

SISTEMAS DE  
COMUNICACIONES  
MÓVILES DE TERCERA  
GENERACIÓN IMT-2000  
(UMTS)

*Capítulo*  
*1*

[0pt][3mm]1-2  
“No guardes en la cabeza aquello que te quepa en un bolsillo” - Albert  
Einstein

## 1.1. Comunicaciones Móviles

### 1.1.1. Introducción

El Reglamento de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas, o entre estaciones móviles únicamente.

Se distinguen tres tipos de servicios móviles: terrestre, marítimo y aeronáutico. Cada uno de estos servicios puede prestarse mediante medios terrenales exclusivamente o utilizando repetidores espaciales (satélites).

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información de todo tipo (voz, datos, vídeo) entre terminales móviles (a bordo de vehículos o en posesión de personas) y terminales fijos (centros de control, teléfonos) mediante ondas radioeléctricas, con unas características de calidad determinadas. En los sistemas móviles se aprovecha, plenamente, el carácter inalámbrico de las comunicaciones radioeléctricas y la movilidad inherente, lográndose enlaces de gran ubicuidad, versatilidad y flexibilidad.

Como en cualquier sistema de telecomunicación, en los sistemas móviles se transmite información de usuario o tráfico e información adicional necesaria para el establecimiento, liberación y supervisión de las llamadas, así como para la protección de la información frente a las perturbaciones. A esta información adicional se le llama señalización. La señalización puede intercambiarse junto al tráfico (señalización por canales asociados) o utilizando recursos específicos (señalización por canal común).

A la superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con una estación fija, y eventualmente entre sí, se le llama zona de cobertura. Por lo tanto, los sistemas de comunicaciones móviles han de diseñarse de forma que puedan establecerse enlaces desde cualquier lugar de la zona de cobertura. Esto obliga a elegir cuidadosamente la ubicación de las estaciones fijas.

### 1.1.2. Composición de un sistema de comunicaciones móviles

Todo sistema de comunicaciones móviles está formado por los siguientes elementos:

- A) Estaciones fijas (FS):** Una estación fija es una estación radioeléctrica no prevista para su utilización en movimiento. Existen varios tipos de estaciones fijas:

- *Estación base (BS)*: Es una estación radioeléctrica fija, cuyo funcionamiento se controla directamente desde una unidad de control situada en un punto especificado. El control puede ser local o remoto, mediante líneas telefónicas o radioenlaces. Las estaciones base tienen como característica primordial el de ser fuentes y destinatarias de tráfico y de señalización. Están constituidas por equipos transceptores, sistemas radiantes y elementos de conexión entre estos.
- *Estación de control (CS)*: Es una estación fija que se utiliza para gobernar el funcionamiento de otra estación radio, normalmente una BS o repetidora.
- *Estaciones repetidoras (RS)*: Son estaciones fijas que retransmiten amplificadas las señales recibidas. Sirven para comunicar estaciones bases con estaciones móviles que están fuera de la zona de cobertura de éstas. Se emplean para conseguir una gran cobertura radioeléctrica, por lo que se suelen ubicar en lugares altos. También se usan para el relleno de zonas de sombra en la cobertura de una estación base o para proporcionar cobertura en escenarios difíciles, tales como túneles, estacionamientos subterráneos, etc.

**B) Estaciones móviles (MS)**: Una estación móvil es una estación radioeléctrica del servicio móvil prevista para su utilización en movimiento. El término incluye a los equipos portátiles o de mano, que son aquellos que acompañan al usuario, y a los denominados equipos transportables, que pueden instalarse temporalmente en vehículos (coches o motocicletas) y llevarse también a mano. A las estaciones móviles de un sistema suelen llamarse genéricamente terminales.

Se denomina *enlace descendente DL*(downlink) al sentido de comunicación de estación fija a terminal móvil. El *enlace ascendente UL* (uplink) corresponde al sentido de comunicación de terminal móvil a estación fija. La distancia de cobertura en el DL se denomina *alcance*, en el UL *retroalcance*. Hay que intentar que el alcance y el retroalcance sean iguales. Para ello, es necesaria la adopción de diversas actuaciones de ingeniería, ya que las estaciones son de naturaleza y características distintas.

**C) Equipos de control**: En los sistemas de comunicaciones móviles, en general, el conjunto de equipos de control lo forman los dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones de base, la generación y recepción de llamadas, localización e identificación de usuarios, de equipos y vehículos, transferencia de llamadas a red telefónica, señalización de canales, etc. Se incluyen también aquí los terminales de datos (pantallas, impresoras), miniordenadores y controladores.

### 1.1.3. Planificación de la cobertura en los sistemas móviles.

Se denomina zona de cobertura de la estación base al terreno entorno a dicha estación en la que la señal disponible para los móviles tiene un valor superior al umbral mínimo de funcionamiento. Los sistemas móviles son de cobertura zonal, debiéndose, en teoría, proporcionar servicio en cualquier punto de la zona de cobertura. Esto implica una multiplicidad de trayectos posibles con variadas situaciones de propagación. De aquí, que el problema de la predicción de la zona de cobertura de las estaciones del servicio móvil o, a la inversa, la parametrización de esas estaciones en cuanto a potencia, características del sistema radiante, etc., para proporcionar una cobertura determinada, sea de primordial importancia.

Hoy día, el uso de herramientas informáticas agiliza los cálculos de la cobertura. Se utilizan programas que hace uso de cartográficas digitales, dividen el terreno en píxeles y calculan el nivel de señal en cada uno de ellos, haciendo una representación de los distintos niveles según un código de colores. Estas representaciones se denominan mapas de cobertura y son fundamentales en la planificación radioeléctrica de una red móvil.

Los trayectos de propagación entre base y móviles resultan afectados de modo variable por el terreno, por lo que la pérdida de propagación tiene un carácter aleatorio. De esta forma, se habla de cobertura en un sentido estadístico. Se utilizan dos grados de calidad estadística de cobertura: el porcentaje de emplazamientos, que indica el tanto por ciento de lugares dentro de la zona de cobertura teórica en que cabe esperar que exista enlace radioeléctrico, y el porcentaje de tiempo, que expresa el tanto por ciento del tiempo en que se espera existirá el enlace. En el primer caso se distingue entre *cobertura zonal* (se considera todo el área entorno a la estación base) y *perimetral* (en este caso se considera sólo el perímetro o límite de la cobertura teórica).

El radio de cobertura de una estación base tiene una estrecha dependencia con la altura media de la antena de dicha estación respecto al terreno circundante. Por esto, se busca siempre lugares altos para la colocación de las estaciones bases (montes, edificios elevados,...). En muchos casos, aumenta más el alcance incrementando la altura de la antena que elevando la potencia de la transmisión.

Debido a la reducida altura de antena de las estaciones móviles, éstas muchas veces no serán visibles desde la estación base. Sin embargo, la comunicación es posible debido a múltiples reflexiones y difracciones de las ondas y a su poder de penetrabilidad, que es consecuencia de las altas frecuencias utilizadas. Este tipo de propagación, denominada propagación multitrayecto, genera varios caminos radioeléctricos entre transmisor y receptor y, aunque hace posibles las comunicaciones, produce efectos de dispersión temporal y desvanecimiento selectivo en las señales. Otro efecto que es necesario compensar, es el desvanecimiento selectivo que se produce por

el desplazamiento de frecuencias (*desplazamiento Doppler*) consecuencia del movimiento de los terminales móviles a bordo de vehículos.

## 1.2. La interfaz radio

### 1.2.1. Generalidades

En los sistemas de telecomunicaciones se distingue entre red de acceso y red de tránsito. En algunos sistemas, como la telefonía básica, cada terminal tiene su propia facilidad de acceso (bucle de abonado por línea). Sin embargo, en el caso de los sistemas móviles la red de acceso debe ser inalámbrica y ha de realizarse mediante el empleo de recursos radioeléctricos compartidos.

Las estaciones móviles (MS) han de acceder a la estaciones de bas (BS) (acceso) y desde éstas las comunicaciones pasarán a su destino a través de la red de tránsito. El acceso se realiza a través de una interfaz radio.

En la interfaz radio se distinguen dos enlaces o sentidos de propagación:

- De MS a BS o *ascendente (UL)*
- De BS a MS o *descendente (DL)*

En el UL, existen múltiples móviles a lo que debe dárseles la posibilidad de utilizar los recursos disponibles en la BS para pasar sus comunicaciones a la red. Esto se realiza mediante las técnicas de acceso múltiple o multiacceso. El multiacceso supone una compartición de recursos para conseguir el efecto de concentración de mucho a uno. En el DL, las comunicaciones procedentes de la red han de llegar, vía la BS, a una MS o grupo de MS determinadas. La técnica utilizada para ello es una multiplexación con difusión selectiva, parcial o global. La comunicación es uno a muchos.

Se denomina canal físico a la facilidad concedida a un usuario mediante la cual éste puede acceder al sistema. Las técnicas de multiacceso son procedimientos de asignación de canales físicos a las estaciones. Hay tres métodos básicos de multiacceso:

- **FDMA**(Frequency Division Multiple Access), acceso por división en frecuencia.
- **TDMA**(Time Division Multiple Access), acceso múltiple por división en el tiempo.
- **CDMA**(Code Division Multiple Access), acceso múltiple por división de código.

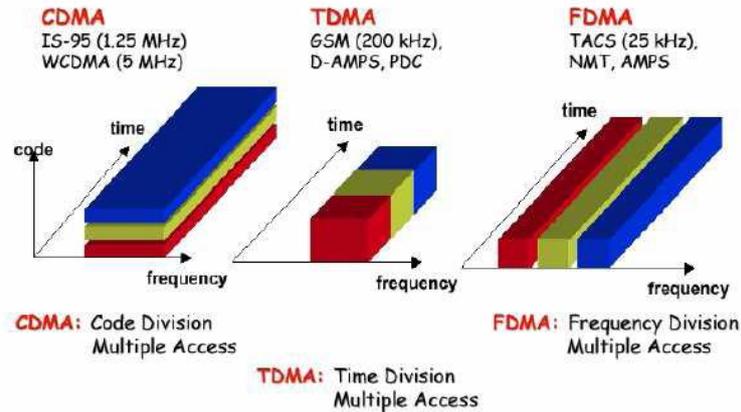


Figura 1.1: Comparación entre CDMA, TDMA y FDMA.

### 1.2.2. Entidades y parámetros de la interfaz radio.

Las entidades básicas son: el transmisor deseado que emite con una potencia  $P_{IRE_D}$  o  $P_{RA_D}$  y el receptor deseado, a cuya entrada hay una potencia de señal deseada  $P_{SD}$ , así como una potencia de señal interferente  $P_{SI}$ .

En la interfaz radio se producen efectos no deseados que afectan notablemente a la calidad de funcionamiento de los sistemas móviles y se conocen genéricamente como perturbaciones. Las perturbaciones más importantes son el ruido, los desvanecimientos y la interferencia. La consecución de una calidad de funcionamiento adecuada exige la adopción de medidas que contrarresten los efectos a estas perturbaciones.

El ruido que afecta a la recepción de la señal deseada puede provenir de fuentes externas (ruido externo) o ser generado en el propio receptor (ruido interno). Ambos se cuantifican por sendos valores de potencia de ruido:  $P_{next}$  y  $P_{nint}$ .

Los desvanecimientos se producen por la presencia de obstáculos y la existencia de múltiples trayectos de propagación entre el transmisor y el receptor.

La interferencia se debe a la actuación de otros transmisores que operan en la misma frecuencia que la del receptor considerado (*interferencia cocanal*) o en frecuencias contiguas (*interferencias de canas adyacente*).

La calidad de la señal entregada por el receptor a su salida se mide por la tasa de errores,  $BER$ , para señales digitales. Esta calidad es función del sistema de modulación que se emplee, pero fijado éste, depende de la relación entre la potencia de la señal deseada y la potencia de la perturbación evaluada en un punto de referencia del receptor.

En los sistemas UMTS la perturbación limitante es la interferencia. Se define la *relación portadora/interferencia* ( $C/I$ ) como el cociente entre la

potencia de la señal deseada y la potencia total de las señales interferentes. Se distingue entre los valores de  $C/I$  para la interferencia cocanal  $(C/I)_c$  y para interferencias de canales adyacentes  $(C/I)_a$ .

Al valor umbral de la relación portadora/interferencia, correspondiente a una calidad y unas condiciones de recepción determinadas, se les llama relación de protección ( $R_p$ ).

## 1.3. Sistemas móviles celulares

### 1.3.1. Fundamentos de los sistemas celulares.

Al abordar la problemática de diseñar redes de telefonía móvil públicas se optó en primera instancia por sistemas con una sola estación base, que daba cobertura a toda una zona urbana.

Por limitaciones tecnológicas, una sola estación base no podía proporcionar más de 40 canales, cantidad irrisoria en comparación con las predicciones de demanda futura que se barajaban.

En 1947 nace lo que se denomina Sistema Celular, que permite resolver el problema de exigencia de capacidad de tráfico propio de los sistemas de telefonía móvil públicos. Los sistemas celulares se basan en dos ideas:

- La división de la zona de cobertura en regiones pequeñas, llamadas células, de tamaño variable en función de la demanda de tráfico.
- La reutilización de los canales en células separadas por una distancia suficiente para que la interferencia cocanal se tolerable.

El tráfico ofrecido en una zona es proporcional a la superficie de la zona. Al ser las células de tamaño reducido, también el tráfico será pequeño y podrá atenderse con un volumen de recursos moderado, manteniendo una probabilidad de pérdida de llamada adecuada.

Además, gracias a la reutilización, se multiplica la capacidad de los canales para cursar tráfico, pudiendo efectuarse en todo momento más llamadas que canales haya disponibles ya que cualquier radiocanal puede cursar varias comunicaciones simultáneamente por células distintas, en tanto que en el sistema transmisor único solamente podía darse servicio a un abonado por cada radiocanal. Se llama índice de reutilización de un sistema celular al cociente entre el número de radiocanales que se ofrecen y el número de radiocanales disponibles.

En la ?? se muestran sistemas celulares con distancias de reutilización y las frecuencias que utiliza cada celda.

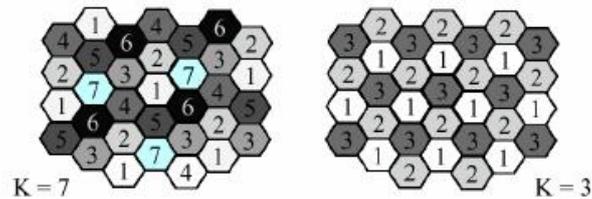


Figura 1.2: Sistemas celulares con distancias de reutilización de 2 y 1.

### 1.3.2. Planificación de una red celular

Una vez hemos estudiado el concepto de célula, veamos qué factores influyen en la planificación de un sistema celular.

Cada célula corresponde a una zona de cobertura de una estación base. El diseño de la red de acceso de una red de telefonía móvil pública consistirá entonces, en distribuir adecuadamente las estaciones base por la región objetivo y en fijar los parámetros de diseño de cada una de la estaciones bases para cumplir unas especificaciones.

Cada estación base está formada por antenas y transceptores. La potencia de transmisión, el tipo de antena, la inclinación y altura de esta, son algunos de los parámetros de diseño fundamentales de los que hablaba en el párrafo anterior. Los equipos transceptores de la estación base son los que proporcionan una serie de canales a cada célula, estando limitado el número máximo de canales por razones de interferencia.

Veamos por ejemplo, el caso de multiacceso en el UL por división en frecuencia. Un operador dispone de una banda de frecuencias para ofrecer servicios de telefonía móvil. El operador divide esa banda de canales, que son lo que después ofrece para cursar el tráfico. No obstante, no podemos utilizar todos los canales en cada célula, ya que si utilizamos el mismo canal en células contiguas la interferencia resultara inadmisibles, sólo podemos reutilizar el canal en células distantes. De ahí, que el número de canales por célula esté limitado por el nivel de interferencia admisible (que determinará la *distancia de reutilización*) y por el número de canales de los que dispone el operador.

Como en la redes de telefonía pública la demanda es elevada y en aumento, nos vemos obligados a utilizar el máximo número de canales por célula. Esto provoca que el objetivo principal de la planificación radioeléctrica de

una red celular no sea ya dar cobertura a toda la región, sino que la relación portadora/interferencia en toda la zona supere un cierto umbral.

Otras consideraciones importantes que a priori no son triviales son la forma tamaño de la células. Si en cada célula se utilizan antenas omnidireccionales, la zona de cobertura sería aproximadamente circular. Sin embargo, las coberturas circulares o no recubren el plano o producen solapes (esto último implica una reducción del rendimiento espectral, porque para la cobertura de un mismo punto se emplean dos canales).

En consecuencia, para la planificación, se estudian coberturas de tipo poligonal, que recubran el plano sin solape. Hay tres polígonos regulares que cumplen esa condición: el triángulo, el cuadrado y el hexágono. El coste económico de la red de acceso de una red móvil depende del número de estaciones bases necesarias, si suponemos que cada estación base corresponde solo con una célula, interesará tener el menor número de células/estaciones base posibles. El número de células necesario es el área total a la que tiene que dar cobertura la red dividida entre el área de cada célula. Como el polígono que fijado el radio de cobertura (distancia del baricentro del polígono al vértice) tiene área mayor es el hexágono, se escoge la forma hexagonal para las redes celulares.

En cuanto al tamaño de las células, ya comentamos que es variable en función de la demanda de tráfico. En zonas rurales, donde la demanda de tráfico es baja, es posible que podamos dar cobertura a regiones grandes con un número pequeño de canales. Sin embargo, en zonas urbanas, donde la densidad de población es 10 o 20 veces mayor, con el mismo número de canales daremos cobertura a regiones 10 o 20 veces más pequeña, manteniendo constante la probabilidad de bloqueo en llamada. Esto implica reducir 10 o 20 veces el tamaño de la célula. En la ?? muestra gráficamente lo comentado.

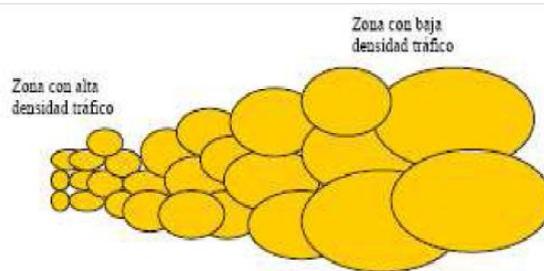


Figura 1.3: Sistema celular con celdas de distintos tamaños.

## 1.4. El Sistema UMTS.

El Sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es el estándar desarrollado para Europa y otras partes del mundo de la tercera generación de comunicaciones móviles.

El IMT-2000 es la familia de estándares que describen la 3G en todo el mundo y en el que está incluido UMTS. La 3G busca con respecto a anteriores generaciones un aumento sustancial en el ancho de banda disponible.

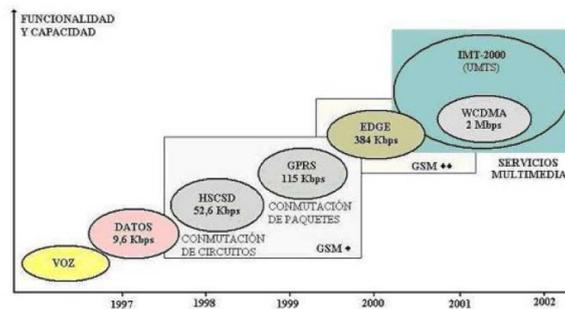


Figura 1.4: Evolución de las tecnologías de comunicaciones móviles hacia UMTS.

Como podemos ver en la ??, las tecnologías 2G y 2.5G no proporcionan un ancho de banda suficiente como para soportar servicios multimedia y permitir una conectividad natural con Internet. UMTS es el primer acercamiento serio de las comunicaciones móviles al acceso a Internet de banda ancha y a todos los nuevos servicios que dicha capacidad puede proporcionar.

UMTS es un paso más en la evolución de los terminales móviles, los antiguos teléfonos y que cada vez se parecen más a auténticos ordenadores personales. Los terminales de 3<sup>a</sup> generación permiten transmisión de texto, voz, vídeo y datos multimedia a velocidades de 2 Mbps, dando acceso a servicios como vídeo bajo demanda, videoconferencia, televisión o Internet de alta velocidad. UMTS también abre la posibilidad de aplicar nuevas formas de tarificación: por bits, tarifa plana.

UMTS se posiciona tecnológicamente como el estándar más equilibrado en el compromiso movilidad/capacidad. Sin embargo, todavía queda un amplio camino por recorrer hasta que las comunicaciones móviles puedan codarse con las capacidades ofrecidas actualmente con los estándares WLAN, por lo que UMTS es un producto condenado a perecer incluso antes de su implantación generalizada. En la ?? podemos apreciar visualmente el aceptable compromiso movilidad/capacidad de UMTS en comparación con otras tecnologías de comunicaciones de mayor y menos capacidad.

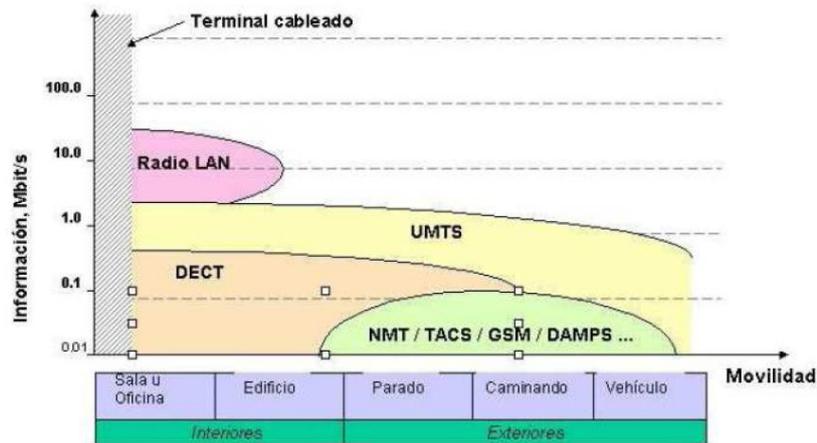


Figura 1.5: Capacidad del sistema en función de la movilidad.

La ITU (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*) marca que los sistemas IMT-2000 deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Comunicaciones desde cualquier instante: implica la necesidad de una cobertura global que proporcione unos servicios mínimos básicos bajo cualquier condición, en terminales de cómoda portabilidad.
2. Sistema Global: Para asegurar la compatibilidad a nivel mundial se requiere un estándar global con un diseño común aunque se implementen diferentes sistemas y tipos de terminales. Una consecuencia directa es el uso de una banda de frecuencias común a nivel mundial. Gracias a esta globalización del sistema se conseguirá una reducción de los costes.
3. Conjunto amplio de servicios: la tecnología de nueva generación debe ir acompañada de una nueva generación de servicios, fundamentalmente servicios multimedia, Internet, etc. se requiere un canal que llegue a los 2 Mbps y que permita tasas variables y múltiples conexiones simultáneas.
4. Infraestructura de red única: toda la infraestructura de telecomunicaciones necesaria debe estar integrada en una única red y esta infraestructura debe ser común a todos los usuarios e independiente del tipo de servicio que se solicite. Se busca evitar en los operadores la coexistencia de múltiples redes para distintos servicios, dificultando la integración de los sistemas de telecomunicaciones de manera global.
5. Integración de las redes de conmutación de las redes móviles y fijas: se sigue el mismo principio que en el anterior requerimiento: la unificación de las infraestructuras de comunicaciones. Es un requisito que las redes móviles y fijas lo compartan todo y se diferencien sólo en lo imprescindible: en la red de acceso y en las funciones para la

gestión de la movilidad. Todas las redes deben compartir la parte de conmutación y transporte, de esa forma se evitan las duplicaciones, resulta un sistema más flexible y versátil y se facilita la prestación de servicios propios de la red fija a través de la red móvil.

6. Evolución y migración: El sistema se basa en una arquitectura flexible, abierta y modular que permitirá la integración de los avances tecnológicos y de diferentes servicios y aplicaciones. Además, tiene la capacidad de coexistir y trabajar conjuntamente con los sistemas anteriores al IMT-2000 existentes, tanto móviles (GSM, GPRS,... ) como fijos (RDSI, RDSI-BA,... ).
7. Utilización de tecnologías de transporte de banda ancha (ATM): una de las tendencias más fuertes de la investigación actual es utilizar técnicas de banda ancha con ATM en lugar de seguir utilizando las técnicas de banda estrecha utilizadas hasta ahora en los sistemas móviles. La utilización de este tipo de transporte permitiría una integración más completa entre la red fija y la red móvil.
8. cobertura para regiones subdesarrolladas: Los sistemas inalámbricos permiten una cobertura global (acceso por satélite) que se puede aprovechar en los países subdesarrollados para cubrir el vacío de comunicaciones existente en la actualidad con un coste mínimo. en algunos casos se puede utilizar una cobertura terrestre (macrocélulas) para proveer acceso fijo a multitud de pequeños núcleos ahora aislados, permitiendo a los operadores proveer servicios de una manera rápida, flexible y poco costosa.
9. Terminales autoadaptativos y programables: Resulta evidente en los sistemas móviles que así como la infraestructura del operador se puede ir revisando, corrigiendo y mejorando, actualmente resulta imposible llevar a cabo las mismas mejoras en los nuevos terminales móviles en funcionamiento. Por eso, la ITU especifica que los nuevos terminales tienen que ser capaces de ser reprogramables a través de *updates* de software desde la red (para corregir errores o introducir mejoras).
10. Entorno virtual propio: Cada usuario tiene su propio perfil donde se incluyen todos los servicios que tiene contratados, este entorno propio tiene que mantener, independientemente de su localización, excepto en el caso de que el único acceso disponible en aquella ubicación tenga unas prestaciones insuficientes para prestar dicho servicio (Ejemplo: el servicio de videoconferencia proporcionado por un entorno picocelular no podrá ser ofrecido en un lugar donde la única cobertura disponible sea la de la red de satélites).

## 1.5. Arquitectura de red.

### 1.5.1. Introducción.

El sistema UMTS está constituido por una serie de elementos lógicos donde cada uno de ellos tendrá una funcionalidad bien precisa (??). La arquitectura de la red de tercera generación está dividida en UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), que representa la red de acceso, en CN (*Core Network*), que es la red de transporte del sistema y en UE (*User Equipment*), que pertenece al usuario.

Tanto el UE como el UTRAN tendrán protocolos completamente nuevos, basados en las necesidades de la tecnología W-CDMA, mientras que CN conservará la definición adoptada en GSM. En la ?? se muestra de manera esquemática los elementos e interfaces que forman la red UMTS.

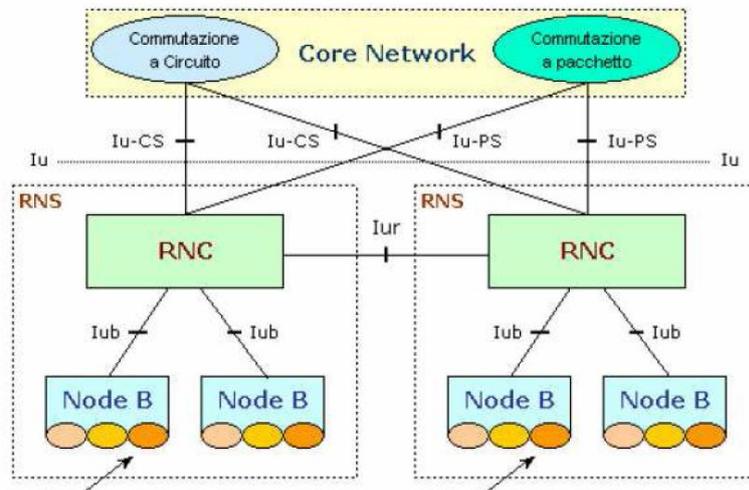


Figura 1.6: Arquitectura general UMTS.

El UE está constituido por dos elementos:

- El *Mobile Equipment (ME)*, que representa el terminal radio utilizado para las comunicaciones a través de la interfaz  $U_u$ .
- La *UMTS Subscriber Identity Module (USIM)*, que es una tarjeta que contiene la identidad del usuario, los algoritmos de identificación y la información útil del terminal.

La red UTRAN está formada por:

- El nodo B (que se corresponde con la estación base BTS del GSM), que prepara la conversión de los datos entre la interfaz  $I_{ub}$  y  $U_u$ .

- La *Radio Network Controller (RNC)*, que controla la gestión de los recursos radio en el interior de la célula y también se encarga de las decisiones del *handover* que requieren del intercambio de mensajes de señalización sobre la UE.

Y los elementos principales del GSM CN son:

- El *Home Location Register (HLR)*, que es un registro *database* que contiene el perfil de los usuarios abonados.
- El *Mobile Services Switching Centre/Visitor Location Register (MSC/VLR)*, en el que la MSC es la central de conmutación de la red radio móvil y el VLR es el registro *database* que contiene la información del móvil cuya posición se encuentra en el área MSC.
- El *Gateway MSC*, que es el punto de unión con las otras redes. Además, se definen los interfaces entre los distintos elementos ya vistos. El interfaz  $C_u$  representa la conexión eléctrica entre la USIM y el ME, el  $U_u$  es el interfaz radio WCDMA a través de la cual la UE accede al sistema, el  $I_u$  conecta la UTRAN con el CN dando la posibilidad de utilizar redes UTRAN y CN de diversos operadores, el interfaz  $I_{ur}$  se utiliza para el *soft handover* entre distintas RNC y finalmente el  $I_{ub}$  conecta un Nodo B con una RNC.

Un esquema general de una red UMTS y de su interconexión con otras redes es el que se muestra en la ??.

### 1.5.2. UTRAN.

La red UTRAN está constituida por uno o más RNS (*Radio Network Subsystem*), que a su vez contendrán un RNC y uno o más Nodos B. Los

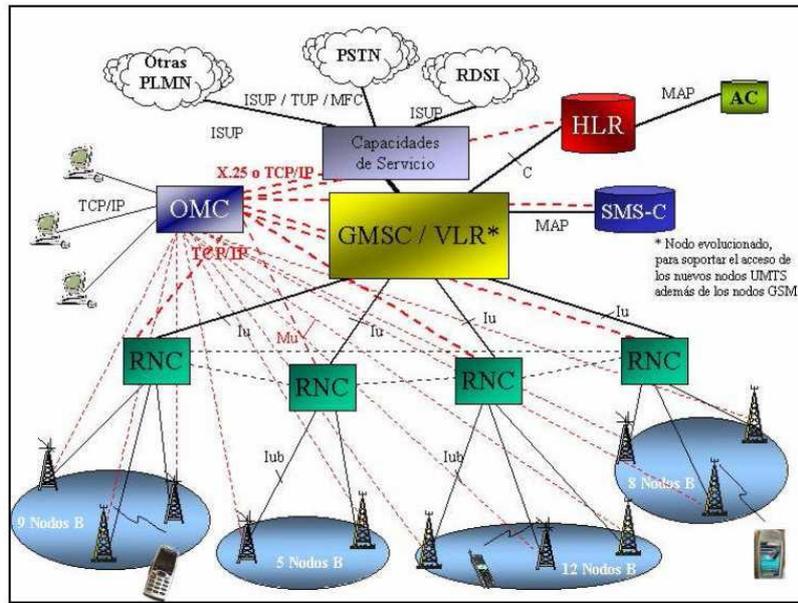


Figura 1.7: Esquema general de una red UMTS e interconexiones con otras redes.

principales requisitos a considerar en la proyección de la red UTRAN son el soporte del *soft handover*, es decir, pasar el terminal móvil de una célula a otra, en condiciones de macrodiversidad y el desarrollo de algoritmos de *Radio Resource Management*. El RNC es el responsable de la carga y del control de la congestión de la célula a la que pertenece y además asigna los códigos a las nuevas conexiones radio dentro de la misma célula. Las funciones principales del Nodo B es todo lo que concierne al nivel físico como la codificación del canal, el entrelazado (*interleaving*), el *spreading*,... y provee algunas operaciones de control de los recursos como el *Inner loop power control*.

También un nodo B puede soportar las modalidades de transmisión FDD(*Frequency Division Duplex*) y TDD(*Time Division Duplex*).

La interfaz radio terrestre UTRA emplea un método de acceso CDMA de banda ancha y espectro extendido (*Wideband Direct Spread CDMA*) y consta de dos modos de operación como ya hemos comentado anteriormente:

- *UTRA FDD*: Duplexado en frecuencia. Distintos usuarios comparten una misma portadora (5MHz) al mismo tiempo mediante una multiplexación por código.
- *UTRA TDD*: Duplexado en tiempo. Se añade el recurso temporal (TS) al código para diferenciar a un usuario de otro dentro de un mismo radiocanal.

Las principales funciones a describir desempeñadas por UTRAN son:

- Transferencia de datos de los usuarios: Esta función provee la transferencia de datos de los usuarios a través de la UTRAN entre los puntos de referencia  $I_u$  y  $U_u$ .
- Funciones relativas al control del acceso al sistema: Permiten al usuario conectarse a la red UMTS para poder aprovechar los servicios ofrecidos. El acceso al sistema puede ser efectuado tanto desde el terminal móvil (a continuación de una llamada desde el móvil) como de la red (llamada sobre el móvil). Entre estas funciones destacan: *control de admisión* (acepta y rechaza nuevos usuarios), *control de la congestión* (evita la saturación del sistema) y *transmisión de la información del sistema* (distribuye entre los terminales información necesario para las operaciones de la red).
- Cifrado y descifrado del canal radio: Protege los datos transmitidos sobre la interfaz radio de interceptaciones no autorizadas.
- Funciones relativas a la movilidad: *handover* (gestiona la movilidad de los usuarios), *sustituciones del SNRS* (gestiona el paso de una SNRS a otra), *posicionamiento* (permite determinar la posición geográfica de un UE).
- Funciones relativas a la gestión y al control de los recursos radio: La gestión de los recursos radio se ocupa de la localización y el mantenimiento de los recursos radio necesarios para una comunicación. Los recursos radio UMTS deben ser repartidos entre servicios de modalidad de transferencia en modo circuito y servicios con modalidad de transferencia en modo paquete (servicios orientados a conexión y no orientados a conexión). Las funciones más importantes son: *configuración de los recursos radio*, *monitorización del canal radio* (efectúa medidas de los niveles de potencia, BER, interferencia, desplazamiento Doppler... para estimar el nivel de calidad del canal), *control de la división y de la recombinación de los flujos informativos* (macrodiversidad: duplica flujos de información, permitiendo realizar soft handover: varios nodos B dan servicio a un único UE durante el paso de una célula a otra), *Instauración y liberación de una conexión*, *asignación del enlace radio* (gestiona enlaces físicos en función de la calidad del acceso), *funciones del protocolo radio* (multiplexación, segmentación, ensamblado, acuse de recibo, etc. de toda la información), *control de la potencia sobre el canal radio* (para minimizar las señales interferentes), *codificación y decodificación del canal* (para la detección y corrección de errores), *control y decodificación del canal* (genera información de control para la codificación y decodificación: código, tasa de código) y por último *gestión del acceso aleatorio en la red* (responde a intentos de accesos a la red).

### 1.5.3. La pila de protocolos.

La pila protocolaria se divide en tres niveles fundamentalmente (??). Las funciones del interfaz radio ( $U_u$ ) están divididas en tres niveles protocolarios. Al *nivel físico* pertenecen la codificación, la modulación y el *spreading* de los canales físicos. El *nivel de enlace* comprende los protocolos de control del acceso al medio (MAC), de control del enlace radio (LRC) y el protocolo de control de acceso al enlace (LAC). El MAC coordina los recursos ofrecidos por la capa física, el LAC desarrolla las funciones de instauración, mantenimiento y liberación de una conexión lógica de res. El *nivel de red* está dividido en una subcapa de control de los recursos radio (RRC) y en subcapas de gestión de la movilidad (MM) y de la conexión (CM). Este nivel gestiona el control de la llamadas y el *Radio Resource Management*.

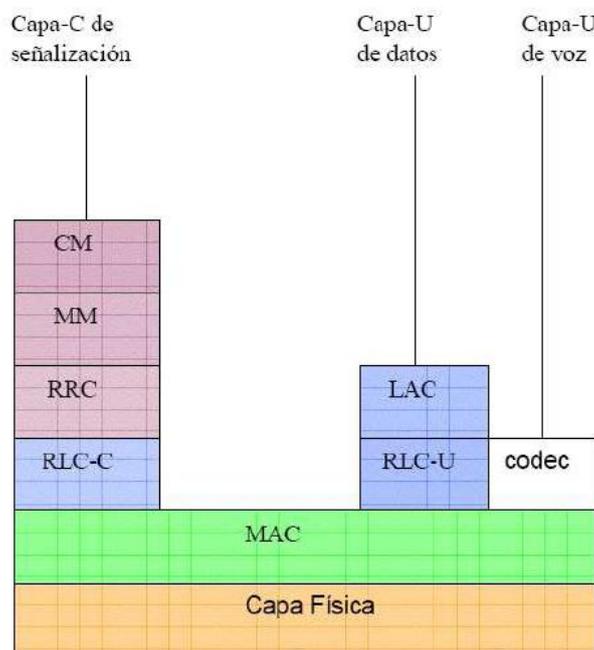


Figura 1.8: Pila de protocolos de la interfaz ETSI WCDMA.

Las funciones que dependen estrechamente del tipo de interfaz radio utilizada, la WCDMA, son aquellas relativas a la capa física, que serán analizadas en detalle en el párrafo siguiente, al MAC y a los algoritmos de gestión de los recursos. En el MAC los canales lógicos vienen mapeados en los canales de transporte y además para cada uno de ellos se selecciona el formato de transporte TFI que depende de la tasa de datos de la fuente. El *Radio Resource Management* desarrolla las funciones como la del control de potencia, el *handover* y el control de la carga. Todo esto lo veremos más detalladamente a continuación.

#### 1.5.4. El nivel físico.

La capa física ofrece los servicios a los niveles superiores, dando a la transmisión a nivel físico la información generada a partir del nivel dos de la pila protocolaria. En particular, los canales de transporte (TrCh) son los servicios ofrecidos por el nivel físico a los niveles superiores. Estos están definidos en base al tipo de información transferida y al modo en transferirla sobre el interfaz radio.

Para garantizar la transmisión de los servicios multimedia, será necesario prever la modalidad de transmisión simultánea sobre los canales dedicados que presentarán diversos requisitos de calidad. En general, los requisitos asociados a este nivel son los siguientes:

- La tasa de error es la máxima tasa de error que podrá soportar para garantizar la calidad del servicio.
- El retardo de transmisión (*end-to-end delay*) es el máximo retardo que puede soportar el servicio en cuestión.

Estos parámetros influyen en el tipo de codificación a utilizar para recuperar los errores introducidos por el canal de propagación, en la profundidad de los bloques de *interleaving* y en el número máximo de retransmisiones consentidas en el caso en el que se adopte una técnica ARQ (*Automatic Repeat Request*).

Los diversos servicios estarán sometidos a una codificación y un *interleaving* independientes en base a cada uno de sus requisitos de calidad (cuanto mayor es la profundidad de *interleaving*, mejores son las prestaciones en términos de tasa de error, pero mayor será el retardo introducido). Se multiplexan y el flujo que obtenemos se somete a una nueva operación de *interleaving* (igual a la de una trama radio) y se mapea en uno o más canales físicos según la velocidad a la que se quiera transmitir.

En general, podemos decir que las funciones principales del nivel físico serán las siguientes:

- Gestión de la macrodiversidad y ejecución de los *handover* (*soft handover*).
- Detección de errores sobre los canales de transporte y la indicación a los niveles superiores.
- Codificación y decodificación FEC (*Forward Error Correction*), *interleaving* y *desinterleaving* de los canales de transporte.
- Multiplexación de los canales de transporte y demultiplexación de los CCTrCH (*Coded Composite Transport Channel*).
- Adaptación de la velocidad de transmisión.

- Mapeado de los CCTrCH sobre los canales físicos.
- Modulación de los CCTrCH sobre los canales físicos.
- Modulación y demodulación, *spreading* y *despreading* de los canales físicos.
- Sincronización en tiempo y en frecuencia (chip, bit, *slot*(intervalo), trama).
- Medición e indicación a los niveles superiores.
- Control de potencia a ciclo cerrado.
- Procesamiento a radio frecuencia.

Los canales de transporte, que contienen los datos generados por el nivel anterior, vienen mapeados en diversos canales físicos y además sus respectivos TFI (*Transport Format Indicator*) se combinan en los TFCI (*Transport Format Combination Indicator*) se combinan en los TFCI (*Transport Format Combination Indicator*). El TFCI se transmite sobre el canal de control físico para indicar al receptor qué canales de transporte están activos en la trama corriente.

### 1.5.5. El nivel MAC.

A continuación describiremos los diversos servicios que el MAC ofrece a los niveles superiores y las funciones que realiza:

- Transferencia de datos: Este servicio suministra la transferencia de MAC SDU sin acuse de recibo entre entidades MAC de igual nivel, sin proveer funciones de segmentación y reensamblado que deberán por tanto ser desarrolladas en niveles superiores.
- Reasignación de los recursos radio y de los parámetros MAC: Este servicio ejecuta, después de una petición del RRC, la reasignación de los recursos radio y la variación de los parámetros utilizados en el interior del nivel MAC para hacer posible el cambio de formato de transporte y del tipo de canal de transporte.
- Comunicación de las medidas: Realiza medidas locales del volumen de tráfico y de la calidad de la transmisión para después comunicárselo al nivel RRC.

El nivel MAC realiza las siguientes funciones:

- Mapeado de los canales lógicos sobre los canales de transporte: Los canales lógicos vienen directamente mapeados sobre los canales de transporte apropiados según corresponda.

- Selección de un formato de transporte apropiado para cada canal de transporte: Para cada canal de transporte se asigna el formato más apropiado en base a la velocidad de la fuente. El control de los formatos de transporte y la posibilidad de una variación rápida permiten una utilización del canal de transporte.
- Gestión de la prioridad entre los diversos flujos de datos pertenecientes a cada UE: De este modo es posible asignar a un flujo de datos con alta prioridad una tasa de bit superior a la que tenía y análogamente una tasa más baja a un flujo de datos con prioridad menor.
- Gestión de la prioridad entre el UE: Para utilizar los recursos radio de manera eficiente para tráfico impulsivo, el MAC realiza la gestión de la prioridad sobre los canales comunes y dedicados.
- Identificación de los UE sobre los canales de transporte comunes: Cuando un UE utiliza un canal común, se tiene la necesidad de identificarlo en banda. Dado que el nivel MAC gestiona el acceso a los canales de transporte y efectúa la multiplexación sobre los mismos, la identificación de los UE es naturalmente desarrollada a este nivel.
- Multiplexación y demultiplexación de las PDU de los niveles superiores.
- Control del volumen de tráfico: Esta función toma medidas del volumen de tráfico sobre los canales lógicos y se lo comunica al RRC. En base a tales informaciones, el RRC establece si hay que modificar algo en las propiedades del transporte de los canales de tráfico.
- Cambio del tipo de canal de transporte: Ejecuta la conmutación entre canales de transporte comunes y dedicados basándose en las decisiones tomadas por el RRC.
- Cifrado para la modalidad transparente del RRC: En esta función se obtienen adquisiciones de datos no autorizadas y solamente viene efectuada para la modalidad de transmisión RLC transparente.

### 1.5.6. El RLC

El nivel RLC realiza las siguientes funciones:

- Segmentación y reensamblado: Esta función realiza segmentación y el reensamblado de las PDU de los niveles superiores de dimensión variable en RLC PU (*Payload Unit*) de dimensiones menores que pueden ser adaptados a los actuales formatos de transporte.

- Concatenación: Si el contenido de una SDU de nivel RLC no entra en un número entero de RLC PU, un primer segmento de la próxima RLC PDU se puede insertar en una nueva RLC PU en concatenación con el segmento de la SDU anterior.
- *Padding*: cuando no es posible aplicar la concatenación y los datos que deben ser transmitidos no entran en una RLC PDU de una determinada dimensión, en la parte que resta del campo de datos, se insertan bits de *padding*.
- Transferencia de datos: Esta función se utiliza para el transporte de datos de los usuarios de los servicios RLC. Las tres modalidades que soporta son la de con acuse de recibo, sin acuse de recibo y transparente.
- Corrección de errores: Esta función establece la corrección de errores en las retransmisiones de los datos recibidos no correctamente en la modalidad de transferencia con acuse de recibo.
- Entrega en secuencia de las PDU del nivel superior: Esta función preserva el orden con el que la PDU del nivel superior se transfiere en modalidad con acuse de recibo. Si esta función no viene utilizada, entonces aparece el servicio de entrega fuera de secuencia.
- Control de flujo: El receptor a través de esta función controla la tasa con la que la RLC en transmisión envía la información.

Los principales servicios que ofrece a los niveles superiores son los siguientes:

1. Instauración y liberación de una conexión RLC: Se establece una conexión para cada enlace radio.
2. Transferencia de datos en modalidad transparente: Con este tipo de servicio se permiten transmitir las PDU de los niveles superiores sin añadir ninguna información de protocolo, limitándose a la segmentación y al reensamblado.
3. Transferencia de datos en modalidad *unacknowledged* (sin acuse de recibo): Con este tipo de servicio se transmiten las PDU de los niveles superiores sin garantía de la entrega a la entidad del mismo nivel. Esta modalidad necesita el soporte de las siguientes características:
  - Detección de errores y la consecuente entrega a los niveles superiores de las SDU que no han sido modificadas de los errores introducidos en la transmisión.
  - Entrega inmediata de la SDU a la entidad receptora del nivel superior.

4. Transferencia de datos en modalidad *acknowledged* (con acuse de recibo): Con este tipo de servicio se garantiza la entrega a la entidad del mismo nivel. En el caso en el que la RLC no estuviese en grado de entregar los datos en modo correcto, se enviaría una notificación a la entidad en cuestión. Para este servicio se soportan ambas modalidades de entrega, en secuencia y fuera secuencia. La modalidad con acuse de recibo necesita de las siguientes características:

- Entrega de la SDU al nivel superior recibida correctamente.
- Entrega de la SDU en el mismo orden con el que se ha transmitido.
- Conservación del QoS: El protocolo de transmisión debe ser configurable en el nivel 3 para servir adecuadamente las diversas calidades del servicio.
- Notifica los errores no recuperables.