS. Existen herramientas de simulación que utilizan este modelo y posteriormente optimizan los parámetros de los cálculos de enlace de acuerdo con las regiones geográficas en las que se quiera planificar los enlaces.

Se ha podido apreciar cómo afecta el ruido a los enlaces, observándose en todos los casos que para un ambiente urbano (en el que hay muchos usuarios y por lo tanto muchas interferencias) el radio de cobertura siempre es menor que para un ambiente rural. También se observó que este radio siempre es menor para usuarios con comunicaciones de datos a 384 kb/s; el número de usuarios de estos servicios a nivel macrocelular siempre va a ser pequeño, razón por la cual se tiene pensado utilizar microcélulas y picocélulas para estas altas velocidades de transmisión. Para enlaces con terminales que se encuentren en un ambiente vehicular viajando a grandes velocidades del móvil (120 km/h) la máxima velocidad de transmisión de datos que se va a ofrecer en macrocélulas en el modo FDD es de 144kb/s, esto es debido al reducido tamaño de las células que se van a tener para transmisión de datos a gran velocidad.

De acuerdo con las gráficas obtenidas para diversas frecuencias al aplicar el modelo de propagación se observa que al aumentar la frecuencia también aumenta la distancia de cobertura para un valor fijo de atenuación compensable. Esto es lógico, ya que una mayor frecuencia se traduce en una mayor ganancia de la antena [46] y por lo tanto es posible alcanzar distancias mayores de cobertura, esto está contemplado en el Modelo Hata-COST231. También, al aumentar la altura de la antena de la estación base se tiene un menor radio de cobertura, esto es debido a que la distancia del enlace es mayor ya que la altura del terminal móvil se considera constante.

Por otro lado, al realizar el trabajo se observó uno de los procesos que se está generando mundialmente y que se ha dado en todo el mundo de las telecomunicaciones pero en especial en relación con los operadores de telefonía móvil, el cual es la fusión y/o creación de alianzas entre empresas. Por mencionar algunos ejemplos se encuentra la creación de la operadora más grande de E.U. Verizon, la cual surgió de la unión de GTE y Bell Atlantic; también está la adquisición del 20% de las acciones de ATT Wireless por parte de NTT DoCoMo, operador líder en Japón; y por último se puede hacer mención del gran número de operadoras fusionadas o compradas por Vodafone, el operador líder en comunicaciones móviles a nivel mundial, siendo las más importantes Mannesmann de Alemania, Airtel de España y J-Phone de Japón. Ahora con la aparición de terminales móviles de tercera generación las alianzas entre operadoras y fabricantes puede verse fortalecida como Vodafone-España con Nortel o Mannesmann en Alemania con Sony-Ericsson.

Lo anterior da una idea de la forma en que se están dando los movimientos entre empresas del ramo a nivel mundial para el desarrollo de UMTS y permite tener una visión de hacia dónde se dirigen los nuevos servicios y plataformas tecnológicas con sus efectos sociales, políticos y económicos.

En el caso de México, UMTS ofrece la posibilidad de llevar servicios de telecomunicaciones de avanzada a personas que viven fuera de las grandes aglomeraciones urbanas y que quizás ni siquiera cuentan hoy con telefonía fija. Esto permitiría administrar un negocio incluso desde un pequeño pueblo y aún así mantenerse en contacto con los clientes y proveedores. Con la tecnología satelital hasta los puntos más remotos de un país, se puede tener acceso a servicios avanzados. La tecnología terrestre garantizará suficiente capacidad para las áreas más densamente pobladas. De este modo, lejos de ser un lujo de pocos, UMTS tiene la posibilidad de convertirse en el principal canal de telecomunicaciones del futuro y en un soporte indispensable para un desarrollo económico saludable de nuestro país, pero tecnológicamente la inversión de las empresas operadoras móviles de México tendría que ser muy alta para poder construir redes de 3G.

En nuestro país es probable la migración hacia cdma2000, debido a nuestra cercanía con E.U. y a las redes CDMA instaladas; pero UMTS está entrando con fuerza en América Latina. Chile y Venezuela van a adoptarlo como estándar de 3G. Además de CDMA, existen aún redes de primera generación en México y redes TDMA. TDMA se enfrenta a un gran problema: en su evolución hacia la 3G no tiene un camino claramente definido, aunque se piensa que va a unirse a GSM en la fase EDGE. De ahí que varias operadoras en E.U. y Latinoamérica estén optando por una migración de sus redes a GSM (Telcel) y de

ahí evolucionar a UMTS. Si en México no se cambian estas redes TDMA, esto nos va a llevar a estar siempre un paso atrás, y desde el punto de vista de negocios y estratégico, no es aceptable.

Este trabajo queda abierto para poder ser continuado, profundizando en otros subsistemas o interfaces del estándar UMTS, tales como la manera de implementar una arquitectura del sistema basada en IP, diferentes modelos de propagación o la componente satelital del mismo, tanto desde el punto de vista tecnológico como del económico.

## Referencias.

- [1] Selian, Audrey, "ITU. 3G Mobile Licensing Policy: GSM Case Study", Enlace: <http://www.itu.int/3g>.
- [2] UMTS Forum, "The UMTS Forum-Shaping the Mobile Future". Octubre 2000 p.3. Enlace: <http://www.umts-forum.org/brochures/UMTS.pdf>
- [3] Frost & Sullivan, "European Overview", Frost & Sullivan Research. 2001, p.2-1.
- [4] ITU World Telecommunications Development Report 2000.
- [5] Eylert, Bernd Dr., "UMTS: Making Mobile Multimedia Happen for Every Nation", UMTS Forum, UK.
- [6] Rappaport, S. Theodore, "WIRELESS communications. Principles & Practice", Prentice Hall PTR, E.U., 1996.
- [7] Stallings, William, "Data and Computer Communications", MacMillan, E.U., 1994.
- [8] Jung, Peter et al., "Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in Cellular Mobile Radio Applications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 42, No. 3, August 1993, pp. 357-364.
- [9] Kazuaki, Muroa, Kenkichi, Hirade (Mebers IEEE), "GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony", IEEE Transactions on Communications. VOL. COM-29, No. 7, July 1981.
- [10] [http://mailweb.udlap.mx/lgojeda/telecomsis/modulation\\_techniques/capii/23.html](http://mailweb.udlap.mx/lgojeda/telecomsis/modulation_techniques/capii/23.html)
- [11] Couch, Leon, "Sistemas de comunicaciones analógicos y digitales", Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, México D.F., 1997.
- [12] Redl, Siegmund, Weber, Matthias, Oliphant, W. Malcolm, "An Introduccion to GSM", Artech House Publisers,1995.
- [13] <http://www.airtelvodafone.com/campus>
- [14] Prasad, Ramjee, Mohr, Werner, Konhauser, Walter, "Third Generation Mobile Communication Systems", Artech House Universal Personal Communications Library, 470 páginas, Artech House, Marzo 2000.
- [15] "Generation Wireless", Network computing, Volumen 12, Junio 11, 2001, p.118.

- [16] Andersson, Christoffer, **"GPRS and 3G Wireless Applications: Professional Developer's Guide"**, John Wiley & Sons, 352 páginas, primera edición, Mayo, 2001,
- [17] <http://www.mobileenhanceddata.com/>
- [18] Whipple, David P., **"The CDMA Standard"**, Applied Microwave & Wireless, Winter 1994, pp.24-39.
- [19] Holma, Harri, Toskala Antti, **"WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communication"**, John Wiley & Sons, 322 páginas, 1ª edición, Enero, 2000.
- [20] Aghvami, Hamid, Groves, Ian, **"Umts/Imt2000"**, John Wiley & Sons, 320 páginas, Julio, 2001.
- [21] Hernando Rábanos, José María, Lluch Mesquida, Cayetano, **"Comunicaciones Móviles de Tercera Generación"**, Telefónica Móviles España, Segunda edición. Tomos I y II, Madrid, España, 2001.
- [22] Kaaranen, Heikki, Naghian Siamak, **"UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services"**, John Wiley & Sons, 384 páginas, primera edición, Agosto, 2001.
- [23] Castro, P. Jonathan, **"Air Interface Techniques: The Umts Radio Access Technology"**, John Wiley & Sons, 350 páginas, Mayo 2001.
- [24] Benedetto, S., Montorsi, G., **"Design of Parallel Concatenated Convolutional Codes"**, IEEE Transactions on Communications, mayo 1996, Vol. 44 nº5, pp. 591-600.
- [25] Muratore, Flavio, **"UMTS Mobile Communications for the Future"**, John Wiley & Sons, 264 páginas, Enero, 2001.
- [26] Jensen O.K. et. Al, **"RF receiver requirements for 3G W-CDMA mobile equipment"**, Microwave Journal, Febrero 2000, pp.76-86.
- [27] <http://www.ee.surrey.ac.uk/>
- [28] <http://www.skystation.com>
- [29] <http://www.nasa.gov>
- [30] <http://www.umts-forum.org>.
- [31] <http://www.3gpp.org>
- [32] <http://www.itu.int>.

[33] <http://www.etsi.org>.

[34] <http://www.cft.gob.mx>.

[35] Kuhlmann, Federico, "Informática y Telecomunicaciones". Fondo de Cultura Económica. México D.F., 1994.

[36] Briseño, Arturo, "ITU. FIXED-MOBILE INTERCONNECTION THE CASE OF MEXICO", Enlace: [http://www.itu.int/osg/sec/spu/ni/fmi/case\\_studies/](http://www.itu.int/osg/sec/spu/ni/fmi/case_studies/)

[37] [http:// www.telcel.com.mx](http://www.telcel.com.mx)

[38] <http://www.telefonica.com/mexico/>

[39] [http:// www.iusacell.com.mx](http://www.iusacell.com.mx)

[40] <http://www.vodafone.com>

[41] [http:// www.pegasopcs.com.mx](http://www.pegasopcs.com.mx)

[42] <http://www.unefon.com.mx>

[43] <http://www.teltarifas.com/movil/>

[44] "A week in Wireless #37", Revista electrónica, Informa Telecoms & Tech, Enlace: <http://www.telecomms.com>

[45] Srivastava, Lara, "ITU 3G Mobile Policy: The case of Japan", Enlace: <http://www.itu.int/journal/200108/S/html/xref>

[46] Kraus, John, "Antennas", McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> Edition, USA, 1988.

**Referencias electrónicas de apoyo:**

- <http://www.3gpp.org/>
- <http://www.uwcc.org/>
- <http://www.umtscongress.com/>
- <http://www.itu.int/home/index-es.html>
- <http://www.ericsson.es/>
- <http://www.siemens.nl/umts/>
- [http://www.samsungelectronics.com/network/product\\_mnetwork/about3g/3g\\_index](http://www.samsungelectronics.com/network/product_mnetwork/about3g/3g_index).
- <http://www.umts-portal.com/>
- <http://www.umtsforum.net/tecnologia.asp>
- <http://www.cellular.co.za/umts.htm>
- <http://www.prattfamily.demon.co.uk/mikep/gsmnet.html>
- <http://www.tbm.tudelft.nl/webstaf/rudiw/TB9612/UMTS/Umts0.htm>
- <http://www.cellular-news.com/>
- <http://www.umts-report.com/>
- [http://www.ahdoc.com/umts\\_com/](http://www.ahdoc.com/umts_com/)
- [http://srd.yahoo.com/goor/UMTS/10/\\*http://www.umts-dp.com/](http://srd.yahoo.com/goor/UMTS/10/*http://www.umts-dp.com/)
- <http://www.umts.de/>
- <http://www.siemens.com/umts>

## Anexo 1. Glosario de Abreviaturas.

- 1G:** Abreviatura para lo sistemas celulares de primera generación.  
**2G:** Abreviatura para lo sistemas celulares de segunda generación.  
**3G:** Abreviatura para lo sistemas celulares de tercera generación.  
**3GPP (Third Generation Partnership Project):** Proyecto Conjunto para la Tercera Generación de Móviles.  
**3GPP2 (Third Generation Partnership Project Two):** Proyecto Conjunto para la Tercera Generación de Móviles enfocado hacia cdma2000..  
**4G:** Abreviatura para lo sistemas celulares de cuarta generación.
- AAA (Authentication, Authorization and Accounting):** Autenticación, autorización y registro.  
**AAL (ATM Adaption Layer):** Capa de adaptación ATM  
**AAL2 (ATM Adaptation Layer type-2):** Capa de Adaptación de ATM de Tipo-2.  
**ACIR (Adjacent Channel Interference Ratio):** Relación de interferencia de canal adyacente.  
**ACPR (Adjacent Channel Power Ratio):** Relación de potencias en el canal adyacente.  
**ACTS (Advanced Communication Technologies and Services):** Tecnologías y Servicios Avanzados de Comunicación.  
**AE (Application Environment):** Entorno de Aplicación.  
**AH (Address Handling):** Manejo de direcciones.  
**AICH (Acquisition Indication Channel):** Canal de indicación de adquisición.  
**ALCAP (Access Link Control Application Protocol):** Protocolo de Aplicación del control del enlace de acceso.  
**AMPS (American Mobile Phone System):** Sistema de telefonía móvil americano.  
**AMR: (Adaptative Multi-Rate):** Codificador Adaptativo de tasa múltiple.  
**AN (Access Network):** Red de Acceso.  
**ANSI (American National Standards Institute):** Instituto americano de normas nacionales  
**API (Application Programming Interface):** Interfaz de programación de aplicaciones  
**ARIB (Association of Radio Industries and Businesses):** Asociación de Industrias de Radio y Negocios en Japón.  
**AS (Access Stratum):** Estrato ligado al acceso.  
**ASCII (American Standard Code for Information Interchange):** Código estándar norteamericano para intercambio de información.  
**ASK (Amplitude Shift Keying):** Desplazamiento por División de Amplitud.  
**ATM (Asynchronous Transfer Mode):** Modo de Transferencia Asíncrono.  
**AuC (Authentication Centre):** Centro de autenticación.
- BCH (Broadcast CHannels):** Canales de difusión.  
**BCCH (Broadcast Control CHannel):** Canal de control de difusión.  
**BER (Bit Error Rate):** Tasa de errores de bits  
**BG (Border Gateway):** Pasarela del borde.

**B-ISDN (Broadband-Integrated Service Digital Network):** Red digital de servicios integrados de banda ancha.

**BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol):** Protocolo de Control de difusión/multicast.

**BPC (Basic Physical Channel):** Canal físico básico .

**BPS (bits per second):** Bits Por Segundo.

**BS (Base Station):** Estación base.

**BSC (Base Station Controller):** Controlador de la estación base.

**BSS (Base Station System):** Sistema de estación base, en el Sistema GSM.

**BTS (Base Transceiver Station):** Estación base transceptora.

**CAMEL (Customized Application for Mobile Enhanced Logic):** Lógica Mejorada Móvil Personalizada.

**CC (Call Control):** Control de llamadas.

**CCF (Call Control Function):** Función de Control de Llamadas.

**CCCH (Common Control Channel):** Canal de control común.

**CCIR (Comite Consultatif International des Radiocommunications):** Comité consultivo internacional de Radiocomunicaciones.

**CCITT (Comite Consultatif International du Télégraph et Téléphone) Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico.**

**CCPCH (Common Control Physical Channel):** Canal físico de control común.

**CCTrCH (Coded Composite Transport Channel):** Canal de Transporte compuesto.

**CDMA (Code Division Multiple Access):** Acceso Múltiple por División de Código.

**CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications):** Conferencia europea de las administraciones de Correos y Telecomunicaciones .

**CIF (Common Intermediate Format):** Formato Común Intermedio.

**CN (Core Network):** Núcleo de Red.

**COFETEL:** Comisión Federal de Telecomunicaciones

**CRC (Cyclic Redundancy Code):** Código de Redundancia Cíclica.

**CS (Circuit Switching):** Conmutación de circuitos.

**CSCF (Call State Control Function):** Función de Control del estado de llamadas

**CTCH (Common Traffic Channel):** Canal de tráfico común.

**DAMPS (Digital Advance Mobile Phone Service):** Servicio Avanzado de telefonía móvil digital.

**DC (Dedicated Control):** Control dedicado

**DCCH (Dedicated Control Channel):** Canal de control dedicado.

**DCH (Dedicated Channel):** Canal dedicado.

**DCS (Digital Cellular System):** Sistema celular digital.

**DCT (Discrete Cosine Transformation):** Transformada Coseno Discreta.

**DECT (Digital Enhanced Cordless Telephony):** Telefonía digital inalámbrica mejorada.

**DNS (Domain Name Server):** Servidor de nombres de dominio.

**DPCCCH (Dedicated Physical Control Channel):** Canal físico dedicado de control.

**DPCH (Dedicated Physical Channel):** Canal físico dedicado.

**DPDCH (Dedicated Physical Data Channel):** Canal físico dedicado de datos.

**DS-CDMA (Direct Sequence CDMA):** CDMA de secuencia directa.

**DTCH (Dedicated Traffic Channel):** Canal de tráfico dedicado.

**DTE (Data Terminal Equipment):** Equipo terminal de datos.

**EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution):** Datos Mejorados para la Evolución de GSM.

**EIR (Equipment Identity Register):** Registro de Identificación de equipo.

**ETSI (European Telecommunications Standards Institute):** Instituto europeo de normas de telecomunicación.

**FACH (Forward Access Chanel):** Canal de acceso dirigido.

**FDD (Frequency Division Duplex):** Dúplex por División de Frecuencia.

**FDMA (Frequency Division Multiple Access):** Acceso múltiple por división de frecuencia .

**FEC (Forward Error Correction):** Corrección de errores hacia adelante.

**FH (Frequency Hopping):** Salto de Frecuencia.

**FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access):** Libertad de Acceso Móvil Multimedia.

**FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System):** Sistema Futuro Público de Telecomunicaciones Móviles Terrestres.

**FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System):** Sistema de Acceso Múltiple de banda ancha para radiocomunicaciones futuras.

**FSK (Frequency Shift Keying):** Desplazamiento por división de frecuencia.

**FTP (File Transfer Protocol):** Protocolo de Transferencia de archivos.

**GC (General Control):** Control general

**GEO (Geostationary Earth Orbit) Órbita geostacionaria terrestre.**

**GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network):** Red de Acceso Radio GSM/EDGE.

**GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Nodo Soporte GPRS de pasarela.

**GMPCS (Global Mobile Personal Communication Systems):** Sistemas de Comunicación Personal Móviles Globales.

**GMSK (Gaussian Minimun Shift Keying):** Modulación por desplazamiento mínimo con filtro gaussiano.

**GMSS (Geostationary Mobile Satellite Standard):** Estándar Satelital Móvil Geostacionario.

**GOS (Grafe Of Service):** Grado de Servicio

**GPRS (General Packet Radio Service):** Servicio General de Paquetes vía Radio.

**GPS (Global Positioning System):** Sistema de Posicionamiento Global.

**GSM (Global System for Mobile Communications):** Sistema Global de Telecomunicaciones Móviles.

**HLR (Home Location Register):** Registro de localización de origen.

**HN (Home Network):** Red Base

**HSCSD (High Speed Circuit Switched Data):** Datos a alta velocidad por conmutación de circuitos.

**HSS (Home Subscriber Server):** Servidor de Abonado local.

**HTML (HyperText Markup Language):** Lenguaje de generación de documentos hipertexto.

**HTTP (HyperText Transfer Protocol):** Protocolo de transferencia de documentos hipertexto.

- ICO (Inclined Circular Orbit):** Órbita circular inclinada.
- ICGW (Incoming Call Gateway):** Pasarela de llamada entrante.
- IDEN (Integrated Digital Enhanced Network):** Red Mejorada Digital Integrada.
- IEC (International Electrotechnical Commission):** Comisión electrotécnica internacional.
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):** Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.
- IETF (Internet Engineering Task Force):** Grupo de Desarrollo de Ingeniería en Internet.
- IMEI (International Mobile Equipment Identity):** Identidad Internacional de Equipo Móvil.
- IMS (IP Multimedia Subsystem):** Subsistema Multimedia IP.
- IMSI (International Mobile Subscriber Identity):** Identidad Internacional de Abonado Móvil.
- IMT (International Mobile Telecommunications):** Telecomunicaciones Móviles Internacionales.
- IP (Internet Protocol):** Protocolo Internet.
- ISDN (Integrated Services Digital Network):** Red Digital de Servicios Integrados.
- ISO (International Standardization Organization):** Organización internacional de normalización
- IT (Information Technologies):** Tecnologías de la Información
- ITU (International Telecommunications Union):** Unión internacional de telecomunicaciones, ver UIT, UIT-R, UIT-T.
- LCD (Low Constrained Delay):** Retardo pequeño limitado.
- LEO (Low Earth Orbit):** Órbita baja terrestre.
- LMSI (Local Mobile Station Identity):** Identidad de estación móvil Local.
- MAC (Medium Access Control):** Control de Acceso al Medio.
- MAP (Mobile Application Part):** Parte de Aplicaciones Móviles.
- MCC (Mobile Country Code):** Código móvil de país.
- MC-CDMA (Multi Carrier CDMA):** CDMA de Multiportadora.
- ME (Mobile Equipment):** Equipo Móvil.
- MEO (Medium Earth Orbit):** Órbita Media terrestre.
- MExE (Mobile Station (Application) Execution Environment):** Entorno de Ejecución de Aplicaciones de Estaciones Móviles.
- MGCF (Media Gateway Control Function):** Función control de pasarela entre medios.
- MGW (Media Gateway Function):** Función de Pasarela entre medios.
- MM (Mobility Management):** Administración de la movilidad.
- MNC (Mobile Network Code):** Código móvil de Red.
- MPEG (Moving Picture Expert Group):** Grupo de expertos de imágenes en movimiento.
- MRF (Multimedia Resource Function):** Función de Recursos Multimedia.
- MS (Mobile Station):** Estación Móvil.
- MSC (Mobile services Switching Center):** Central de conmutación de la red GSM.
- MSCS (MSC Server):** Servidor MSC.
- MSIN (Mobile Subscriber Identification Number):** Número identificativo de cliente móvil.

**MSISDN (Mobile Station International ISDN Number):** Número ISDN Internacional de estación móvil.

**MSK (Minimum Shift Keying):** Modulación por desplazamiento mínimo en frecuencia.

**MT (Mobile Terminal):** Equipo Terminal.

**NA:** Nodo de Acceso

**NADC (North American Digital Cellular):** Sistema celular digital norteamericano.

**NAMPS (Narrowband Advanced Mobile Phone System):** Sistema de Telefonía Móvil Avanzado de Banda Estrecha.

**NAP (Network Access Point):** Punto de acceso a la red.

**NAS (Not Access Stratum):** Estrato no ligado al acceso.

**NMT (Nordic Mobile Telephone):** Telefonía móvil de los países nórdicos.

**NSAP (Network Service Access Point):** Punto de acceso al servicio de red

**Nt (Notification):** Notificación

**OOK (On-Off Keying):** Modulación en Amplitud Encendido-Apagado.

**OSA (Open Service Architecture):** Arquitectura de Servicios Abierta.

**OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor):** Factor de Ensanchamiento Variable Ortogonal.

**PABX (Private Automatic Branch eXchange):** Central privada automática.

**PCCH (Paging Control Channel):** Canal de control de aviso.

**PCS (Personal Communications Services):** Servicios de comunicaciones personales.

**PCU (Packet Control Unit):** Unidad de Control de Paquetes.

**PDC (Personal digital communications):** Comunicaciones digitales personales.

**PDCP (Packet Data Convergence Protocol):** Protocolo de convergencia de datos por paquetes.

**PDN (Public Data Network):** Red de Datos Pública.

**PHS (Personnel Handyphone System):** Sistema de teléfonos personales.

**PLMN (Public Land Mobile Network):** Red Móvil Terrestre Pública.

**PSK (Phase Shift Keying):** Desplazamiento por división de fase.

**PSTN (Public Switched Telephone Network):** Red Pública de Telefonía Conmutada.

**QAM (Quadrature Amplitude Modulation):** Modulación de Amplitud en cuadratura.

**QM (Queue Manager):** Administrador de cola.

**QPSK (Quadrature Phase Shift Keying):** Modulación digital en fase de cuadratura

**QoS (Quality of Service):** Calidad de Servicio.

**RACE (Research for Advanced Communications in Europe):** Investigaciones para Comunicaciones Avanzadas en Europa.

**RACH (Random Access Channel):** Canal de acceso aleatorio

**RDSI:** ver ISDN.

**RLC (Radio Link Control):** Control de enlace Radio.

**RNC (Radio Network Controller):** Radio Controlador de Red Radio.

**RNS (Radio Network System):** Sistema de Red Radio.

**RRC** (Radio Resources Control): Control de los recursos de radio  
**RRM** (Radio Resource Management): Administración de Recursos de Radio.  
**RTB**: Red Telefónica Básica  
**RTC** (Radio Transmission Controller): Controlador de Transmisión Radio.  
**RTP** (Real-time Transport Protocol) Protocolo de Transporte en Tiempo Real.  
**RTT** (Radio Transmission Technology): Tecnología de Transmisión Radio.

**SAP** (Service Access Points): Puntos de Acceso al Servicio.  
**SAT** (SIM Application Tool-Kit): Juego de Herramientas de Aplicaciones SIM.  
**SCT**: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
**SGSN** (Serving GPRS Support Node): Nodo servidor de GPRS.  
**SHCCH** (Shared Channel Control Channel): Canal de control compartido.  
**SIM** (Subscriber Identity Module): Módulo de Identificación de Abonado.  
**SIP** (Session Initiation Protocol): Protocolo de Inicio de Sesión.  
**SMS** (Short Message Services): Servicio de mensajes cortos.  
**SMS IWMSC/GMSC** (Short Messages Services Interworking/Gateway MSC): MSC pasarela de interfuncionamiento para el servicio de mensajes cortos.  
**SMTP** (Simple Mail Transfer Protocol) Protocolo de transferencia de correos sencillos.  
**SN** (Serving Network): Red de Servicio.  
**SPD** (Serving Profile Database): Base de datos del perfil de servicio.  
**S-UMTS** (Satellite UMTS): Componente satelital de UMTS.

**TACS** (Total Access Communication System): Sistema de comunicaciones de acceso total.  
**TCP/IP** (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): Protocolo de control de transmisión/protocolo internet.  
**TDD** (Time Division Duplex): Dúplex por División de Tiempo.  
**TDMA** (Time Division Multiplex Access): Multiacceso, o técnica de acceso, con división en el tiempo.  
**TE** (Terminal Equipment): Equipo terminal.  
**TETRA** (Trans-European Trunked RAdio): Sistema radio troncal digital europeo  
**TH** (Time Hopping): Salto en Tiempo.  
**TI**: ver IT.  
**TLLI** (Temporary Logical Link Identity): Identidad de enlace lógico temporal.  
**TMSI** (Temporary Mobile Subscriber Identities): Identidad temporal de abonado móvil.  
**TN** (Transit Network): Red de Tránsito.  
**T-SGW** (Transport Signalling Gateway Function): Pasarela de señalización de transporte.  
**TTC** (Telecommunication Technology Council): Consejo de Tecnología de Telecomunicaciones  
**T-UMTS** (Terrestrial UMTS): Componente terrenal de UMTS.

**UC**: Unidad Central.  
**UCC**: Unidad de Conmutación y Control.  
**UDD** (Unconstrained Delay Data): Datos sin limitación de retardo.  
**UDP** (User Datagram Protocol): Protocolo para Datagramas de Usuario.  
**UE** (User Equipment): Equipo de usuario.

**U-GGSN (UMTS Gateway GPRS Support Node):** Nodo pasarela GPRS en UMTS.

**U-GMSC (UMTS Gateway MSC):** Pasarela MSC para UMTS.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**UIT-R:** Unión Internacional de Telecomunicaciones - sector Radiocomunicación.

**UIT-T:** Unión Internacional de Telecomunicaciones - sector de normalización de

**U-MSC (UMTS Mobile-services Switching Centre):** Centro de conmutación de móviles para UMTS.

**UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

**U-SGSN (UMTS Serving GPRS Support Node):** Nodo de servicio GPRS en UMTS.

**USIM (User Service Identity Module)** Modulo de Identidad de Servicios de Usuario.

**UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)** Acceso Radio Terrestre de UMTS.

**UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)** Red de Acceso Radio Terrestre de UMTS.

**UWC (Universal Wireless Communications):** Comunicaciones Inalámbricas Universales.

**VHE (Virtual Home Environment):** Entorno Propio Virtual.

**VLR (Visitor Location Register):** Registro de localización de visitante

**WAP (Wireless Application Protocol)** Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas.

**W-CDMA (Wideband CDMA):** CDMA de banda ancha.

**WLL (Wireless Local Loop):** Bucle local inalámbrico

**WML (Wireless Markup Language):** Lenguaje de Marca Inalámbrico.

**WRC (World Radiocommunications Conference):** Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones.

**XML (Extensible Markup Language):** Lenguaje de Marca extendido.

## ANEXO 2. Código del programa en Matlab para cálculo de cobertura por medio del modelo HATA-COST231.

\*Tomando como base los valores de atenuación compensable

```
LvozciudadUL=135.1768773;  
L64ciudadUL=131.9350892;  
L384ciudadUL=125.1535767;  
LvozciudadDL=130.2250413;  
L64ciudadDL=133.1048399;  
L384ciudadDL=130.4013274;
```

```
LvozvehicUL=137.2575243;  
L64vehicUL=133.7157362;  
LvozvehicDL=133.1250413;  
L64vehicDL=136.3048399;
```

```
LvozzruralUL=142.5575243;  
L64ruralUL=140.1157362;  
L384ruralUL=133.4342237;  
LvozzruralDL=139.2250413;  
L64ruralDL=143.1048399;  
L384ruralDL=140.4013274;
```

\*Metodo Hata COST231

```
f=2000;  
hm=1.5;  
ht=25;  
Caht=44.9;  
Cbht=6.55;
```

```
if ((f<1500)&(ht<220))
```

```
    Ck=69.55;  
    Cf=26.16;  
    Cht=13.82;
```

```
else
```

```
    Ck=43.3;  
    Cf=33.9;  
    Cht=13.82;
```

```
end
```

```
if ((f<1500)&(ht>220))
```

```
    Ck=92.23;  
    Cf=26.16;  
    Cht=23.5;
```

```
else
```

```
    Ck=67.63;  
    Cf=33.9;  
    Cht=23.5;
```

```
end
```

\*Radio de Cobertura

```
dvozciudadUL=power(10, (LvozciudadUL-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-  
(Cbht*log10(ht))))  
d64ciudadUL=power(10, (L64ciudadUL-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-  
(Cbht*log10(ht))))  
d384ciudadUL=power(10, (L384ciudadUL-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-  
(Cbht*log10(ht))))
```

```
dvozciudadDL=power(10, (LvozciudadDL-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-  
(Cbht*log10(ht))))
```

## Anexo 2. Código del Programa en Matlab para cálculo de cobertura por medio del modelo HATA-COST231

```

d64ciudadDL=power(10, (L64ciudadDL-Ck - (Cf*log10(f)) + (Cht*log10(ht)))/((Caht) -
(Cbht*log10(ht))))
d384ciudadDL=power(10, (L384ciudadDL-Ck - (Cf*log10(f)) + (Cht*log10(ht)))/((Caht) -
(Cbht*log10(ht))))

dvozvehicUL=power(10, (LvozvehicUL+(2*(log10(f/28)).^2)+5.4-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d64vehicUL=power(10, (L64vehicUL+(2*(log10(f/28)).^2)+5.4-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))

dvozvehicDL=power(10, (LvozvehicDL+(2*(log10(f/28)).^2)+5.4-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d64vehicDL=power(10, (L64vehicDL+(2*(log10(f/28)).^2)+5.4-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))

dvozzruralUL=power(10, (LvozzruralUL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d64ruralUL=power(10, (L64ruralUL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d384ruralUL=power(10, (L384ruralUL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))

dvozzruralDL=power(10, (LvozzruralDL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d64ruralDL=power(10, (L64ruralDL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))
d384ruralDL=power(10, (L384ruralDL+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-
(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))))

%Variacion del factor de carga con el numero de usuarios
Rvoz=12200;
R64=64000;
R384=384000;
W=3840000;
fr=1.6;
alfavoz=0.4;
alfadatos=1;

EbN0vozciudad=5.2;
EbN064ciudad=2.3;
EbN0384ciudad=1.3;

EbN0vozvehic=6.4;
EbN064vehic=3.8;

EbN0vozzrural=6.1;
EbN064rural=2.4;
EbN0384rural=1.3;

EbN0vozciudadabs=power(10, (EbN0vozciudad/10));
EbN064ciudadabs=power(10, (EbN064ciudad/10));
EbN0384ciudadabs=power(10, (EbN0384ciudad/10));

EbN0vozvehicabs=power(10, (EbN0vozvehic/10));
EbN064vehicabs=power(10, (EbN064vehic/10));

EbN0vozzruralabs=power(10, (EbN0vozzrural/10));
EbN064ruralabs=power(10, (EbN064rural/10));
EbN0384ruralabs=power(10, (EbN0384rural/10));

Gpvoz=W/Rvoz;
Gp64=W/R64;
Gp384=W/R384;

Kmaxvozciudad=1+((Gpvoz/EbN0vozciudadabs)/(alfavoz*fr))
Kmax64ciudad=1+((Gp64/EbN064ciudadabs)/(alfadatos*fr))
Kmax384ciudad=1+((Gp384/EbN0384ciudadabs)/(alfadatos*fr))

Kmaxvozvehic=1+((Gpvoz/EbN0vozvehicabs)/(alfavoz*fr))

```

## Anexo 2. Código del Programa en Matlab para cálculo de cobertura por medio del modelo HATA-COST231

```

Kmax64vehic=1+((Gp64/EbN064vehicabs)/(alfadatos*fr))
Kmaxvozzrural=1+((Gpvoz/EbN0vozzruralabs)/(alfavoz*fr))
Kmax64rural=1+((Gp64/EbN064ruralabs)/(alfadatos*fr))
Kmax384rural=1+((Gp384/EbN0384ruralabs)/(alfadatos*fr))

K=1:150;
X=(K-1)/(Kmaxvozzrural-1);
X1=(K-1)/(Kmax64ciudad-1);
X2=(K-1)/(Kmax384ciudad-1);
figure(4)
plot(K,X)
hold on
plot(K,X1)
hold on
plot(K,X2)
title('Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno urbano)')
ylabel('Factor de carga (X)')
xlabel('Número de usuarios')
ylim([0 1])

X3=(K-1)/(Kmaxvozzvehic-1);
X4=(K-1)/(Kmax64vehic-1);
figure(5)
hold off
plot(K,X3)
hold on
plot(K,X4)
title('Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno semiurbano-vehicular)')
ylabel('Factor de carga (X)')
xlabel('Número de usuarios')
ylim([0 1])

X5=(K-1)/(Kmaxvozzrural-1);
X6=(K-1)/(Kmax64rural-1);
X7=(K-1)/(Kmax384rural-1);
figure(6)
hold off
plot(K,X5)
hold on
plot(K,X6)
hold on
plot(K,X7)
title('Factor de carga vs. Número de usuarios (entorno rural)')
ylabel('Factor de carga (X)')
xlabel('Número de usuarios')
ylim([0 1])

%Incremento de Ruido.
Xval=0:0.1:1;
NFR= -1*10*log10(1-Xval)
figure(7)
hold off
plot(Xval,NFR)
title('Margen de interferencia vs. Factor de carga')
ylabel('Margen de interferencia (dB)')
xlabel('Factor de carga (X)')

%Atenuación vs distancia de cobertura.
L=100:160;
dciudad=power(10, (L-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
dvehic=power(10, (L+(2*(log10(f)/28)).^2)+5.4-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
drural=power(10, (L+(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
figure (1)
plot(L, dciudad)
title('Radio de cobertura vs. Atenuación compensable (entorno urbano, f=2000MHz)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable L (dB)')

```

## Anexo 2. Código del Programa en Matlab para cálculo de cobertura por medio del modelo HATA-COST231

```

grid on
figure (2)
plot(L, dvehic)
title('Radio de cobertura vs. Atenuación compensable (entorno semiurbano-vehic, f=2000MHz)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable L (dB)')
grid on
figure (3)
plot(L, drural)
title('Radio de cobertura vs. Atenuación compensable (entorno rural, f=2000MHz)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable L (dB)')
grid on

%Varios usuarios con servicios
Kovoz=Gpvoy/EbN0vozciudadabs;
Ko64=Gp64/EbN064ciudadabs;
Ko384=Gp384/EbN0384ciudadabs;

lambdavoiz=alfavoz/(alfavoz+Kovoz)
lambda64=alfadatos/(alfadatos+Ko64)
lambda384=alfadatos/(alfadatos+Ko384)
XUL=0.65;

M2=0:15;
for M3=0:4
    M1=(XUL/fr)-(lambda384*M3)-(lambda64*M2))/lambdavoiz
    figure (8)
    plot(M2,M1)
    hold on
    title('Diferentes combinaciones de número de usuarios para voz, 64 kb/s y 384 kb/s')
    ylabel('Número de usuarios de voz')
    xlabel('Número de usuarios de datos a 64 kb/s')
    grid on
end

% Gráficas del Método Hata COST231
L=100:160;
hm=1.5;
f=2000;
Caht=44.9;
Cbht=6.55;

if ((f<1500)&(ht<220))
    Ck=69.55;
    Cf=26.16;
    Cht=13.82;
else
    Ck=43.3;
    Cf=33.9;
    Cht=13.82;
end

if ((f<1500)&(ht>220))
    Ck=92.23;
    Cf=26.16;
    Cht=23.5;
else
    Ck=67.63;
    Cf=33.9;
    Cht=23.5;
end

for ht=25:25:300
    dciudad=power(10, (L-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
    dvehic=power(10, (L*(2*(log10(f/28)).^2)+5.4-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
    drural=power(10, (L*(4.78*(log10(f)).^2)+40.94-(18.33*log10(f))-Ck-(Cf*log10(f))+(Cht*log10(ht)))/((Caht)-(Cbht*log10(ht))));
    figure(1);

```

## Anexo 2. Código del Programa en Matlab para cálculo de cobertura por medio del modelo HATA-COST231

---

```
plot(L, dciudad)
hold on
title('Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable y diversas alturas
(urbano)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable (dB)')
grid on
figure(2);
plot(L, dvehic)
hold on
title('Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable y diversas alturas
(semiurbano vehic)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable (dB)')
grid on
figure(3);
plot(L, drural)
hold on
title('Variación del radio de cobertura con la atenuación compensable y diversas alturas
(rural)')
ylabel('Radio de cobertura (km)')
xlabel('Atenuación compensable (dB)')
grid on
end
```