

1. La tecnología UMTS.

1.1. Introducción al sistema UMTS.

1.1.1. ¿Qué entendemos por UMTS?

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es el nombre que recibe en Europa el sistema de comunicaciones móviles que está permitiendo que este tipo de comunicaciones llegue a un número muy elevado de usuarios. Los clientes del sistema UMTS tienen acceso a un conjunto de servicios en su versión más evolucionada, con acceso a la red Internet y con facilidades multimedia. UMTS (o más en general, el IMT-2000 *International Mobile Telecommunications*, como se denomina la familia de sistemas relacionados) es uno de los elementos en los que se apoya el desarrollo de la sociedad actual para llegar a la sociedad de la información del futuro.

Desde que existe la tecnología UMTS, diversos autores han descrito el sistema en distintos manuales (en la Bibliografía [7] y [15]), además de en artículos ([5], [6], [8] y [10]) y en páginas de Internet dedicadas al tema ([9], [11], [12] y [13]).

1.1.2. ¿Qué ofrece UMTS?

UMTS es apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, y no solamente para usuarios muy avanzados en aglomeraciones urbanas. Ofrece:

1.1.2.1. Facilidad de uso y costes bajos.

Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. UMTS proporciona:

- Servicios de fácil uso y adaptables para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios.
- Una amplia gama de terminales y otros equipos de “interacción con el cliente” para un fácil acceso a los servicios, con precios accesibles para el mercado masivo, y soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- Tarifas competitivas.

1.1.2.2. Nuevos y mejores servicios.

Los servicios vocales mantienen y mantendrán una posición dominante durante muchos años. Por ello UMTS proporciona servicios de voz de alta calidad, junto con servicios de datos e información avanzada. Las proyecciones muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento hacia el año 2015, lo que posibilita también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija.

1.1.2.3. Acceso rápido.

UMTS aventaja a los sistemas móviles de segunda generación (2G) por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbps. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de videotelefonía y videoconferencia.

1.1.2.4. Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos a pedido.

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GPRS (Servicios de Radiotransmisión de Paquetes de Datos Generales), una extensión de GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias.

UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de:

- Conectividad virtual a la red en todo momento.
- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos que existen.

UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos a pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hace que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

1.1.2.5. Entorno de servicios amigable y consistente.

Los servicios UMTS se basan en capacidades comunes en todos los entornos de usuarios y radioeléctricos de UMTS. Al hacer uso de la capacidad de *roaming* desde su red hacia la de otros operadores UMTS, un abonado particular notará como si estuviera en su propia red local ("Entorno de Hogar Virtual" o VHE). VHE asegura la entrega de todo el entorno del proveedor de servicios, incluyendo por ejemplo, el entorno de trabajo virtual de un usuario corporativo, independientemente de la ubicación o modo de acceso del usuario (por satélite o terrestre). Asimismo, VHE

permite a los terminales gestionar funcionalidades con la red visitada, posiblemente mediante una bajada de software, y se proveen servicios con absoluta seguridad y transparencia a través de una mezcla de accesos y redes principales.

1.1.3. Antecedentes de UMTS: Primera y Segunda Generación.

Los teléfonos móviles de Primera Generación o 1G son analógicos. Estos se pueden usar sólo para voz y tienen una calidad de llamada altamente variable debido a la interferencia. Otra desventaja importante es la baja seguridad que proporcionan, ya que es relativamente sencilla la escucha de llamadas ajenas a través de un sintonizador de radio así como la usurpación de frecuencia, pudiendo cargar las llamadas a un tercero. El estándar 1G AMPS se implementó por primera vez en 1982 en Estados Unidos. Se llegó a implantar también en Inglaterra y en Japón, aunque con otros nombres, TACS y MCS-L1 respectivamente.

Actualmente muchas operadoras todavía la usan como tecnología de respaldo.

AMPS no es compatible con servicio de mensajería corta de texto SMS ni ningún tipo de datos.

La telefonía móvil 2G constituye la primera generación digital de telefonía móvil. Su llegada fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía móvil, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto o *Paging* en un servicio denominado *Short Message Service* o SMS y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y modem.

2G abarca varios protocolos distintos desarrollados por varias compañías e incompatibles entre sí, lo que limitaba el área de uso de los teléfonos móviles a las regiones con compañías que les dieran soporte.

Algunos de los protocolos que se usan en telefonía 2G:

- GSM (*Global System for Mobile Communications*).
- TDMA Celular PCS o IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136), sistema regulado por TIA (*Telecommunications Industry Association*).
- CDMA (*Code Division Multiple Access*).
- D-AMPS (*Digital Advanced Mobile Phone System*).
- PHS (*Personal Handyphone System*), sistema usado en un principio en Japón por la compañía *NTT DoCoMo* con la finalidad de tener un estándar enfocado más a la transferencia de datos que el resto de los estándares 2G.

GSM (*Global System for Mobile communications*, 2G), anteriormente conocida como "Group Special Mobile" (Grupo Especial Móvil), es un estándar mundial para teléfonos

móviles digitales. El estándar fue creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por la ETSI como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo). Es el estándar predominante en Europa, así como el mayoritario en el resto del mundo.

GSM difiere de sus antecesores principalmente en que tanto los canales de voz como las señales son digitales. Se ha diseñado así para un moderado nivel de seguridad.

GSM emplea una modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) obtenida a partir de una modulación MSK que es un tipo especial de FSK (*Frequency Shift Keying*). Para el acceso en la interfaz radio o Abis se utiliza el sistema TDMA de banda estrecha (*Time Division Multiple Access*) entre la estación base y el teléfono celular utilizando 2 de canales de radio de frecuencia dúplex. Para minimizar las fuentes de interferencia y conseguir una mayor protección se utiliza el *frequency hopping* o salto en frecuencia entre canales.

Inicialmente, GSM utilizó la frecuencia de 900 MHz con 124 pares de frecuencias separadas entre sí por 200 KHz, pero después las redes de telecomunicaciones públicas utilizaron las frecuencias de 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los teléfonos móviles de hoy en día sean tribanda. El GSM, se puede dedicar tanto a voz como a datos. Una llamada de voz utiliza un codificador GSM específico a velocidad total de 13 Kbps. Posteriormente se desarrolló un códec a velocidad mitad de 6,5 Kbps que permitirá duplicar la capacidad de los canales TCH, que se denomina FR (*Full Rate*) y HR (*Half Rate*) según los casos.

Una conexión de datos permite que el usuario utilice el móvil como un módem de 9600 bps, ya sea en modo circuito o paquetes en régimen síncrono/asíncrono. También admiten servicios de datos de una naturaleza no transparente con una velocidad neta de 12 Kbps.

Las mejoras de GSM con mayor capacidad de transmisión de datos se denominan GPRS y EDGE, también denominadas generaciones intermedias o 2.5G, que conducen hacia la tercera generación 3G o UMTS.

GPRS (*General Packet Radio Service*, 2,5G), es sólo una modificación en la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes. Desde el punto de vista del Operador de Telefonía Móvil es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS puesto que las antenas (la parte más cara de una red de Telecomunicaciones móviles) sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS. GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los *time slots* (intervalos de tiempo) se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la demanda. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios. Que la conmutación sea por paquetes permite fundamentalmente compartir los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por

otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en recepción y 20 Kbps de transmisión en GPRS.

EDGE (*Enhanced Data rates for GSM of Evolution*, 2,75G) se considera una evolución de GPRS. Puede alcanzar una velocidad de 384 Kbps, con lo que sus beneficios sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos, o ancho de banda alta, como video y otros servicios multimedia.

Además de usar GMSK (*Gaussian Minimum-Shift Keying*), EDGE usa 8PSK (*8 Phase Shift Keying*) para los cinco niveles superiores de nueve esquemas totales de modulación y codificación. En los cuatro primeros niveles se utiliza GPRS propiamente dicho. La utilización de 8PSK produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda GSM. El nivel del esquema que se utilice para transmitir depende de la relación C/I (portadora/interferente), el cual será más alto cuanto más grande sea el valor de C/I. Al igual que GPRS, EDGE usa un algoritmo de adaptación de tasas, que adapta el esquema de modulación y codificación (MCS) usado para la calidad del canal de radio y así el índice binario (*bit rate*) y la robustez de la transmisión de datos. EDGE agrega una nueva tecnología que no se encuentra en GPRS, la Redundancia Incremental, la cual, en vez de retransmitir los paquetes de información alterados, envía más información redundante que se combina en el receptor, lo cual incrementa la probabilidad de decodificación correcta.

1.1.4. UMTS como evolución de los sistemas móviles 2G.

Los sistemas de comunicaciones móviles de Segunda Generación (2G) han experimentado en los últimos años un crecimiento de la demanda que ha sorprendido a todos los analistas y está influyendo de tal forma sobre la sociedad que ha sido el origen, junto con el vertiginoso desarrollo de Internet, de la llamada “Nueva Economía”.

Las comunicaciones móviles vía radio existen desde principios del siglo pasado, pero su expansión ha estado limitada por dos factores fundamentales: el recurso radioeléctrico, muy escaso en las bandas en las que la tecnología estaba disponible y el precio de los sistemas y terminales.

La utilización de frecuencias cada vez más elevadas, una serie de invenciones clave (reutilización de frecuencias, métodos de modulación y codificación, etc.) y, sobre todo, la posibilidad tecnológica de fabricación de sistemas extraordinariamente complejos a precios muy bajos, han permitido esta revolución. Además, hay otros elementos que han provocado esta transformación:

- La existencia de una serie de normas primero europeas y luego internacionales que han permitido el desarrollo de los mercados.

- La nueva forma de organizar el mercado, a través de la competencia y el esfuerzo de marketing, y los servicios cuyo desarrollo esta competencia ha impulsado.

Gran parte del éxito del sistema GSM se debe a la elaboración desde 1982, primero por parte de la CEPT (*Conférence Européenne des Postes et Télécommunications*) y luego a través del ETSI (*European Standards Telecommunications Institute*), de un conjunto de normas comunes a todos los países europeos que permitieron compartir los gastos de investigación y desarrollo del sistema y equipos y ampliaron el mercado, posibilitando las economías de escala. Este camino de consenso ha sido fundamental para el éxito de la 2G.

En el ETSI se comenzó a mediados de los años 90 la definición de un estándar, continuación del GSM, que permitiría una mayor eficiencia espectral y, sobre todo, soportaría los nuevos servicios multimedia. La UIT ha tomado, en cierto modo, el relevo al ETSI, al adquirir la normativa europea un carácter internacional de ámbito global, gracias, sobre todo, a la incorporación de Japón. La estandarización la lleva a cabo la UIT, pero el trabajo técnico se realiza a través de los proyectos de consenso como el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) y el 3GPP2 (en el estándar más específico de la Región 2 América). La Norma que se está definiendo en la actualidad bajo la denominación IMT-2000 debe servir no sólo a las necesidades de Europa, sino que nace con vocación global.

Hay una serie de aspectos que conviene considerar:

- La eficiencia espectral.
- Los servicios.
- La capacidad.
- La cobertura.

El aumento en el número de usuarios trae como resultado un aumento del tráfico. En principio, se puede absorber el tráfico colocando más transceptores, más “portadoras”, en las estaciones base. Sin embargo, llega un momento en que esto no es posible ya que cada portadora debe utilizar una frecuencia diferente y el espectro total destinado a las comunicaciones móviles y asignado por las Administraciones de cada país es limitado. La forma de mejorar la capacidad es colocar más estaciones base de forma que puedan reutilizarse las frecuencias a distancias menores. Sin embargo, este es un proceso muy caro, pues exige nuevas ubicaciones con sus correspondientes licencias, arrendamientos, tomas de energía, equipos, etc. Se debe lograr que el sistema tenga un mayor número de usuarios por MHz, es decir, que mejore su eficiencia espectral.

El sistema GSM supuso una revolución respecto de los sistemas analógicos al introducir las técnicas digitales. La digitalización permitió reducir los costes de fabricación y mejorar, notablemente, el número de comunicaciones que podían cursarse en un ancho de banda dado.

Sin embargo, los niveles de utilización del sistema GSM empiezan a ser, sobre todo en los centros de las ciudades, muy elevados. Ello hace que los costes de instalación sean muy altos, porque las nuevas antenas deben ubicarse con cuidado y, aún así, las interferencias dificultan la comunicación. Se han aplicado muchas soluciones para mejorar la eficiencia espectral de GSM, siendo todas ellas bastante efectivas. Sin embargo, éstas son soluciones a corto plazo. Además, no pueden introducirse nuevos

servicios, únicamente administrarse mejor lo existente. Las dos innovaciones de GSM son GPRS y EDGE, que exploran otros caminos muy interesantes.

Una forma de lograr mejorar la capacidad de GSM y, al mismo tiempo, aumentar la gama de servicios, es introducir la conmutación de paquetes. El GPRS utiliza, esencialmente, la misma interfaz aire que el GSM convencional, pero incluye una nueva capa de acceso al medio MAC (*Medium Access Control*) y una nueva capa de control de radio RLC (*Radio Link Control*) con lo que la transmisión de la información se puede realizar a distintas velocidades (9,6; 13,4; 15,6 y 21,4 Kbps) dependiendo del tipo de codificación. La velocidad es adaptativa, de forma que puede optimizarse dependiendo de las características del canal.

El estándar EDGE para GSM permite, a través de una nueva interfaz radio que utiliza la misma canalización de 200KHz que usa GSM con técnicas de modulación adaptativas, mejorar la capacidad de GSM, especialmente en zonas de alto tráfico. EDGE utiliza una modulación que varía de acuerdo con las condiciones de propagación y de interferencia a las que esté sometido el móvil. De esta forma, es posible acomodar usuarios que tengan unos requisitos relativamente altos de servicios de alta tasa binaria.

Se ha visto que el incremento de la eficiencia espectral es la única forma de reducir el coste de instalación de los nuevos sistemas. En 1993 apareció un sistema en EEUU, CDMA, que ofrece un conjunto de soluciones nuevas e interesantes para mejorar la eficiencia espectral. El principal interés de CDMA reside en que es más eficiente espectralmente. Ello es debido a las siguientes razones:

- CDMA se aproxima a las condiciones ideales que, según la Teoría de la Información (Teorema de Shannon), permiten optimizar la capacidad de los canales.
- CDMA permite aprovechar las pausas de la comunicación de la voz y los datos, consiguiendo no malgastar energía.
- Capacidad. Para transmisión telefónica, el número de canales de voz de un sistema UMTS (por portadora de 5MHz) es 67. Este valor contrasta con el que se obtendría en un sistema tipo GSM, que, con los mismos valores de ancho de banda disponible (5MHz) se obtienen sólo 24 canales.

Pero el rendimiento espectral no es la única razón para introducir un nuevo estándar. Los estudios de mercado muestran cómo los clientes exigen servicios cada vez más avanzados. Estos nuevos servicios requieren velocidades de hasta 2Mbps en ciertos entornos. Por tanto, un buen rendimiento espectral no será suficiente si el sistema no permite la transmisión, para cada usuario, de los volúmenes de información deseados. En el sistema GSM, la capacidad de cada portadora es de 115,2Kbps. Utilizando EDGE, alcanza 384 Kbps. Las posibilidades de los sistemas 2G, más avanzados en eficiencia espectral no permiten que la tasa de información del usuario sea significativamente mayor. Si el sistema UMTS debe permitir valores de pico de las tasas de usuario cercanos a 2Mbps (500 Kbps de forma continua), será preciso que la anchura de banda de la portadora sea superior a esta cantidad en un factor de 2 ó 3. A medida que ha ido avanzando se comprueba que la tasa ha aumentado hasta unos 14Mbps, gracias a la tecnología HSDPA. Esta condición no se cumplía en ninguno de los sistemas actuales, por lo que resulta evidente la necesidad de un sistema nuevo,

que al mismo tiempo incorporara las ventajas de la eficiencia espectral antes mencionada.

1.2. Descripción general del sistema UMTS.

1.2.1. Introducción.

El sistema UMTS contempla la posibilidad de incorporar una componente por satélite. Sin embargo, en este estudio se describirán únicamente los aspectos relacionados con la componente terrestre. En consecuencia, y por simplicidad, se hará uso de expresiones como “sistema UMTS” o “bandas de frecuencias UMTS” en aplicación a su componente terrestre.

1.2.2. Arquitectura del sistema UMTS.

Lo primero que puede decirse sobre la arquitectura de las redes UMTS es que éstas se componen de dos grandes subredes: la Red de Telecomunicaciones y la Red de Gestión. La primera es la encargada de sustentar el trasvase de información entre los extremos de una conexión. La segunda tiene como misiones la provisión de medios para facturación y tarificación de los abonados, el registro y definición de sus perfiles de servicio, la gestión de la seguridad en el manejo de sus datos, así como la operación de los elementos de la red, con el fin ya sea de asegurar el correcto funcionamiento tras periodos de apagado o desconexión de algunos de sus elementos. Por sencillez, de ahora en adelante se empleará la denominación genérica de “Red UMTS” para la Red de Telecomunicaciones de dicho sistema.

Una Red UMTS se compone de los siguientes elementos:

- Núcleo de Red (*Core Network*).
- Red de acceso radio (UTRAN).
- Terminales móviles. Las especificaciones UMTS emplean el vocablo *User Equipment* (UE). Por sencillez, se empleará el término “Terminal Móvil”.

La Ilustración 1 refleja dicha estructura, así como los subsiguientes bloques en los que cabe descomponer alguno de estos elementos, que se analizan en posteriores apartados.

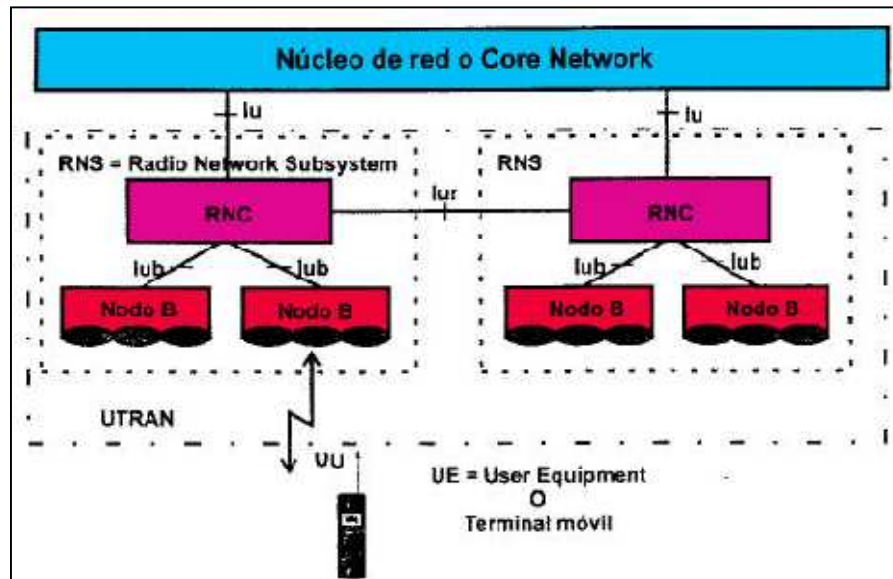


Ilustración 1: Arquitectura general del sistema UMTS

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.

1.3. El Núcleo de Red.

1.3.1. Introducción.

La arquitectura del Núcleo de Red no puede tratarse como una foto fija, sino que deberá abordarse como un proceso que comienza incluso antes del propio UMTS, con la tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*) y que culminará con la arquitectura Todo IP.

Una diferencia fundamental en la arquitectura del Núcleo de Red UMTS respecto a las redes de 2G como GSM, es la diferenciación entre los distintos planos lógicos: Plano de Transporte (funciones de conmutación y control) y Plano de Servicios (donde residen las aplicaciones que se ofrecen al cliente UMTS).

En las redes GSM es frecuente encontrar que ambos Planos de Transporte y Servicio se encuentran integrados sobre el mismo elemento de red. Sin embargo, las redes UMTS construyen ambos planos sobre diferentes elementos y por tanto el Plano de Servicios se independiza del Plano de Transporte. El resultado será clave en un mercado muy competitivo en el que gran parte del éxito del operador se fundamentará en ser capaz de ofrecer aplicaciones muy novedosas y adaptarlas a las necesidades del mercado en un tiempo récord.

Precisamente, la separación en niveles independientes algunas veces se identifica como uno de los factores clave del éxito de la tecnología IP. Este hecho no es una casualidad, sino que precisamente la convergencia entre los sistemas de telefonía móvil e Internet determinará decisivamente el diseño de las redes 3G. El tráfico de las redes de telecomunicación 2G, sustancialmente basado en las comunicaciones de voz, evoluciona hacia otro modelo en el que predomina la transmisión de datos.

El camino hacia la integración de la telefonía móvil UMTS en el mundo IP no está sin embargo exento de dificultades; la transmisión de voz tiene una sensibilidad al retardo que la diferencia sustancialmente de las comunicaciones de datos. Las recomendaciones IP están orientadas a la adaptación de este protocolo a la naturaleza de la voz.

Las redes UMTS nacen con portabilidad de numeración. La MNP (*Mobile Number Portability*) permite a los usuarios cambiar de operador de red conservando el número MSISDN.

El hecho de que el protocolo IP sea el substrato de las redes UMTS plantea un problema relativo a la seguridad. Los elementos de red se identifican con direcciones IP y son por tanto susceptibles al ataque desde redes externas. Otra vertiente de la seguridad radica en los diferentes dispositivos y procedimientos definidos para garantizar la autenticación, confidencialidad e integridad en las comunicaciones.

El diseño de un Núcleo de Red UMTS implica integrar o adaptar conceptos provenientes del mundo de la conmutación de paquetes con conceptos del mundo de la conmutación de circuitos; en otras palabras, se requiere hacer complementarios los recursos dedicados a voz y a datos.

La red UMTS es ya una red absolutamente paquetizada, en la que la voz es sólo uno más de los diferentes tipos de servicios a ofrecer al usuario, cada uno con sus características específicas y sus propias necesidades en recursos de red (QoS, velocidad, fiabilidad, retardo).

1.3.2. División del Núcleo de Red en planos funcionales.

Como ya se ha indicado, los estándares para el Núcleo de Red UMTS se basan en un modelo de referencia que separa los Planos de Transporte y de Servicios.

El plano de Transporte alberga dos niveles: Conmutación, que facilita la conectividad a la red desde diferentes redes de acceso; y Control, que maneja la conmutación.

La separación en niveles independientes permite desarrollar cada nueva aplicación o componente sin afectar al resto y posteriormente integrarlos sin dificultades en el sistema. Además facilita la selección de diferentes tecnologías de transporte en distintas redes de acceso, que se integran en un núcleo de red común.

Los nodos MSC (*Mobile Switching Centre*) y GSN (*GPRS Support Node*), integraban las funciones de control y conectividad (Conmutación) en las redes GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications/General Packet Radio System*). En la red UMTS, se dividen en servidores (Control) y *Media Gateways*. Los primeros ejercen el control de la comunicación y los segundos permiten el acceso desde los diferentes sistemas de radio a los niveles superiores.

1.3.4. Plano de transporte: Conmutación.

El nivel de conmutación o de conectividad se puede contemplar como una capa de recursos distribuidos para la gestión de los flujos de tráfico. El usuario utiliza su terminal móvil para acceder a los servicios que le ofrece la red, y este plano es la interfaz hacia esos servicios. Este plano está constituido en primera instancia por los *Media Gateway* (MGW), que procesan la información de los usuarios (codificación, cancelación de eco, etc.) y actúan como conmutadores de acceso a la Red Troncal (*backbone*). Los MGW también controlan el establecimiento y liberación de las conexiones. En segunda instancia, el plano de transporte incluye la red troncal necesaria para interconectar todos los MGW. Esta última se emplea también para interconectar los nodos del plano de servicios.

Para la red troncal que interconecta los elementos (nodos) de la red de ambos planos (Nodos B, MGWs, servidores, etc.) se pueden emplear distintas tecnologías de transporte como ATM o IP, que se pueden compartir en el Núcleo de Red y en el Acceso Radio.

1.3.5. Plano de transporte: Control.

El nivel de control consta de diferentes tipos de servidores de red o de llamadas como MSC, GSN, HLR (*Home Location Register*), SCP (*Service Control Point*), AUC (*Authentication Centre*), o SMS-C (*Short Message Service Centre*). Estos servidores controlan la seguridad, la movilidad, el establecimiento y la desconexión de las sesiones, servicios suplementarios, etc.

Los servidores de llamadas se comunican entre sí y con otros elementos de la red mediante protocolos estándar para el control de la movilidad y de la sesión como MAP (*Mobile Application Protocol*), ISUP (*ISDN Service User Protocol*) para la interconexión con la red telefónica fija, etc.

La interfaz entre los niveles de Conmutación y Control, dentro del Plano de Transporte, solo intercambian información de señalización. La información de usuario y el empleo de recursos como las locuciones se manejan a nivel de Conmutación.

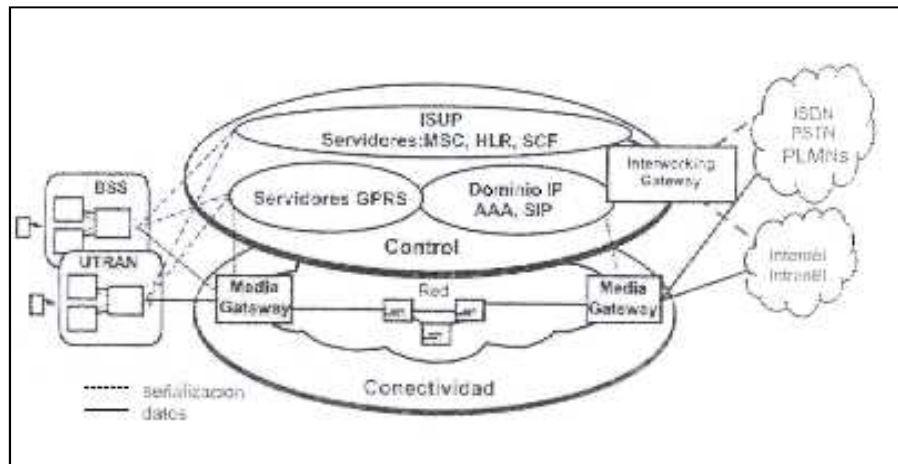


Ilustración 2: División del plano de transporte en Conmutación y Control

En la Ilustración 2 se puede ver en la línea discontinua el tráfico de señalización que corresponde al nivel de Control. Dentro del Plano de Control se distinguen los entornos dedicados a ISUP, a GPRS y al dominio IP. Cuando culmine el desarrollo de la arquitectura de red hacia Todo IP, se podrán suprimir los servidores ISUP y GPRS.

1.3.6. Plano de Servicios.

El Plano de Servicios agrupa a los servidores de servicios y aplicaciones. Las aplicaciones residen parcialmente en los terminales y en estos servidores específicos de aplicaciones en el Núcleo de Red. A menudo emplean *Software Agents* y *Applets* en Java.

1.3.7. Elementos del Núcleo de Red.

El Núcleo de Red está constituido por una serie de elementos (Nodos) que desempeñan distintas funciones. Los servidores de llamada gestionan las funciones de control y los *Media Gateway* la conectividad del Plano de Transporte. Otros elementos agregan servicios complementarios relacionados con la seguridad, autenticación y tarificación de las llamadas.

A continuación se explica el papel de los elementos más importantes:

- Servidor MSC: maneja las funciones de control relativas a los servicios de conmutación en modo circuito.
- Servidor SGSN (*Serving GPRS Support Node*): maneja las funciones de control relativas a los servicios de conmutación en modo paquete.
- Servidor AAA (*Authentication Authorization Accounting*): realiza las funciones de autenticación, seguridad y tarificación para las comunicaciones en modo paquete.
- GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) : realiza el control del túnel de datos, el manejo de las direcciones IP, la recolección y salida de los ficheros de tarificación,

el control de la seguridad, encaminamiento de paquetes y la gestión de la calidad de servicio.

- HLR: es una base de datos que aloja los datos específicos de usuario.
- AUC: realiza funciones de identificación y protección del usuario.
- SCP: contiene la lógica de los servicios de red inteligente, como servicios de redes privadas virtuales o servicios de prepago.
- EIR: es una base de datos que contiene las identidades y características de los equipos móviles.
- *Billing Gateway*: recoge la información generada por distintos nodos (GSN, MSC, etc.) y la encamina a los sistemas de gestión de administración del operador.
- MGW: soporta las funciones del plano de usuario para la comunicación en modo circuito y en modo paquete. Estas funciones incluyen el proceso de la información de usuario (codificación de voz, transferencia a tres, etc), la generación de tonos, el establecimiento y desconexión de los circuitos, la provisión de información de tarificación, seguridad, encaminamiento y conmutación, y calidad de servicio.

1.3.8. Seguridad en el Núcleo de Red.

Las amenazas y peligros a los que se exponen las redes 3G han aumentado considerablemente debido a diversos factores. Las fuentes generadoras de estas situaciones indeseadas pueden pertenecer a cualquiera de los siguientes grupos:

- Usuarios de la propia red, conectados a cualquiera de los dominios de la misma.
- Usuarios de otras redes de paquetes con las que existe conexión, ya sean redes de datos o de otras operadoras.
- Personal de la propia compañía u otras con acceso, ya sea éste permitido o no, a los nodos y sistemas de operación.
- Los propios equipos debido a funcionamiento erróneo y/o inesperado.

Ya sea con auténtica intención de perjudicar y/o defraudar al operador, o por mero accidente o incompetencia, un ataque proveniente de cualquiera de las fuentes posibles y mediante uso de cualquier mecanismo, siempre supone un serio problema cuyas consecuencias pueden abarcar desde la disminución de la calidad de servicio acordada con los usuarios, debida a la intrusión de tráfico no deseado que impide el tráfico de los auténticos usuarios, hasta la configuración maliciosa de los elementos de la red que conduzca a su indisponibilidad, pasando por el uso fraudulento de los servicios ofrecidos por la red. Por este motivo se ha diseñado una arquitectura de seguridad para redes UMTS.

1.3.9. Calidad de servicio.

Para proporcionar cierta calidad de servicio en una red se debe establecer desde el origen al destino un servicio portador con características y funcionalidades claramente definidas.

El servicio portador incluirá todos los aspectos necesarios para permitir la provisión de la calidad de servicio contratado. Estos aspectos son, entre otros, el control de la señalización, el transporte de los tráficos que entran a la red desde los diversos accesos y las funcionalidades de gestión de QoS (*Quality of Service*).

La arquitectura de niveles de un servicio portador UMTS se representa en la Ilustración 3. Cada servicio portador de un nivel específico ofrece servicios individuales utilizando servicios proporcionados por los niveles inferiores.

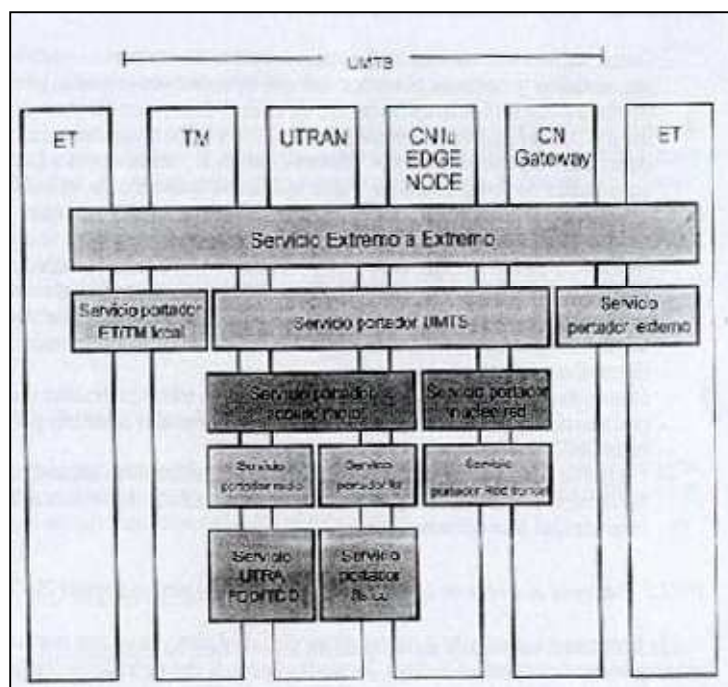


Ilustración 3: Arquitectura de la calidad de servicio en UMTS

Compete al servicio portador UMTS proporcionar la calidad de servicio UMTS. Este servicio consiste en dos partes, el servicio portador de Acceso Radio y el Servicio Portador de Núcleo de Red:

- El servicio portador de Acceso Radio proporciona el transporte de la señalización y de los datos de usuario entre el Terminal Móvil y la interfaz IU del Núcleo de Red.
- El servicio portador del Núcleo de Red UMTS conecta la interfaz IU del mismo con la pasarela del Núcleo de Red de una red externa. El papel del Núcleo de Red para este servicio es controlar y utilizar eficientemente la Red Troncal, proporcionando el servicio portador UMTS contratado.

1.3.10. Fases del Núcleo de Red.

El Núcleo de Red incorpora funciones de transporte e 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, incluyendo también la gestión de la movilidad. A través del Núcleo de Red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicación, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

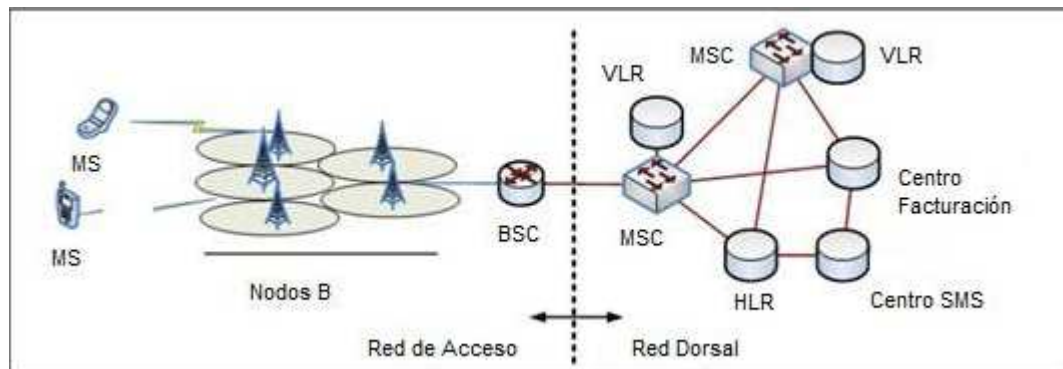


Ilustración 4: Esquema general de una Red Móvil

- Fase inicial.

Por lo que respecta al Núcleo de Red, el sistema UMTS ha sido diseñado con una mentalidad pragmática, 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. En una primera fase del UMTS, el Núcleo de Red se configura en dos dominios: de conmutación de circuitos CS (*Circuit Switch*) y de paquetes PS (*Packet Switch*). A través del modo CS se encaminarían los tráficos de voz y datos en modo circuito, mientras que el PS haría lo propio con el de datos en modo paquete. Asimismo, el Núcleo de Red se compone de unos elementos funcionales similares, en su mayoría, a los de las redes 2G, que posibiliten la construcción de las primeras redes UMTS a partir de evoluciones de los nodos de paquetes y centrales de conmutación de segunda generación. En concreto, los elementos funcionales comunes a ambos dominios son los siguientes:

- HLR (*Home Location Register*). Esta entidad funcional es una base de datos encargada de la gestión 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.

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.

- VLR (*Visitor Location Register*). Es el registro en el que una red UMTS almacena datos temporales sobre los terminales móviles, que se encuentran momentáneamente en el área controlada por una MSC (*Mobile Switching Center*) concreta. Cuando uno de estos terminales entra en un área de localización (aquel conjunto de células entre las que un terminal móvil puede deambular sin que sea necesario actualizar su registro de VLR) comienza un procedimiento de registro, mediante el cual la MSC a cargo de dicha área toma nota del evento, y comunica a su VLR la identidad del área de localización en la que se encuentra el móvil. Si el móvil no estaba ya registrado en el VLR, éste y el HLR intercambian la información necesaria para permitir gestionar los servicios que dicho móvil solicite.
- AuC (*Authentication Centre*). Es una entidad que almacena los datos de cada cliente para permitir que el IMSI sea autenticado y se cifren las comunicaciones, en la parte radio, entre el terminal móvil y la red.

El AuC envía los datos necesarios para la autenticación y cifrado, a través del HLR, al VLR y a la MSC, y se comunica tan sólo con su HLR asociado a través de la interfaz H.

- EIR (*Equipment Identity Register*). Es la entidad lógica responsable del almacenamiento en la red de los IMEIs (*International Mobile Equipment Identities*, o identidades de los equipos terminales). Los equipos se asignan sin restricciones en la red, objetos de cierto seguimiento, o con prohibición del servicio.
- 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 de 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.

- 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. Lo primero que puede decirse sobre la futura configuración de los Núcleos de Red, es que parece haber un consenso general en que estos se basarán en el modo paquete y, por tanto, en el protocolo IP. Semejante cambio llevaría aparejadas una serie de transformaciones en el Núcleo de Red. Una de ellas sería la separación entre los planos que lo componen: transporte, conmutación y control. Según esta tendencia, el transporte y el control se separarían, de forma que el transporte se situaría en una red IP multiservicio, destinada no solo a transportar la información relacionada con la red UMTS, sino también de otras redes. El control se ubicaría en una serie de nodos servidores, encargados de soportar los procesos de control de las llamadas y conexiones

multimedia a ofrecer. La conmutación pasaría a ser de paquetes, soportada por los nodos de conmutación de paquetes mencionados.

Un escenario como el descrito anteriormente requiere un protocolo de transferencia de paquetes capaz de introducir prioridades en el manejo de estos, puesto que, de no ser así, el manejo de servicios en tiempo real resulta inabordable. Esta es precisamente una de las carencias de la versión 4 del protocolo IP. En estos momentos, algunos terminales realizan transmisión de voz y video utilizando el protocolo IPv6. Este protocolo surgió como consecuencia del tremendo crecimiento de Internet, que ha provocado que las direcciones basadas en el protocolo IPv4 sean escasas. Los dispositivos que utilizan este nuevo protocolo pueden utilizar servicios multimedia interactivos. Puede tener aplicaciones en coches, barcos, dispositivos de altimetría, etc. IPv6 soluciona los problemas de IPv4, que carecía de suficientes equipos de enrutado y seguridad. Como alternativa, nos encontramos con otro tipo de soluciones más accesibles, como puede ser la combinación de IP con ATM. Así, IP se acaba imponiendo en las redes como la tecnología de transporte en la Red Troncal, por las siguientes razones:

- o Permite un procedimiento más flexible que las redes de conmutación de circuitos tradicionales.
- o Los routers IP son más baratos que los conmutadores ATM.
- o IP emplea más eficientemente la anchura de banda disponible.
- o IP es la tecnología que permite la convergencia de distintas redes.

La arquitectura IP se debe basar en la evolución de las especificaciones R99 y debería ser compatible con IMT-2000, proporcionando movilidad basada en ERAN (*Edge Ratio Access Network*) y UTRAN con un núcleo de red común. En cualquier caso, lo que sí parece bastante seguro es que el futuro de los Núcleos de Red pasa por la desaparición de las centrales de conmutación, y del dominio en modo circuito, en beneficio de un único dominio de paquetes, en el que los procesos de control se alojen en nodos al efecto, y el transporte se realice sobre una red multiservicio, junto con las comunicaciones de otros sistemas.

1.4. La Red de Acceso Radio.

1.4.1. Introducción.

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.

1.4.2. Interfaces de la UTRAN.

Los elementos funcionales definidos en la Red de Acceso Radio se comunican entre sí por una serie de interfaces (ver Ilustración 1):

- Interfaz Núcleo de Red-RNC (I_u).
- Interfaz RNC-RNC (I_{ur}).
- Interfaz RNC-Nodo B (I_{ub}).
- Interfaz Radio (U_u).

Veremos todas ellas con especial atención en la Interfaz Radio.

1.4.2.1. Interfaz radio.

En lo tocante a la Interfaz Radio, UMTS ofrece un enfoque completamente diferente que el propuesto en las redes 2G. Ello es así porque se recurre a una técnica de acceso múltiple, como es la DS-CDMA (*Direct Sequence-Code Division Multiple Access*), diferente a TDMA (*Time Division Multiple Access*), empleada en la mayoría de los sistemas de 2G.

Una técnica de acceso radio es básicamente una manera de conseguir que varias transmisiones compartan el espacio radioeléctrico, de forma que cada una de ellas haga posible la comunicación entre los extremos entre los que se produce, sin impedir que las demás hagan lo propio. La técnica más antigua es la denominada FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Consiste básicamente en asignar a cada transmisión una frecuencia diferente, de manera que en recepción, mediante la sintonización en la frecuencia adecuada, el filtrado de la señal elimina las transmisiones ajenas y retiene la propia. Esta solución es sencilla, pero es fácil ver que adolece de la limitación de abusar de un recurso limitado y escaso, como es el espectro radioeléctrico. Con el fin de evitar las limitaciones del FDMA, se introdujo posteriormente (especialmente en las redes de 2G) la técnica TDMA. Su fundamento reside en que las transmisiones no se realicen simultáneamente, sino que tienen lugar según un ciclo rotatorio y periódico. Así, cada una de las comunicaciones sólo puede tener lugar durante una ventana de tiempo, durante la cual nadie más puede transmitir.

Una tercera opción, la más moderna de las tres en lo que respecta a su aplicación a las telecomunicaciones móviles terrestres comerciales se refiere, es la DS-CDMA. Proveniente del entorno militar, esta técnica no se basa en el uso de frecuencias o de tiempos de transmisión diferentes, sino de secuencias. Se trata de una solución perteneciente a un grupo más extenso de técnicas, conocidas como de espectro ensanchado. Todas ellas generan, a partir de la señal en banda base, una señal moduladora de un ancho de banda mucho mayor que el de la banda base, utilizando un código de expansión espectral que permite la separación entre diferentes comunicaciones que comparten la misma portadora. Esta operación proporciona una importante ventaja como es la mejora de la inmunidad frente a desvanecimientos

selectivos en frecuencia: al ser el ancho de banda de coherencia del desvanecimiento mucho menor que el ancho de banda de la señal, el porcentaje de la señal transmitida que se ve afectado por el desvanecimiento es pequeño y tanto menor cuanto mayor es el ensanchamiento. Por tanto, cuanto mayor sea este último, mayor inmunidad. Esta ventaja se da también frente a interferencias debidas a señales de banda estrecha. Esto es algo que no tiene excesiva importancia en entornos comerciales, pero sí en los militares.

En el caso de la técnica DS-CDMA, el ensanchamiento se consigue multiplicando la señal digital en banda base por una secuencia conocida por los extremos en comunicación. Dicha secuencia posee una velocidad mucho mayor que la banda base. El producto modula a una portadora, con lo que se consigue una señal modulada cuyo ancho de banda es substancialmente mayor que el ancho de señal original. En recepción se multiplica la señal demodulada por la misma secuencia, lo que permite la recuperación de la señal en banda base. Esta operación restaura el ancho de banda de la señal útil, pero en cambio ensancha la de cualquier señal interferente de banda estrecha que pudiera recibirse, reduciendo la cantidad de energía de esta que interfiere con la señal útil, en proporción al ensanchamiento efectuado. Esto se refleja en la Ilustración 5.

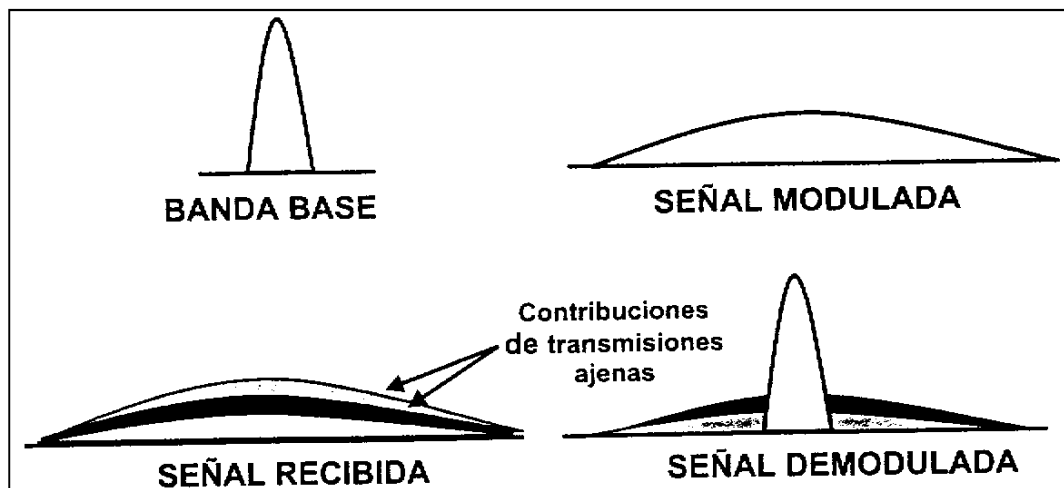


Ilustración 5: Concepto de la técnica DS-CDMA

La Ilustración 6 representa un sistema CDMA con receptor convencional. Se muestra de manera simplificada, la estructura del emisor y del receptor correspondiente a una comunicación o enlace de referencia; las señales de los demás usuarios serán señales interferentes.

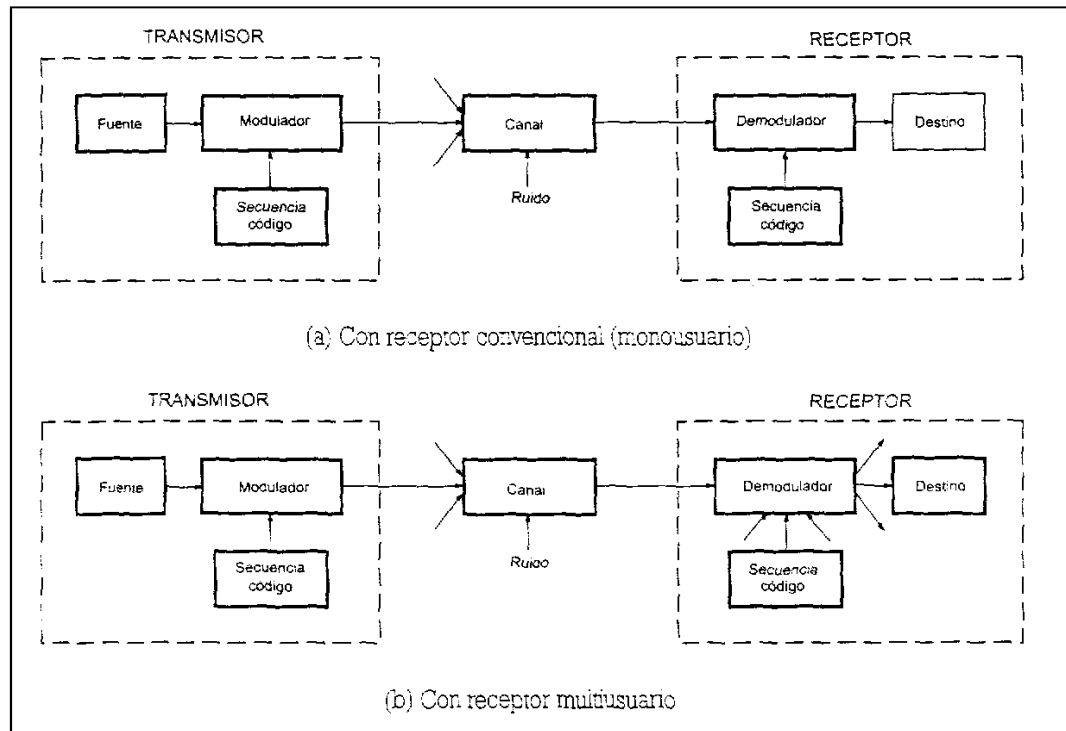


Ilustración 6: Esquema simplificado de un sistema CDMA

Existen varios tipos de técnicas de espectro ensanchado, que dan lugar a otras tantas variantes de CDMA:

- 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 de secuencia directa es la más utilizada en sistemas de comunicaciones móviles CDMA, y constituye la base de los métodos de acceso WCDMA (ver modo FDD).

1.4.2.1.1. Ventajas de las técnicas de espectro ensanchado:

Mediante las técnicas de espectro ensanchado se ocupa un ancho de banda mucho mayor que el estrictamente necesario, lo cual, en principio, no es deseable, dada la escasez del espectro radioeléctrico. El interés de los sistemas de espectro ensanchado reside en que a cambio de esa mayor ocupación espectral se logra una

serie de ventajas respecto a los sistemas convencionales, las cuales se indican a continuación:

- Reducción de la densidad espectral de potencia: como consecuencia del proceso de ensanchamiento espectral, la potencia de la señal se distribuye en una banda mucho mayor que la ocupada por la señal original, lo cual hace que la densidad espectral de potencia disminuya. Debido a esta reducción de densidad de potencia, un receptor no autorizado tendrá dificultades para detectar la presencia de la señal, pues esta quedará enmascarada por el ruido de fondo. El destinatario, en cambio sí puede, con el conocimiento de la secuencia código, recuperar la señal.
- Privacidad: la señal de información solo puede ser recuperada si se tiene conocimiento de la secuencia código. Esto dificulta las escuchas no intencionadas.
- Protección frente a interferencias (ver Ilustración 7):
 - a) Interferencias de banda estrecha. La operación de multiplicación produce el desensanchamiento de la señal deseada. Por el contrario, para la interferencia actúa como un ensanchamiento. A continuación, la señal total es procesada por un filtro adaptado a la señal deseada desensanchada, cuyo efecto es rechazar la mayor parte de la interferencia, debido a que actúa para ésta como un filtro paso bajo.

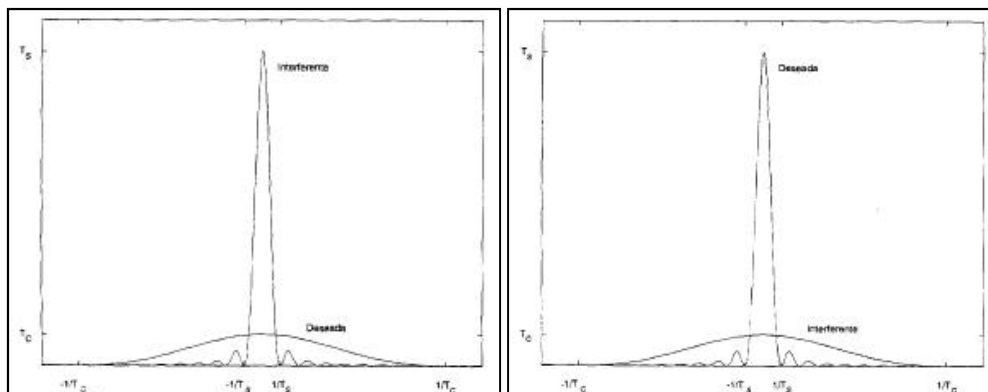


Ilustración 7: Rechazo a interferencias de banda estrecha

- b) Interferencias de banda ancha. Se tienen los siguientes casos particulares:
 - Para señales interferentes de ancho de banda similar al de la señal ensanchada. La señal interferente se mantiene ensanchada en el receptor, y por lo tanto es filtrada en el mismo, reduciendo su efecto sobre la señal deseada.
 - Si la señal no deseada tiene un ancho de banda mucho mayor que el de la señal deseada (equivalente al ruido blanco), no se proporciona ninguna protección.
 - Resolución temporal y protección frente a multitrayecto: en los canales de propagación encontrados en sistemas de comunicaciones móviles

aparece siempre el fenómeno de multitrayecto, según el cual la señal recibida es una superposición de replicas de la señal transmitida con diferentes fases, amplitudes, retardos y desplazamientos. Si se utilizan señales con una resolución temporal suficientemente fina, puede separarse y combinarse coherentemente las componentes debidas al multitrayecto, evitando estos problemas. Las señales de espectro ensanchado resultan especialmente indicadas para este fin.

1.4.2.1.2. Bandas de funcionamiento y anchura de banda de RF.

Las bandas de frecuencia utilizadas actualmente por el UMTS se especificaron en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1992, en la que se decidió la atribución de espectro para los sistemas IMT-2000, a los que pertenece el UMTS.

Posteriormente, en el seno del ETSI, el denominado “Acuerdo de París” estableció que dicho sistema se estructuraba en dos componentes, FDD y TDD, con el consiguiente 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 (aquellas no repartidas a partes iguales entre los dos sentidos del enlace). Concretamente, de 2010 a 2025 MHz y de 1900 a 1920 MHz.

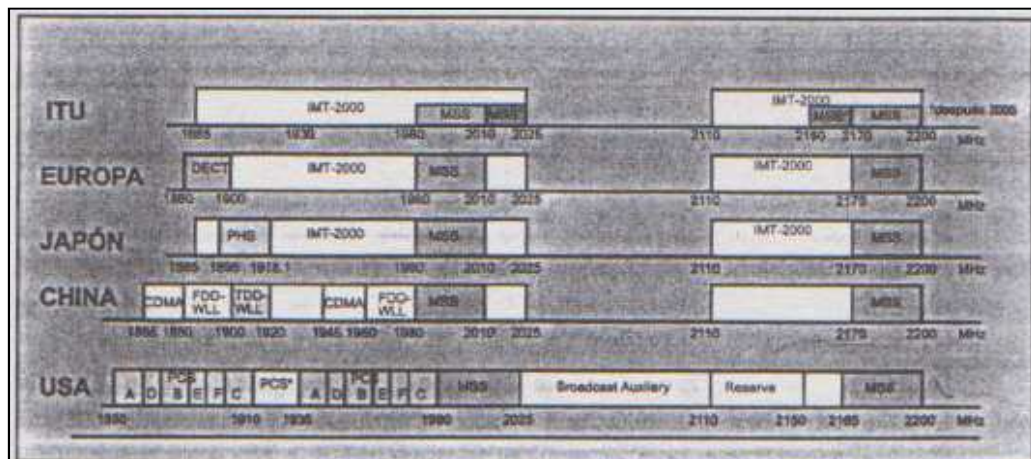


Ilustración 8: Asignación de espectro para UMTS en la banda de 2.000 MHz

1.4.2.1.3. Modo FDD.

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 secuencia multiplicadora.

La modulación en el modo FDD difiere ligeramente entre el sentido ascendente y el descendente, aunque en ambos casos se trata de modulación QPSK. Una modulación de este tipo consta de varios pasos: una primera conversión de la secuencia moduladora de serie a paralelo, a partir de la cual se construyen otras dos secuencias de velocidad mitad de la de entrada, una tomando los símbolos pares de la secuencia original, y la otra, con los impares.

A este proceso le sigue otro en el que cada una de las secuencias obtenidas modula en amplitud a una portadora, que se encuentra desfasada 90 grados con respecto a la del otro camino (fases Q e I respectivamente). En último lugar, ambas señales se suman, produciendo una señal conforme a la modulación QPSK, tal como refleja la Ilustración 9.

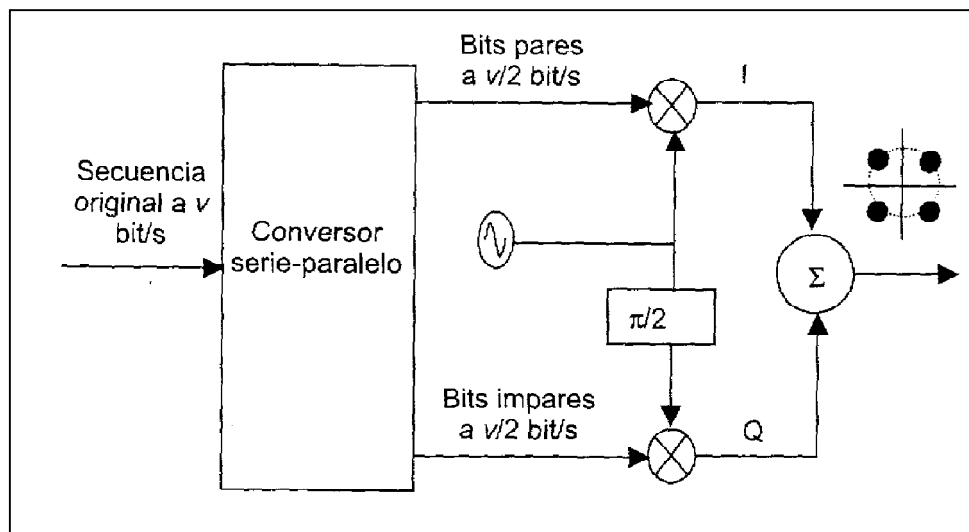


Ilustración 9: Esquema general de un modulador QPSK

1.4.2.1.4. Modo TDD.

En el modo TDD una transmisión se identifica por la frecuencia portadora en que se realiza, el código CDMA empleado y el intervalo de tiempo en que se efectúa. Quiere esto decir que, a diferencia del modo FDD y semejanza del sistema GSM, en este modo, la división de las transmisiones en intervalos de tiempo sí tiene un significado de separación entre canales.

La modulación empleada en TDD es QPSK en ambos sentidos. Sin embargo, no existe, como en FDD, una banda de frecuencias para 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 de tráfico asimétrico. De ahí

que el modo TDD resulte especialmente idóneo para el soporte de servicios con perfiles de tráfico de este tipo, como la navegación por Internet.

1.4.2.1.5. Codificación de canal.

Las técnicas de codificación (y decodificación) de canal tienen como finalidad mejorar las prestaciones de los sistemas de transmisión digital en cuanto a tasa de errores, a cambio de un aumento de la anchura de banda ocupada y/o de complejidad en el procesamiento de la señal. En sistemas CDMA, como ya se ha comentado anteriormente, la codificación permite mejorar las prestaciones sin incremento del ancho de banda ocupado. La mejora de la probabilidad de error se puede interpretar como un aumento en el número de usuarios admisibles para una calidad de servicio determinada, esto es, una mejora de capacidad del sistema.

La codificación de canal se basa en realizar una transformación sobre la secuencia de bits que se van a transmitir, introduciendo redundancia en la misma de forma controlada. La tasa del código r , definida como la relación entre la velocidad binaria antes y después de la codificación ($r < 1$), mide el grado de redundancia introducida.

Las técnicas de codificación de canal se pueden clasificar de acuerdo con dos criterios:

1. Según su utilización:

- Técnicas de corrección de errores (FEC, *Forward Error Correction*), en la que el código se utiliza para tratar de lograr una menor tasa de errores tras la decodificación.
- Técnicas de detección de errores, en las que solo se detecta la existencia de errores en la señal recibida.

2. Según el tipo de código:

- Códigos de bloque, en los que para cada bloque de k bits de fuente se produce un bloque de $n > k$ bits codificados.
- Códigos convencionales, en los que k bits de fuente producen n bits codificados mediante una operación lineal.

La modalidad de control de errores utilizada depende del tipo de servicio considerado. Por ejemplo, la transmisión de voz o videoconferencia debe producirse en tiempo real, con un retardo pequeño y constante, mientras que la probabilidad de error no es crítica; lo contrario sucede en la transmisión de datos, en la que debe asegurarse una probabilidad de error prácticamente nula, mientras que el retardo no es tan importante. Habitualmente se emplean las dos técnicas de corrección y detección combinadas de la siguiente forma:

- Código interno para corrección de errores, normalmente mediante códigos convolucionales.
- Código externo para detección de errores, mediante un código bloque. El objetivo de esta etapa es detectar los errores que el código interno no ha podido corregir.

1.4.2.2. Interfaz I_u .

Las interfaces I_x conectan los elementos de la UTRAN, ya sea entre sí o con el Núcleo de Red.

Concretamente, la interfaz I_u 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. Se le denomina I_u -CS (*Circuit Switch*). La segunda se destina al dominio de conmutación en modo paquete, y responde a las siglas I_u -PS (*Packet Switch*). Por último, se define la componente I_u -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 con el caso del BC, donde se admite la conexión con más de un punto de acceso.

1.4.2.3. Interfaz I_{ur} .

La interfaz I_{ur} 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. Su implantación es opcional, y, de realizarse, permite liberar al Núcleo de Red de las decisiones relativas a trasposos entre células adscritas a RNC diferentes. En definitiva, sitúa la gestión de la movilidad de las conexiones radio dentro de la red de acceso.

Se trata de una interfaz lógica. Esto quiere decir que su existencia no supone forzosamente la necesidad de 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 I_u y el Núcleo de Red, que unen los RNC, de manera que la interfaz I_{ur} se transporta separada lógicamente de la información de las otras interfaces.

1.4.2.4. Interfaz I_{ub} .

I_{ub} 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.

La interfaz I_{ub} se basa en el modelo lógico del Nodo B. Este consta de un puerto común de control (enlace de señalización común) y un conjunto de puntos de terminación de tráfico, cada uno de ellos controlado por un puerto de control dedicado (enlace de señalización dedicado). Cada punto de terminación de tráfico controla cierto número de móviles con recursos dedicados en el Nodo B, y el tráfico se transporta a través de los puertos de datos dedicados correspondientes.

1.5. Terminales Móviles.

Los terminales móviles constituyen uno de los eslabones finales de la cadena de comunicación a través de la red UMTS. Mediante ellos los usuarios móviles pueden conectarse con la Red de Acceso, que a su vez hace lo propio con el Núcleo de Red, puerta de la conexión con usuarios de otras redes.

Los terminales móviles UMTS se dividen en dos dominios: de equipo móvil ME (*Mobile Equipment domain*) y de modulo de identidad de usuario USIM (*User Identify Module*). El primero es el encargado de realizar la transmisión y recepción de la señal radio. También puede contener aplicaciones. Dentro de él se distinguen la terminación móvil MT (*Mobile Termination*), donde se efectúan las operaciones relativas a la interfaz radio, y el equipo terminal TE (*Terminal Equipment*), en el que residen las aplicaciones extremo a extremo.

El modulo USIM consiste en una tarjeta extraíble. Contiene todos los datos y procedimientos para identificar al usuario frente a la red, sin ambigüedad 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, el UMTS europeo continuará con la misma filosofía que la 2G europea, basada en la personalización de los terminales mediante la inserción de la oportuna tarjeta identificadora.

1.6. Servicios.

Un posible catálogo de servicios 3G puede ser:

- Vídeo y Audio: La combinación de voz vídeo y audio es la esencia de multimedia, por tanto, es importante contar desde el principio con los siguientes servicios:
 - Videotelefonía
 - Videoconferencia
 - Vídeo Bajo Demanda
 - Audio Bajo Demanda
- Descarga de imágenes.
- Difusión de radio y televisión.
- Juegos.
- Mensajería Multimedia: la mensajería multimedia permite al usuario final disfrutar de un servicio de almacenamiento y entrega de mensajes con formato diverso (texto, audio, imágenes y vídeo) todo ello en una misma aplicación.
- Acceso a Internet.
- Navegación mediante voz.
- Chat.

- Servicios de información: estos servicios supone una verdadera revolución, ya que, asociados a un servidor de localización, un usuario puede acceder/recibir todo tipo de información relacionada con su entorno o sus preferencias.
- Tele-enseñanza.
- Transacciones electrónicas.
- Banca móvil.
- Medios de pago.
- Servicios de entorno personal: se ofrece a los usuarios la opción de personalizar el menú de acceso de sus terminales.
- Servicios orientados a empresas: Red Privada Virtual: integración de los terminales móviles como extensiones dentro del plan de numeración privado de la empresa, con la posibilidad de obtener facturas detalladas en formato electrónico y gran flexibilidad en las opciones de tarificación.
- Servicio de telemando, telemedida y telecontrol:
 - Telemando: la integración del *Bluetooth* con UMTS permite el desarrollo de la domótica, utilizando el terminal para controlar las aplicaciones residentes en el hogar, como el aire acondicionado, electrodomésticos, etc.
 - Telemedida: transmisión periódica de medidas sobre estado de las máquinas y equipos. Se puede emplear para gestión de tráfico, contadores de gas y agua, etc.
 - Telecontrol: se puede emplear por ejemplo para riego de campos y jardines.
- Control de flotas: se puede llevar a cabo tanto para la localización del vehículo como la gestión del estado de los equipos incorporados dentro del mismo, desde un concesionario, pudiendo avisar al usuario del cambio de una pieza de forma personalizada.

1.7. Nodos B.

1.7.1. Introducción.

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, precisamente, los Nodos B, ya que deben asegurar la cobertura en las diferentes zonas previstas para el funcionamiento 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.

Quizás uno de los aspectos más importantes en la arquitectura del Nodo B para la 3G es la flexibilidad, en contraposición con la asignación rígida de portadoras en los sistemas GSM.

1.7.2. Características.

Las principales características a tener en cuenta en un Nodo B son las siguientes:

- Número de portadoras.
- Número de sectores que pueden definirse en el Nodo.
- Potencia de salida de radiofrecuencia.
- Sensibilidad en recepción.
- Capacidad de elementos del canal.
- Mecanismos de redundancia.
- Características de compatibilidad electromagnética.
- Soporte de funciones opcionales dentro de la especificación UMTS, como por ejemplo los distintos tipos de diversidad de transmisión y de recepción.
- Mecanismos de protección del software.
- Características de alimentación y consumo de energía.
- Características mecánicas (dimensiones, peso).
- Características medioambientales.

1.7.3. Elementos auxiliares.

Además de los elementos mencionados anteriormente, el Nodo B se complementa con un conjunto de elementos auxiliares necesarios para permitir la transmisión/recepción de la señal de radio, mejorar la cobertura, abaratar el coste de despliegue de la red y permitir diferentes modos de distribución de la señal. Los más importantes son los siguientes:

- Duplexores: elemento cuya finalidad es permitir la utilización de antenas de banda dual para la radiación de señales en dos bandas de frecuencia.
- Amplificadores de torre: elementos que se utilizan para compensar las pérdidas que la señal recibida sufre al pasar por el cable que va desde la antena hasta el bastidor de la estación base, mejorando la sensibilidad de esta, y ampliando por lo tanto su rango de cobertura.
- Repetidores: dispositivos de comunicación que amplifican y filtran bidireccionalmente las frecuencias de radio móvil, permitiendo extender la cobertura de un Nodo a áreas pequeñas que no pueden ser cubiertas por problemas de propagación, y con un coste normalmente inferior al de un Nodo.
- Antenas: las antenas a emplear en la red UMTS serán de varios tipos dependiendo del entorno concreto donde se utilicen. La novedad más importante en los sistemas UMTS es el posible uso de antenas inteligentes que permiten variar a lo largo del tiempo la dirección a la que apunta un haz (o varios haces) para su enfoque hacia las posiciones deseadas. La lógica de la antena 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. Esto hace que en UMTS se disminuya la interferencia radiada en ese sector. Veremos con más detenimiento este tipo de antenas a continuación.

1.7.4. Antenas inteligentes.

1.7.4.1. Definición.

Una antena inteligente es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento. Existen varias formas de implementar un sistema radiante con estas características, como se detalla a continuación.

La implantación de antenas inteligentes en una red de comunicaciones móviles se limita, en principio, a las estaciones base (Nodos B en UMTS), debido a que se deben emplear sistemas radiantes de mayor tamaño (*arrays* de varios elementos). Esto tiene la ventaja añadida de que pueden introducirse las antenas inteligentes de forma transparente para los usuarios, que no tienen que cambiar de terminal para beneficiarse de esta tecnología.

La característica de las antenas inteligentes de tener unos haces de radiación con una mayor directividad (es decir, mayor ganancia y mayor selectividad angular), hace pensar en las siguientes ventajas potenciales de estos sistemas:

- Incremento de la zona de cobertura. Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectorizadas, para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a una mayor distancia. Este hecho podría permitir reducir el número de Nodos B necesarios para cubrir una zona, siempre y cuando no sea el tráfico el factor limitante.
- Reducción de la potencia transmitida. La mayor ganancia de la antena permitirá incrementar la sensibilidad del Nodo, por lo que los móviles podrán transmitir con menos potencia, ahorrando batería. De igual modo, gracias a la ganancia del *array*, es posible que el Nodo transmita igual potencia, pese a que cada elemento del *array* esté radiando una potencia muy inferior. Así, se relajarían las especificaciones sobre los amplificadores de potencia utilizados, que podrían resultar más baratos.
- Reducción de la propagación multitrayecto. Debido a la menor dispersión angular de la potencia radiada por la estación base, se reducirá el número de trayectos múltiples que alcanzarán al móvil (mejorando así las características de dispersión de retardo del canal). Esto permitiría relajar los requisitos exigidos al ecualizador del terminal móvil. En UMTS, si bien se puede aprovechar la recepción multitrayecto mediante el uso de receptores *Rake*, cuando los móviles se desplacen a gran velocidad esta ventaja puede ser muy significativa.

Un receptor *Rake* es capaz de paliar los efectos de la dispersión multitrayecto en un enlace de comunicaciones móviles, con ayuda de varios subreceptores levemente retrasados para sincronizar las componentes individuales de la trayectoria multitrayecto. Cada componente se decodifica de forma independiente, pero en una última etapa del receptor se suman constructivamente con objeto de sacar el máximo provecho de cada trayecto. Normalmente conseguirá una mejora de la relación señal a ruido (BER) en un entorno multitrayecto, incluso superando a un entorno "limpio".

En el caso del enlace ascendente, la antena inteligente de la estación base podría discriminar las componentes multitrayecto de la señal recibida desde el móvil, o

incluso explotarlas (mediante receptores *2-DRake*, por ejemplo). Esto dependerá de la configuración de antena escogida.

- Reducción del nivel de interferencia. La mejora selectividad espacial de la antena permitirá a la estación base discriminar las señales de usuarios interferentes a favor de la señal del móvil deseado (en el caso del enlace ascendente), y también reducir el nivel de potencia transmitida en las direcciones de esos otros usuarios (en el caso del enlace descendente). De cualquier modo, se conseguiría aumentar la relación C/I, lo cual tiene dos consecuencias fundamentales:
 - a) Una mejora en la C/I implica directamente una mejora en la tasa de error (BER), lo que hace que la calidad del servicio aumente.
 - b) La reducción de la C/I puede explotarse directamente (mediante técnicas de multiplexación espacial) o indirectamente (realizando un plan de frecuencias más ajustado, en el caso de GSM) para aumentar la capacidad del sistema.
- Mejora de la seguridad. Gracias a que la transmisión entre la estación base y el terminal móvil es direccional, no será posible que un equipo ajeno intercepte la comunicación, a menos que se sitúe en la misma dirección en la que apunta la antena.

Además, sería posible una localización precisa de usuarios que estuvieran realizando un uso fraudulento de los servicios ofertados por la red.

- Introducción de nuevos servicios. Puesto que la red podría tener acceso a información acerca de la posición de los móviles, es posible pensar en servicios tales como radiolocalización en llamadas de emergencia, tarificación geográfica, publicidad de servicios cercanos, información en lugares turísticos, gestión avanzada de flotas; y por tanto todos los servicios que hemos enumerado en el primer capítulo de este trabajo.

No obstante, la implantación de estas antenas en la red móvil no está exenta de inconvenientes, como los que se detallan a continuación:

- Mayor complejidad de los transceptores. En comparación con los sistemas radiantes convencionales, los sistemas de antenas inteligentes son mucho más complejos y difíciles de diseñar. Será necesaria una cadena de transmisión/recepción independiente para cada elemento del *array*, y todas ellas deberán estar balanceadas y calibradas en tiempo real. Además, es imprescindible el uso de potentes procesadores (como DSPs) para ejecutar los algoritmos de optimización, conformación de haz, detección del ángulo de llegada, etc. En definitiva, se llega a la conclusión de que no será posible diseñar independientemente el sistema radiante y la propia estación base.
- Mayor complejidad de los procedimientos de gestión. El hecho de que exista un haz de radiación enfocado hacia cada usuario implica que las funciones de red deben revisarse, en particular, las que afectan a la gestión de recursos radio (RRC) y a la gestión de movilidad (MM). Por ejemplo, algunos procedimientos que pueden verse afectados son los de selección y reelección de celda, establecimiento de conexiones, *handover*, *paging*, etc.
- Cambios en los métodos de planificación. La introducción de un sistema de antena inteligente implicará tener muy en cuenta sus características, a la hora de realizar la planificación de la red celular. En particular, habrá que contar con el aumento de alcance, la eliminación de fuentes de interferencia, el seguimiento angular de los usuarios, etc.

1.7.4.2. Implementación de un sistema de antena inteligente.

Como se ha mencionado, la característica básica que se busca en el diseño de un sistema de antena inteligente es la capacidad de seleccionar espacialmente a los distintos usuarios. Existen varias formas de implementar un sistema con esta capacidad, las cuales se describen a continuación por orden de complejidad:

- Haz conmutado. Es la técnica más simple. El sistema radiante genera varios haces fijos, cada uno de ellos apuntando en una dirección distinta, de modo que entre todos se cubre toda la zona deseada (un sector o una celda). La inteligencia del sistema se encarga de seleccionar el haz que mejor servicio da a cada usuario en particular, en función de algún parámetro de control (mayor nivel de potencia recibida, mejor SNR y mejor C/I).

Esta técnica no garantiza que el móvil se encuentre en la dirección de máxima radiación del haz que le da servicio, ni que las señales interferentes se vean notablemente reducidas (ya que siempre es posible que alguna entre por uno de los lóbulos secundarios). De hecho, sería posible recibir una señal interferente por un punto del diagrama de radiación con mayor ganancia que la señal deseada, empeorando apreciablemente las prestaciones del sistema.

Una versión más avanzada de esta técnica consistiría en seleccionar con un haz la señal deseada y con otros algunas de sus componentes multitrayecto, de forma que puedan procesarse todas con un receptor Rake.

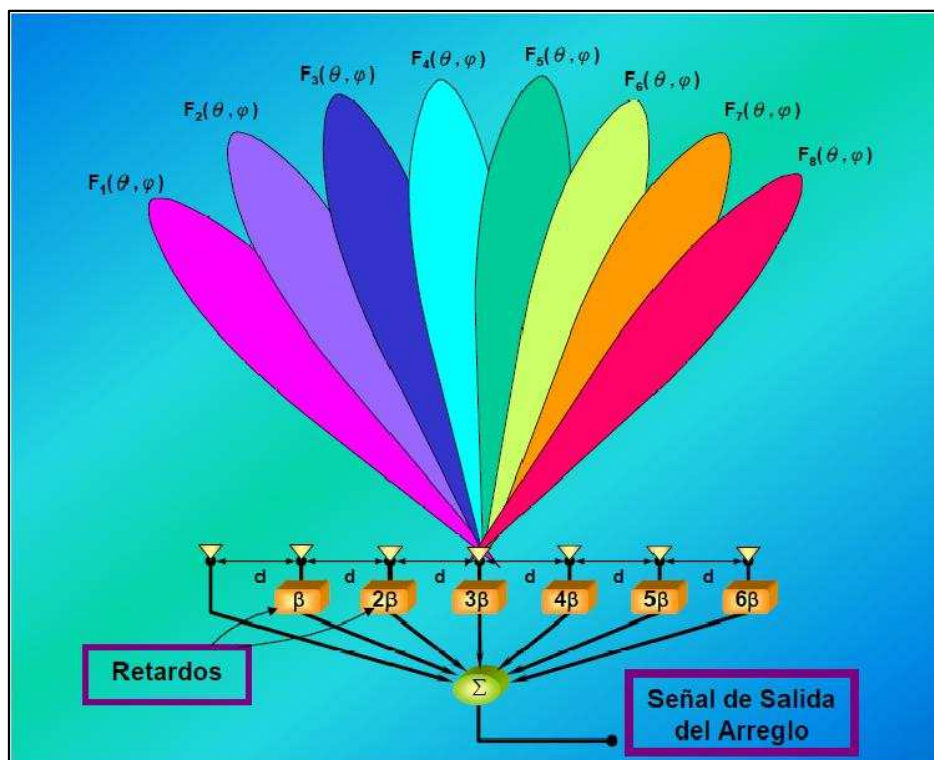


Ilustración 10: Sistema de haz conmutado

- Haz de seguimiento. Esta técnica es más compleja que la anterior. Requiere el uso de un *array* progresivo (*phased array*); es decir, un *array* en el que se pueden

controlar electrónicamente las fases con las que se alimentan los distintos elementos, de modo que puedan modificarse a voluntad la dirección en la que apunta el lóbulo principal de la antenna. A su vez, es necesario utilizar algún algoritmo de detección de la dirección de llegada (DoA), de modo que pueda reorientarse dinámicamente el haz para apuntar al usuario deseado.

Con esta técnica sí se puede garantizar que el usuario se encuentra iluminado en todo momento por el lóbulo principal y con máxima ganancia (dentro de las limitaciones de los algoritmos que se empleen). Sin embargo, tampoco puede evitarse que las interferencias entren por algún lóbulo secundario del diagrama de radiación.

Para aprovechar las señales multitrayecto sería necesario detectar y seguir con otros haces dichas componentes y luego procesarlas con un receptor Rake.

En la Ilustración 11 el lóbulo principal se reorienta para dar servicio al usuario 1, que se encuentra en movimiento.

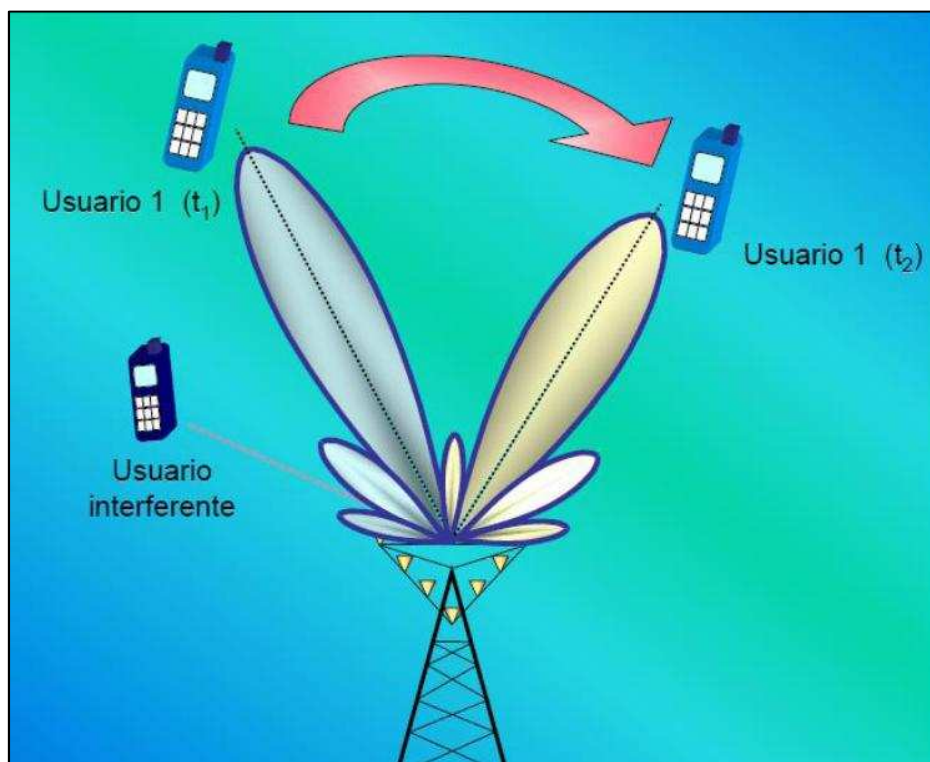


Ilustración 11: Sistema de haz de seguimiento.

- Haz adaptativo. Este sería el máximo nivel de inteligencia con que se podría dotar al sistema. En este caso, la salida de cada elemento del *array* se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal (por ejemplo, la SINR). De este modo, el diagrama sintetizado habitualmente presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto (si se quieren procesar con un receptor Rake) y mínimos (e incluso nulos) de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

No siempre será posible eliminar toda la interferencia, ya que el número de fuentes interferentes que se pueden suprimir está directamente relacionado con el número de elementos de la antena.

Esta técnica requiere el uso de complicados algoritmos, tanto para la detección de las señales deseada e interferente como para la optimización de los pesos que conforman el haz. Estos algoritmos suelen conllevar una gran carga computacional, mientras que deben procesarse en tiempo real, por lo que suponen una serie limitación.

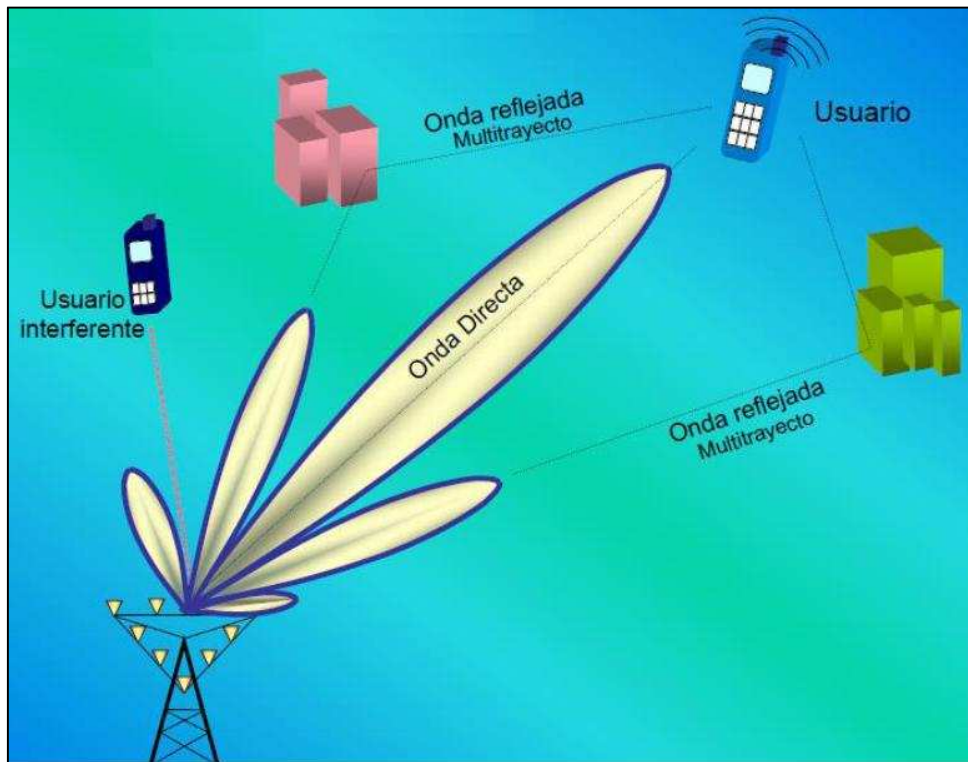


Ilustración 12: Sistema de haz adaptativo

1.7.4.3. Dirección de llegada en un *array* de antenas.

Ya hemos dicho que el fundamento de las antenas inteligentes es un *array* capaz de detectar el ángulo de llegada. Con ayuda de la Ilustración 13 buscaremos las ecuaciones que definen el *array*.

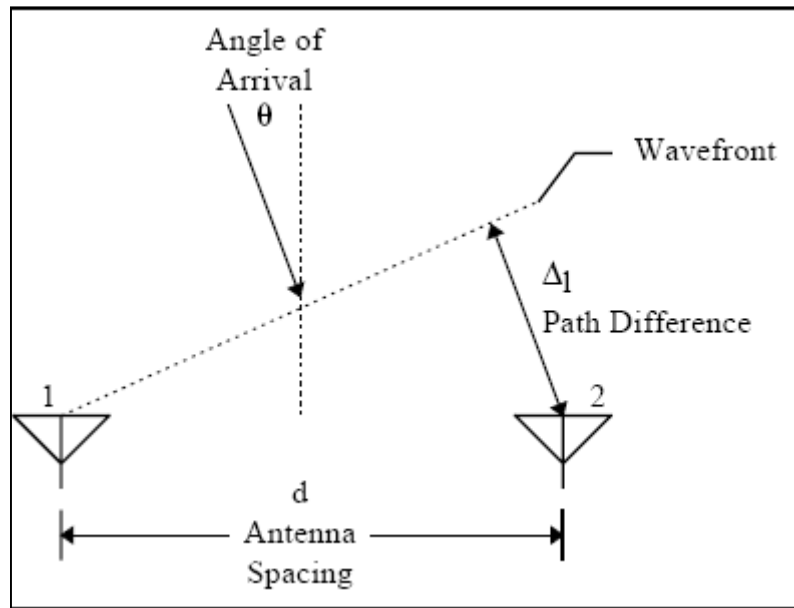


Ilustración 13: Array de antenas

En este caso el *array* está formado por sólo dos antenas.

Nuestro objetivo en primer lugar será el cálculo del ángulo de llegada: θ . Dicho ángulo llega primero a la antena 1. Entonces, después de viajar una distancia adicional Δl , llega a la antena 2:

$$\Delta l = d * \sin \theta$$

La diferencia de fases entre las dos antenas es:

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= 2 * \pi * \Delta l / \lambda \\ \Delta \phi &= 2 * \pi * d * \sin \theta / \lambda \end{aligned}$$

Luego el ángulo nos queda:

$$\theta = \sin^{-1}(\Delta \phi * \lambda / (2 * \pi * d))$$

Cada antena perteneciente al *array* detectará una señal recibida por dicho *array* con una potencia diferente, como si tuviera una visión diferente de la misma señal. Para averiguar cuál es el factor que añade cada antena a la señal, vamos a calcular el campo que recibiría cada antena en función de la antena 1 según la Ilustración 14.

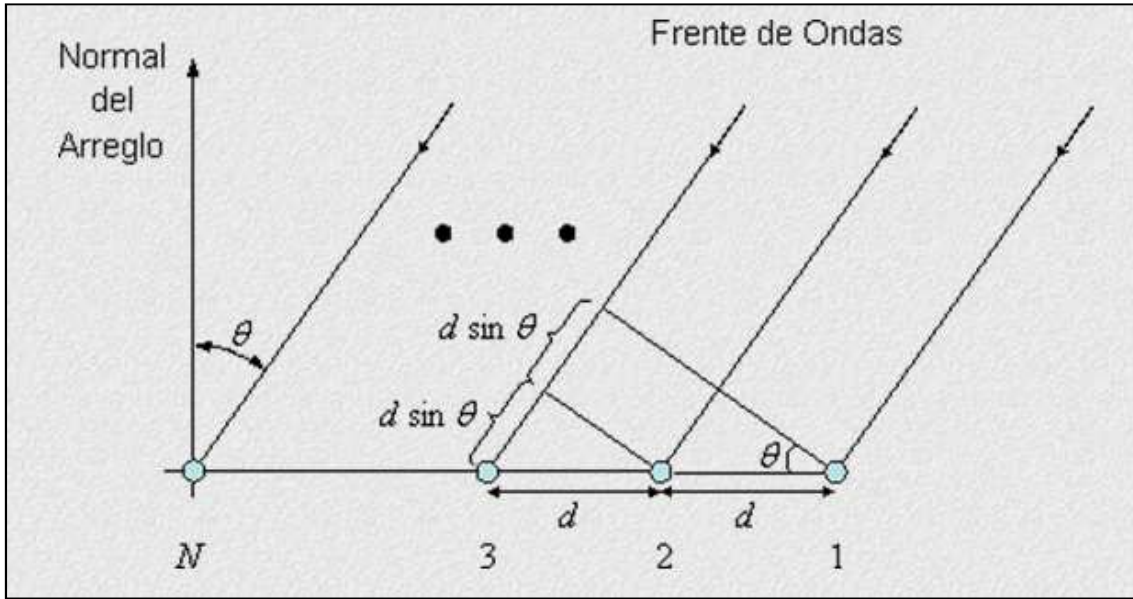


Ilustración 14: Array de N antenas

$$E_{ant2} = E_{ant1} e^{j\varphi} = E_{ant1} e^{j2\pi d/\lambda \sin \theta} = E_{ant1} \{ \cos[2\pi d/\lambda \sin(\theta)] + j \sin[2\pi d/\lambda \sin(\theta)] \}$$

Así pues, si quisiéramos obtener el campo recibido en la antena 3, sería simplemente duplicando la distancia (2d):

$$E_{ant3} = E_{ant1} \{ \cos[2\pi(2d)/\lambda \sin(\theta)] + j \sin[2\pi(2d)/\lambda \sin(\theta)] \}$$

Y en la antena N sería:

$$E_{antN} = E_{ant1} \{ \cos[2\pi d(N-1)/\lambda \sin(\theta)] + j \sin[2\pi d(N-1)/\lambda \sin(\theta)] \}$$

Agrupando todos los factores multiplicativos en un vector de N elementos, este quedaría:

$$\left[1, \cos\left[\frac{2\pi d}{\lambda} \sin(\theta)\right] + j \sin\left[\frac{2\pi d}{\lambda} \sin(\theta)\right], \cos\left[\frac{2\pi(2d)}{\lambda} \sin(\theta)\right] + j \sin\left[\frac{2\pi(2d)}{\lambda} \sin(\theta)\right], \dots \right. \\ \left. \dots, \cos\left[\frac{2\pi d(N-1)}{\lambda} \sin(\theta)\right] + j \sin\left[\frac{2\pi d(N-1)}{\lambda} \sin(\theta)\right] \right] \quad (\text{Ecu. 1})$$

Esta última ecuación nos será de gran ayuda en el capítulo 6 cuando estudiemos diferentes técnicas de localización usando antenas inteligentes.

1.8. Elementos de la tecnología UMTS implicados en la localización.

Para poder realizar servicios de localización debemos conocer los parámetros que nos proporciona la red de acceso (UTRAN) en un Nodo B. Los parámetros que nos sirven de ayuda para este estudio son dos: el *Round Tripe Time* (RTT) y el *Rach Propagation Delay*.

El primero de ellos (RTT) es el tiempo que tarda un paquete enviado desde un emisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino. No es único de la tecnología UMTS, sino que se aplica en general en el mundo de las telecomunicaciones y redes informáticas. Este parámetro tiene varios problemas: la señal que viaja desde el emisor al receptor no sólo atraviesa el aire, sino también toda la circuitería del receptor hasta que vuelve a ser enviada al primer emisor. Por otro lado, la señal siempre sufre retardos, y estos provocarán que el tiempo estimado aumente considerablemente. Esto, junto con la falta de sincronización que suele existir entre terminal y antena, provocan que la estima de la posición se vea afectada.

El *Rach Propagation Delay* se define como la diferencia de tiempos que hay desde que el emisor envía un paquete, hasta que el receptor lo recibe. Es propio de la tecnología UMTS. Requiere el uso del protocolo NBAP mediante el cual se gestionan los recursos radio disponibles en la red, y en este caso en particular, en el Nodo B. Tiene un coste de implementación cero ya que no es necesario ningún elemento de red adicional. Únicamente es indispensable tener acceso a la mensajería de capa 3 de los protocolos RRC (*Radio Resource Control*) y NBAP (*Node B Application Part*).

Ambos datos están sacados del Documento [15] que aparece en la Bibliografía, y ambos se pueden utilizar para determinar el tiempo de retraso de una señal enviada por el terminal en llegar al Nodo B. Ahora bien, el segundo parámetro es propio sólo de la arquitectura de UMTS.