Capítulo 1

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las comunicaciones móviles se prestan mediante la utilización de ondas radioeléctricas, por lo que son un subconjunto de las radiocomunicaciones. El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) define el *servicio móvil* como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones fijas, o entre estaciones móviles únicamente. Los sistemas móviles se clasifican, en función del entorno por el que se desplacen los terminales móviles, como pertenecientes al servicio móvil *terrestre, marítimo y aeronáutico*. Cada uno de estos servicios puede prestarse mediante medios terrenales exclusivamente o utilizando satélites para establecer la comunicación con los terminales móviles. En este último caso se habla de servicio móvil terrestre, marítimo o aeronáutico por satélite. El presente texto se ocupará solamente del servicio móvil terrestre, por ser el de más amplia utilización, tanto por usuarios privados como públicos. Por la misma razón, la mayor parte del libro se dedica a los *sistemas terrenales*, con la excepción del capítulo 12, en el que se presentan brevemente los *sistemas por satélite*.

En relación con otros sistemas de radiocomunicaciones, los sistemas de comunicaciones móviles aportan *movilidad completa*, es decir, permiten la comunicación con cualquier terminal que esté en cualquier punto de la zona en la que ofrecen el servicio, y pueden mantener la comunicación mientras el terminal se desplaza, siempre que no se supere la velocidad máxima de diseño. Otros sistemas, como los denominados *inalámbricos* (*wireless*), ofrecen generalmente *movilidad reducida*, ya sea porque la velocidad máxima es muy baja (de peatón) o porque no garantizan la continuidad de la comunicación durante los desplazamientos. No obstante, la evolución de los sistemas inalámbricos, que se presentarán en el capítulo 11, los ha llevado a incorporar prestaciones parecidas a las de los sistemas móviles en algunos casos.

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información variada (voz, vídeo o datos de muy diversa naturaleza), entre terminales a bordo de vehículos o transportados por personas y terminales fijos (centros de control, teléfonos u otros dispositivos conectados a la red fija). Los sistemas móviles proporcionan comunicaciones con ubicuidad, versatilidad y flexibilidad. La comunicación del *terminal móvil* se realiza a través de una *interfaz aire* o *interfaz radio*, a través de la cual enlaza directamente con una estación base, estación fija que a su vez está conectada con la red fija. La cobertura de las estaciones base se ve en ocasiones suplementada mediante *estaciones repetidoras*, que permiten extender la cobertura superficial en determinadas direcciones o cubrir zonas de sombra, incluyendo túneles o interiores de edificios.

Los sistemas móviles se originaron como *sistemas privados*, destinados a ser utilizados por grupos cerrados de usuarios, como pueden ser los miembros de la policía (históricamente los primeros usuarios de sistemas móviles, con terminales instalados en sus vehículos), fuerzas armadas, bomberos, protección civil, flotas de transporte de mercancías, taxis, empresas de agua y electricidad, ferrocarriles, aeropuertos, etc. Los sistemas iniciales se denominan PMR (*Private Mobile Radio*) y proporcionan básicamente servicios de voz, a los que se añadieron con el tiempo servicios de datos de muy baja velocidad. Cuando se requieren redes más extensas y con un elevado número de terminales, se hace uso de los sistemas troncales (*Trunking*), con asignación troncal de frecuencias. Estas redes funcionan en régimen de autoprestación para las empresas explotadoras de las mismas. Cuando hay capacidad sobrante en la red, la empresa explotadora puede ofrecer servicios a terceros con percepción de tarifas. Este tipo de redes se denominan redes PAMR (*Public Access Mobile Radio*). Suelen estar conectadas a redes privadas de empresas y generalmente ofrecen servicios más avanzados, incluyendo la conexión con la red telefónica general PSTN (*Public Switched Telephony Network*).

Sin embargo las redes más importantes en la actualidad son las *redes móviles públicas* PLMN (*Public Land Mobile Networks*), abiertas a cualquier usuario particular o profesional que contrate sus servicios y con coberturas que abarcan desde el territorio de una nación a todo un continente. En estos sistemas debe prestarse el servicio a los usuarios móviles, dispersos por toda la zona de cobertura, con una explotación automática y unas características de fiabilidad, disponibilidad y calidad similares a las de los servicios fijos de telecomunicaciones. Al tratarse de redes muy extensas y con millones de usuarios, los sistemas de control y señalización tienen una importancia capital para el establecimiento, liberación y supervisión de las comunicaciones, así como para la gestión de la movilidad. Esta incluye la necesidad de *localización* del usuario dentro de la red, con el fin de poder hacerle llegar las comunicaciones a él destinadas; la posibilidad de que el usuario se conecte a través de redes diferentes a la de su operador, facilidad conocida como *itinerancia* o *roaming*;

así como el *traspaso* de la comunicación en curso entre diferentes estaciones base, cuando el usuario se está desplazando.

En los sistemas más clásicos, ya sean públicos o privados, la comunicación se cursa utilizando *canales dedicados de tráfico*, establecidos entre la estación base y el terminal. Parte de la señalización va *asociada* a los canales de tráfico, mientras que otra parte va en *canales comunes de señalización y control* o incluso en *canales dedicados de señalización*. Los sistemas más modernos tienden a utilizar también, o incluso de forma exclusiva, *canales compartidos* para el tráfico, en aras de una mayor *eficiencia* en el uso de los *recursos radio*. La necesidad de incrementar la eficiencia en el uso de estos recursos ha sido una constante en la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles, debido a la creciente demanda de servicios cada vez más avanzados y con mayores requisitos de tasa binaria y al coste de adquisición de espectro radioeléctrico.

La conexión de las redes, públicas o privadas, con las redes fijas requiere habitualmente del uso de *estaciones de control y/o conmutación* que actúan como pasarelas (*gateways*) con la función de actuar de interfaces con otras redes, adaptando los formatos de tráfico y señalización de manera que sean compatibles. Las actuales redes de carácter público se diseñan como redes completas de telecomunicaciones, que pueden proveer servicios extremo a extremo entre terminales de la misma red, o comunicar mediante pasarelas con otras redes de telefonía o de datos, incluyendo Internet. En estas redes se suele diferenciar entre el *núcleo de red*, red fija con capacidad de conmutación de circuitos o de paquetes, que soporta la provisión de servicios, los elementos que constituyen la *red de acceso radio*, constituida por los terminales, estaciones base y algunos elementos auxiliares, y el *backhaul*, conjunto de sistemas de transmisión que permiten establecer la conexión entre la red de acceso radio y el núcleo de red. Las redes privadas suelen tener estructuras más simples, pero también requieren de elementos de control y pasarelas para la conexión con otras redes.

1.2. ASPECTOS TÉCNICOS

Se presentan en este apartado los principales aspectos técnicos de los sistemas de comunicaciones móviles.

1. Bandas de frecuencias

Por sus características de cobertura y capacidad, las bandas de VHF y UHF son las más adecuadas para prestar los servicios móviles. Los sistemas de uso privado, PMR y PAMR, tienen un número limitado de usuarios y por lo tanto suelen utilizar las frecuencias más bajas, primando así la extensión de la cobertura frente a la capacidad. En estos sistemas, que se presentan en el capítulo 6, se utilizan las siguientes bandas de frecuencias:

- Bandas VHF
  - Banda “baja de 30 a 80 MHz.
  - Banda “alta” de 140 a 170 MHz.
  - Banda “III” de 223 a 235 MHz.
- Banda UHF
  - Banda “baja” de 406 a 470 MHz

Los sistemas públicos utilizan siempre frecuencias de la banda de UHF, ya que proporcionan mucha mayor capacidad que las anteriores, manteniendo buenas características de cobertura.

- Banda de 800 MHz, de reciente atribución al servicio móvil, de 790 a 862 MHz.
- Banda de 900 MHz, de 862 a 960 MHz, anteriormente conocida como la banda “alta” de UHF.
- Banda de 1800 MHz, de 1710 a 1880 MHz.
- Banda de 2100 MHz, de 1900 a 2170 MHz.
- Banda de 2,6 GHz, de 2500 a 2690 MHz.
- Banda de 3,5 GHz, de 3400 a 3600 MHz.

La evolución de estos sistemas permite prever que en los próximos años se añadirán nuevas bandas de frecuencias para las comunicaciones móviles públicas.

2. Modos de explotación

Se distinguen tres modos de operación en comunicaciones móviles:

- Símplex (a una o dos frecuencias).
- Semidúplex.
- Dúplex.

Los sistemas públicos operan siempre en modo *dúplex*, en el cual es posible la transmisión y recepción simultáneas en todas las estaciones. En los sistemas analógicos los terminales dúplex utilizaban obligatoriamente un duplexor para conectar el transmisor y el receptor con la antena. Estos dos subsistemas operaban en frecuencias diferentes, de manera que el duplexor pudiera garantizar un aislamiento suficiente entre ellos, evitando así que la señal generada en el transmisor llegara al receptor con un nivel que provocara su bloqueo o pérdida de sensibilidad.

Esta modalidad de dúplex se denomina FDD (*Frequency Division Duplex*). En general requiere la asignación de dos subbandas de frecuencias: una destinada a las comunicaciones en enlace descendente (de la estación base a los móviles) y otra para el enlace ascendente (desde los móviles hacia la base). Los sistemas digitales permiten otra modalidad denominada TDD (*Time Division Duplex*) en la que, dentro de una estructura de trama temporal, la transmisión y la recepción se producen de manera alternativa, en tiempos del orden de milisegundos. Desde el punto de vista de la explotación el sistema sigue siendo dúplex, ya que esa alternancia entre transmisión y recepción no

se traslada al servicio. Los sistemas TDD pueden operar en una única banda de frecuencias, en la cual se transmite en los dos sentidos.

Los sistemas privados pueden operar también en modo dúplex, pero no es lo más habitual. Algunos operan en modo *símplex*, en el cual no es posible la transmisión y recepción simultánea en ningún terminal. En este caso las transmisiones de cada terminal deben ir produciéndose de forma consecutiva, no simultánea como en los sistemas dúplex. Los sistemas símplex pueden utilizar una única frecuencia, con la consecuencia de que todos los terminales pueden recibir todas las comunicaciones, lo que facilita la comunicación directa entre terminales móviles sin pasar por la estación base. Esta característica es muy conveniente en algunos servicios de seguridad. También es posible operar con dos frecuencias, una para las comunicaciones entre la base y los móviles y otra para las comunicaciones originadas en la base. En este caso no sería posible la comunicación directa entre móviles.

En algunos sistemas la base puede operar en modo dúplex, mientras que los móviles lo hacen en modo símplex. A esta modalidad se le denomina *semidúplex*. Si la base reemite lo que recibe de los móviles, es posible la comunicación entre ellos, pero no de modo directo como ocurre en el modo símplex.

Existen también sistemas de *radiobúsqueda* o *radiomensajería*, en los que las transmisiones únicamente tienen lugar desde la estación fija a las estaciones móviles (*Paging Systems*) y por lo tanto no tiene sentido la definición de un modo de explotación.

3. Multiacceso. Modulación

Se entiende por multiacceso la metodología y técnica utilizadas por los terminales del sistema móvil para compartir los recursos comunes de la red a través de las estaciones base. Tales técnicas son:

- Acceso múltiple por división de frecuencia: FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).
- Acceso múltiple por división de tiempo: TDMA (*Time Division Multiple Access*).
- Acceso múltiple por división de código: CDMA (*Code Division Multiple Access*).

Los primeros sistemas móviles utilizaban FDMA con modulación analógica de frecuencia FM, y con un solo canal por portadora, SCPC (*Single Channel Per Carrier*). Estos sistemas están en desuso. Sin embargo todos los sistemas utilizan en cierta medida FDMA, ya que las bandas de frecuencias se dividen en radiocanales, y las comunicaciones se reparten entre ellos. La diferencia es que actualmente no se utiliza SCPC, sino que varias comunicaciones comparten el mismo radiocanal con arreglo a otra técnica, que puede ser TDMA, CDMA o incluso otra variante de FDMA. En particular, los sistemas más recientes utilizan OFDMA, variante de FDMA con transmisiones ortogonales entre sí.

El acceso múltiple TDMA permite que varias redes o terminales móviles compartan una frecuencia utilizándola en ráfagas temporales y no de forma permanente. Las transmisiones de los usuarios son, en consecuencia, discontinuas, intercalándose en el tiempo las ráfagas de cada uno, de forma que no colisionen ni se interfieran entre sí. Las técnicas TDMA requieren una estricta sincronización y que los equipos dispongan de memorias para almacenamiento de la información, a fin de almacenar los datos antes de su transmisión y de entregarlos de manera continua a los destinatarios. Por lo tanto el TDMA únicamente es viable con sistemas de transmisión digital.

En el sistema CDMA se superpone a la información digital transmitida por cada usuario un código que le es propio, denominado código de dirección o signatura. Las transmisiones de todos los usuarios se realizan en la misma frecuencia durante todo el tiempo. A cada receptor llegan todas las señales presentes en el sistema en un momento dado. Sin embargo, cada usuario, utilizando su signatura, puede recuperar la información destinada a él y eliminar las demás. La técnica CDMA implica una expansión del espectro de frecuencias transmitido, por lo que se denomina de espectro ensanchado.

En el capítulo 2 se presentarán con mayor detalle las técnicas de acceso múltiple, así como los formatos de modulación empleados en los sistemas de comunicaciones móviles. Los primeros sistemas digitales utilizan variantes de la modulación digital de fase o frecuencia. En particular, el sistema GSM utiliza la modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), y el UMTS utiliza QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*). Estas modulaciones tienen buenas características en cuanto a la eficiencia en potencia alcanzable en los amplificadores de transmisión, lo que permite optimizar el consumo de batería. Sin embargo, proporcionan escasa eficiencia espectral. Los sistemas más modernos utilizan modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) multinivel, lo que mejora la velocidad binaria que puede ofrecerse por unidad de ancho de banda, pero penaliza el consumo de energía del terminal, además de afectar a la cobertura.

4. Cobertura

Los sistemas móviles son de *cobertura zonal*, ya que deben, en principio, 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 sea de primordial importancia el problema de la predicción de la zona de cobertura de las estaciones del servicio móvil, o su inverso, la parametrización de esas estaciones en cuanto a potencia, características del sistema radiante, etc., para proporcionar una cobertura determinada. Dada la imposibilidad física y temporal de analizar todos y cada uno de los trayectos, el estudio de la cobertura suele realizarse adoptando algunas simplificaciones, por ejemplo mediante la utilización de métodos empíricos que proporcionen un valor medio representativo y característico en cada uno de los “pixels” en

que se divide la zona de cobertura. El uso de herramientas informáticas agiliza esta tarea.

Los trayectos de propagación entre base y móviles resultan afectados de modo variable por el terreno, por lo que la pérdida de propagación tiene, de hecho, un carácter aleatorio, de forma que únicamente puede hablarse de cobertura en un sentido estadístico. Se utilizan dos grados de calidad estadística de cobertura: el llamado *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. Aún en el primer caso, debe distinguirse entre cobertura zonal y perimetral. La primera se refiere a todo el área en torno a la estación base y la segunda afecta a una zona alrededor del perímetro o límite de la cobertura teórica.

En general es necesario estudiar por separado la cobertura de los dos *enlaces, ascendente y descendente*. Sin embargo en muchos casos es posible establecer, a partir de los parámetros técnicos de los equipos, cuál de los dos enlaces será el limitante, con lo que será suficiente calcular la cobertura para ese enlace.

Debido a la reducida altura de antena de las estaciones móviles, éstas muchas veces no serán visibles desde la estación base. No obstante, la comunicación es posible debido a múltiples reflexiones y difracciones de las ondas. Este tipo de propagación, denominada *propagación multitrayecto*, genera varios caminos radioeléctricos entre el transmisor y el receptor y, aunque hace posibles las comunicaciones, produce efectos de dispersión temporal y desvanecimiento selectivo en frecuencia, cuya corrección requiere un importante esfuerzo en la ingeniería y el diseño de sistemas y equipos móviles. Añádase, además, el hecho de que, como las comunicaciones han de poder realizarse con el terminal móvil en marcha, el canal radio presenta también una variabilidad temporal, lo cual produce un desplazamiento en las frecuencias espectrales de las señales transmitidas (desplazamiento *Doppler*), que origina un desvanecimiento selectivo en el tiempo, cuyos efectos también habrán de compensarse. La propagación aplicada a las comunicaciones móviles se presenta en el capítulo 3.

5. Parámetros de calidad

Los sistemas móviles plantean unas exigencias de calidad que se cuantifican mediante parámetros característicos, los cuales deben especificarse en los proyectos de sistemas móviles como objetivos de diseño, debiéndose exigir su cumplimiento a los proveedores de equipos e instaladores de los sistemas.

Las características básicas de calidad son:

Calidad de cobertura

La calidad de cobertura se expresa mediante las siguientes calificaciones:

a) Extensión: esto es, tamaño de la zona de cobertura (local, regional, nacional, internacional).
b) Escenario de cobertura: describe el entorno en el que se desea la cobertura, por ejemplo:
   – En calles, carreteras y otros ejes viarios (ríos, ferrocarriles).
   – En el interior de vehículos.
   – En el interior de edificios.
   – En zonas de bosque.
   – En subterráneos y túneles.
   – En trayectos marítimos.
c) Grado de cobertura: especifica los porcentajes (perimetral y zonal) de ubicaciones y de tiempo en los que se debe conseguir la comunicación.

Calidad de Terminal

En algunos sistemas privados se establecen grados de calidad para diferentes terminales móviles:

– De vehículo.
– Transportables.
– Portátiles.

Calidad de disponibilidad

Especifica la mayor o menor facilidad de acceso a la red por parte del terminal. Depende de la calidad de cobertura y del grado de congestión de la red por tráfico. Se cuantifica mediante la probabilidad de bloqueo o congestión, que es la probabilidad de que se rechace una tentativa de comunicación por falta de recursos libres para atenderla.

Calidad de fiabilidad

Expresa el porcentaje temporal máximo admisible de interrupciones de los enlaces o caídas de comunicaciones debidas a averías de los equipos, fallos de alimentación, interferencias intensas externas, etc.

Calidad de fidelidad

Se refiere al grado de inteligibilidad y claridad de la señal recibida si es de voz (ausencia de parásitos, ruido y diafonía), o a la ausencia de errores en los datos recibidos. En los sistemas digitales la fidelidad se especifica mediante la tasa de errores en los bits: BER (*Bit Error Rate*) o en los bloques: BLER (*Block Error Rate*).

Los capítulos 4 y 5 de este texto se dedican a presentar los aspectos generales de las comunicaciones móviles, no ligados a un sistema en particular.

1.3. EVOLUCIÓN Y PANORÁMICA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

Los primeros sistemas de comunicaciones móviles utilizaban técnicas muy sencillas de transmisión y señalización, con escaso grado de normalización. En los años 80 empezaron a desplegarse servicios más avanzados, con capacidad de llegar a porcentajes pequeños pero significativos de la población

(generalmente menos del 5%). Estos sistemas estaban basados en tecnología analógica desarrollada por los principales fabricantes de la época, en particular algunos de Estados Unidos y otros de los países escandinavos. En esta época los operadores de telecomunicación de cada país seleccionaban uno u otro sistema, sin que fuera posible la itinerancia internacional salvo algunas excepciones notables como el caso de los países nórdicos.

En Europa la estandarización de estos sistemas comenzó con la creación en 1982 del grupo GSM (*Groupe Spéciale Mobile*) dentro de la CEPT (*Conférence Européenne de Postes y Télécommunications*), con el objetivo de definir un sistema paneuropeo de comunicaciones móviles que posibilitara la utilización de un mismo terminal en todos los países europeos. El sistema GSM y los sistemas americanos IS54 e IS95 constituyen la Segunda Generación de comunicaciones móviles, que ya utilizan únicamente transmisión digital y tienen capacidad para llegar a la mayor parte de la población, con costes mucho más reducidos que los sistemas precedentes. La estandarización técnica de GSM pasó al ETSI (*European Telecommunications Standards Insitute*) cuando se creó este organismo en 1988, aunque la regulación de las frecuencias asignadas a este sistema siguió siendo competencia de la CEPT. El sistema GSM pasó a denominarse *Global System for Mobile Communications*, manteniendo el acrónimo.

El sistema GSM, que se presenta en el capítulo 7, se lanzó en los años 90. Con el tiempo se convirtió en el principal sistema de comunicaciones móviles en todo el mundo, desplazando a los sistemas competidores de su misma generación. Al tiempo que se desplegaba el GSM, se trabajaba ya en la Tercera Generación de comunicaciones móviles, desarrollada en el ámbito del 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), en el que participan el ETSI y otros organismos de normalización de Asia y América. El 3GPP no consiguió desarrollar un único sistema de Tercera Generación para todo el mundo, sino que finalmente se definieron dos sistemas: UMTS en ámbito europeo y asiático, y CDMA2000 en Estados Unidos, gestionado por el 3GPP2. Todos ellos se engloban bajo la denominación IMT-2000, acuñada por la UIT para los sistemas que cumplen los requisitos de Tercera Generación de comunicaciones móviles.

Esta Tercera Generación ha tenido en Europa una implantación progresiva a partir del año 2000, primero con UMTS (descrito en el capítulo 8) y después con sus evoluciones, en particular HSPA (capítulo 9), que han ido aportando mayores prestaciones en cuanto a las tasas binarias máximas alcanzables y a la capacidad media que se obtiene por estación base.

La evolución de UMTS dentro del 3GPP ha llevado a la definición de un nuevo sistema, conocido como LTE (capítulo 10), que junto con sus sucesivas versiones LTE-A y siguientes constituye una nueva generación, con características que permiten englobarlo en la denominación IMT-*Advanced* de la UIT. El sistema LTE fue desplegado primero por operadores de otros conti-

nentes, para solventar las limitaciones de CDMA2000. A partir de 2011 está siendo implantado en diferentes países europeos, de acuerdo con la disponibilidad de frecuencias que hay en cada uno y con las necesidades de tráfico. Este sistema está llamado a ser el único estándar global de la Cuarta Generación de comunicaciones móviles.

En la tabla 1.3.1 se presenta una panorámica de la evolución de los diferentes sistemas de comunicaciones móviles. Se han dispuesto, por columnas, las diferentes familias de sistemas. El proceso evolutivo discurre de arriba a abajo. Los sistemas situados en la misma fila pertenecen a la misma generación, por ser técnicamente similares. Para facilitar su lectura, se indican a continuación los significados de las abreviaturas y, muy brevemente, el tipo de red:

AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*): Red PLMN analógica utilizada en Estados Unidos.

CAI (*Common Air Interface*): Interfaz común para sistemas de telefonía inalámbrica.

CDMA2000 (*Code Division Multiple Access* 2000): Sistema de comunicaciones móviles de tercera generación implantado fundamentalmente en Estados Unidos y países de su entorno.

CT (*Cordless Telecommunications*): Sistema de telefonía inalámbrica.

DAMPS (*Digital-AMPS*): Versión digital del AMPS para Estados Unidos.

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*): Sistema avanzado de telefonía inalámbrica.

GPRS (*General Packet Radio Service*): Evolución de GSM que permite ofrecer servicios de transmisión de datos por conmutación de paquetes con prestaciones superiores al estándar GSM original.

GSM (*Global System for Mobile communications*): Red PLMN digital paneuropea, en la banda de 900 MHz y más recientemente en 1800 MHz; 1900 y 800 MHz en América.

HSPA (*High Speed Packet Access*): Modalidad de transmisión de datos en banda ancha, con conmutación de paquetes, desarrollada sobre UMTS.

IMT2000 (*International Mobile Telecommunications*): Abreviatura que engloba las redes PLMN de Tercera Generación, según la UIT.

IMT-*Advanced* (*International Mobile Telecommunications Advanced*): Abreviatura que engloba las redes PLMN de Cuarta Generación, según la UIT.

IS (*Interim Standard*): Norma interina para redes PLMN de Estados Unidos.

JDC	(*Japan Digital Cellular*): Red PLMN de Japón.
LTE	(*Long Term Evolution*): Sistema de comunicaciones móviles que, aunque presentado como evolución de UMTS, marca el inicio de la cuarta generación.
LTE-A	(*LTE-Advanced*): Revisión del sistema LTE, con características superiores a la primera versión del sistema.
NMT	(*Nordiska Mobil Telephongruppen*): Red PLMN analógica desarrollada en los países nórdicos europeos.
PMR	(*Private Mobile Radio*): Redes de comunicaciones móviles destinadas a grupos cerrados de usuarios.
PAMR	(*Public Access Mobile Radio*): Redes PMR que permiten la prestación de servicios a terceros.
PLMN	(*Public Land Mobile Telecommunications*): Red telefónica móvil terrestre.
TACS	(*Total Access Communication System*): Versión europea del sistema AMPS aplicada en redes de numerosos países.
TETRA	(*Trans European Trunking Radio*): Sistema digital troncal para aplicaciones de PAMR.
TETRAPOL	Sistema digital troncal diseñado especialmente para aplicaciones PAMR en el ámbito de la defensa y seguridad.
UMTS	(*Universal Mobile Telecommunications System*): Sistema de comunicaciones móviles de tercera generación desplegado en Europa y otras zonas del mundo.
Wi-Fi	Tecnología de redes de área local inalámbricas WLAN (*Wireless Local Area Network*), basada en el estándar IEEE 802.11.
WiMAX	(*Wireless Microwave Access*). Tecnología de redes inalámbricas, con terminales fijos, portátiles y móviles, basada en el estándar IEEE 802.16.

Tabla 1.3.1.
RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES TERRENALES

Sistemas privados (PMR y PAMR)	Sistemas públicos (PLMN)	Sistemas inalámbricos (W-PABX)
Señalización digital en sistemas privados. Sistemas *Trunking* analógicos: MPT 1327	Sistemas Celulares de 1ª Generación NMT AMPS TACS	Analógicos (CT1) Telepunto Digitales (CT2 - CAI)
Sistemas *Trunking* digitales TETRA TETRAPOL	Sistemas Celulares de 2ª Generación GSM GPRS IS-54 (D-AMPS) e IS-136 IS-95 (CDMA One) JDC	Sistema DECT Wi-Fi 802.11b
	Sistemas Celulares de 3ª Generación UMTS HSPA CDMA 2000	Wi-Fi 802.11a Wi-Fi 802.11g WiMAX 802.16d
		WiMAX 802.16e
	Sistemas Celulares de 4ª Generación LTE LTE-A	Wi-Fi 802.11n Wi-Fi 802.11ac Wi-Fi 802.11ad WiMAX 2 802.16m

1.4. EL SECTOR DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

Como se ha explicado en el apartado anterior, las comunicaciones móviles han experimentado un desarrollo exponencial en las últimas décadas, con la incesante aparición de nuevos sistemas y de mejoras de los ya existentes, lo que ha posibilitado el desarrollo de servicios cada vez más avanzados y con mayor velocidad binaria. Este *desarrollo técnico* ha venido acompañado de un gran *desarrollo industrial y económico*, de manera que en la actualidad el sector de las comunicaciones móviles incluye multitud de actividades relacionadas entre sí, así como una diversidad de *agentes* y usuarios con intereses que son en algunas ocasiones complementarios y en otros aspectos contrapuestos. El *volumen económico* de este sector es en la actualidad muy importante, tanto por su propia actividad como por las enormes oportunidades que aporta al desarrollo de la actividad económica general, al posibilitar la disponibilidad de las comunicaciones de banda ancha en todo momento y en prácticamente todo lugar. En la actualidad las coberturas son muy amplias tanto en su exten-

sión superficial como en su intensidad, ya que mediante el uso de diferentes técnicas abarcan la mayor parte de los espacios interiores, túneles, subterráneos, etc.

Este libro se dedica fundamentalmente a los aspectos técnicos necesarios para el proyecto de sistemas de comunicaciones móviles de cualquiera de las generaciones actualmente vigentes. Sin embargo parece conveniente repasar brevemente en este capítulo introductorio cuáles son los principales agentes involucrados, sus funciones e intereses así como algunas relaciones entre ellos.

- *Usuarios*. La práctica totalidad de la población es usuaria de estos servicios, con las lógicas excepciones por edad o condiciones personales. El nivel económico no suele ser una limitación importante. Merced al uso de servicios prepago es posible acceder a las comunicaciones móviles con un desembolso inicial muy reducido. En los países desarrollados, el número de clientes de los servicios de comunicaciones móviles supera con creces al de clientes de los servicios fijos. De hecho la tasa de penetración de los servicios móviles (clientes por habitante) es en algunos países superior al 100%, lo que indica que muchas personas son clientes de más de un servicio. En países menos desarrollados, aunque con tasas de penetración más bajas también se da la circunstancia de que la penetración de los servicios móviles es superior a la de los fijos.

  El usuario es el destinatario principal de estos servicios, con una demanda creciente en cuanto a su calidad y capacidad binaria. En los últimos años el usuario ha pasado de ser cliente exclusivo del operador, que incluso le facilitaba el terminal, a relacionarse con una diversidad de agentes, incluyendo el operador y los proveedores de terminales, los de sistemas operativos y los de aplicaciones. Esta nueva situación ofrece una gran riqueza de oportunidades, pero plantea también retos considerables, siendo uno de los más importantes la necesidad de un equilibrio en el reparto del volumen de negocio entre los diferentes agentes.
- *Operadores con red propia*. Para desplegar redes de comunicaciones móviles es necesario disponer de una *licencia de uso del espectro*, que permita operar en alguna de las bandas atribuidas a estos servicios. Se trata de bandas muy demandadas, por la extensión que han alcanzado estos servicios y por su crecimiento potencial. En consecuencia la asignación de licencias se realiza mediante un proceso de *licitación* altamente competitivo, generalmente limitado a un máximo 3 o 4 concesiones por banda. En la mayoría de los países europeos el número total de operadores con red propia es como máximo de 5 o 6 (muchos tienen asignaciones en varias bandas) con una cierta tendencia a la consolidación en un número menor de operadores con mayor cuota de mercado cada uno.

La licitación de las asignaciones de frecuencias puede realizarse mediante un procedimiento de *concurso*, en el que se valoran los aspectos técnicos, industriales, económicos y de interés social de las diferentes propuestas y se asignan las frecuencias a los solicitantes que alcanzan mayor puntuación de acuerdo con un baremo previamente establecido. Otra posibilidad es la utilización de *subastas*, en las que los solicitantes ofrecen una cantidad económica al Estado por la asignación, garantizando todos ellos que cumplirán los requisitos técnicos especificados en la licitación. En este caso se asignan las licencias a los solicitantes que, tras una serie de rondas, hagan las mayores pujas en la subasta.

Los procedimientos de subasta pueden ser más transparentes y generalmente más eficientes en la asignación de los recursos espectrales, si bien deben diseñarse con precaución, eligiendo bien el momento oportuno para la subasta y la cantidad de espectro que se pone en juego en cada momento. En algunos casos las pujas se han quedado muy por debajo de los objetivos y en otros por el contrario se han disparado hasta valores muy difíciles de rentabilizar después en la explotación de la red.

Recientemente se ha abierto en Europa la posibilidad de negociar las asignaciones de frecuencias en un *mercado secundario*, con la posibilidad de ceder o traspasar total o parcialmente las asignaciones a otros operadores, cumpliendo unos requisitos legales.

- *Operadores móviles virtuales*. Dado que el número de operadores con red propia es necesariamente limitado, para fomentar la competencia la regulación europea ha favorecido en los últimos años el establecimiento de operadores virtuales, que por una parte ofrecen sus servicios a los usuarios y por otra se benefician de precios mayoristas para el uso de las redes de otros operadores para prestar sus servicios. Las condiciones de los acuerdos entre operadores están supervisadas por el organismo competente en cada país. El número de operadores móviles virtuales es generalmente mucho más alto que el de operadores con red. Muchos de ellos se especializan en determinados nichos de mercado, como puede ser algunos ámbitos profesionales o determinados grupos sociales como los jóvenes, los extranjeros residentes, los turistas, etc.
- *Fabricantes de equipos de red*. La estandarización técnica abierta ha favorecido la aparición de mercados de ámbito continental para los equipos de red, con las consiguientes economías de escala pero también con la apertura a una competencia que es ya global. Estos factores han redundado en una constante reducción de costes, pero también en la dificultad para las empresas más débiles para sobrevivir en un mercado que es muy competitivo. Esto ha llevado a la concentración

mediante fusiones de empresas o de unidades de negocio, con la consecuencia de que el número de proveedores de equipos de red a nivel global es relativamente reducido.

- *Fabricantes de terminales*. El terminal móvil se ha convertido en un objeto de consumo, al que tiene acceso la práctica totalidad de la población en los países más desarrollados, y un porcentaje elevado de la población mundial. Tiene además una tasa de reposición muy alta, de forma que en plazos muy cortos, de dos o tres años, un porcentaje muy alto de los usuarios adquiere un terminal nuevo. Se trata por tanto de un mercado muy dinámico, dirigido al público general y con capacidad de generar múltiples nichos caracterizados por necesidades o gustos particulares.

  En un mercado tan grande, se favorecen todo tipo de economías de escala, lo que permite que coexistan unos pocos grandes fabricantes globales, que venden centenares de millones de terminales al año, con otros más especializados en cuanto a su gama de equipos o su área geográfica. La tipología de terminales es además muy variada. Hay fabricantes especializados en ofrecer terminales muy sencillos, con capacidades limitadas en cuanto a servicios de datos y aplicaciones, y muy económicos, lo que facilita su comercialización especialmente en los países menos desarrollados. Por otra parte hay fabricantes especializados en las gamas más altas, que procuran estar siempre en vanguardia, ofreciendo al usuario los últimos avances tecnológicos de cada momento, aunque con un coste más alto. Estos fabricantes se suelen centrar en teléfonos inteligentes (*smartphones*), auténticos ordenadores en miniatura con gran capacidad de procesado y utilizables para todo tipo de aplicaciones. Con mayor tamaño y capacidad de procesado están las *tablets* que generalmente ofrecen los mismos fabricantes.

  No hay que olvidar tampoco los modems, pequeños subsistemas altamente integrados en la actualidad, que aportan conectividad a otros dispositivos en aplicaciones máquina a máquina. Aunque menos conocidos por el gran público, este tipo de terminales puede ser el más abundante en las redes del futuro, a medida que se vaya incorporando esa conectividad en toda clase de equipamientos domésticos y profesionales.
- *Proveedores de sistemas operativos*. Desde el momento en que el terminal se convierte en un pequeño ordenador, con los *smartphones*, el uso de aplicaciones muy variadas se convierte en uno de sus principales atractivos. Los sistemas operativos se convierten entonces en la plataforma que, además de operar las funciones propias del terminal, permite instalar y utilizar todo tipo de aplicaciones desarrolladas por múltiples agentes.

Al igual que ha ocurrido con los ordenadores personales, portátiles o de sobremesa, el mercado de sistemas operativos tiende a la concentración, ya que eso facilita el desarrollo de aplicaciones. En este momento existen dos sistemas operativos dominantes, seguidos a mucha distancia por otros sistemas que tienen una implantación mucho menor. Al tratarse de un mercado muy dinámico es difícil prever cuál va a ser su desarrollo, que podría en el futuro tender a mantener la situación actual de duopolio, o a hacerla derivar hasta un cuasimonopolio con un sistema dominante sobre todos los demás, aunque podría también evolucionar en sentido inverso hacia un reparto entre tres o cuatro sistemas con posición similarmente significativa.

- *Proveedores de aplicaciones y servicios*. El desarrollo de aplicaciones no requiere de grandes inversiones iniciales y se ve estimulado por la existencia de un mercado global, por lo que es asequible para miles de programadores y empresas de todo el mundo. La mayor parte de las aplicaciones requieren del uso de la conexión de datos del terminal, para comunicar con servidores que pueden estar en cualquier parte del mundo.

  El catálogo de aplicaciones es inabarcable. En cuanto a su temática podemos mencionar en primer lugar la mera exploración web, y a través de ella el acceso a servicios electrónicos de educación, sanidad, administración pública, banca, medios de comunicación y comercio electrónico, de manera similar a como se realiza desde un ordenador, aunque con las limitaciones derivadas del tamaño de la pantalla del terminal.

  Además de estas aplicaciones genéricas, en el ámbito móvil han cobrado una gran importancia las redes sociales, ya que gracias al móvil los usuarios más activos pueden estar permanentemente conectados, lo que no es posible con el ordenador, y compartiendo de esa forma su experiencia vital. Tienen también gran transcendencia los servicios basados en localización, ya que muchos terminales disponen de GPS y otros elementos de localización, lo que facilita el acceso referenciado a mapas digitales y aplicaciones como la búsqueda de determinados establecimientos (restaurantes, comercios, gasolineras) o contactos de las redes sociales en el entorno inmediato.

  Utilizando la comunicación de datos del terminal es posible también ofrecer servicios como la telefonía basada en VoIP (voz sobre IP) y la mensajería instantánea. Esta posibilidad tiene el inconveniente para el operador de que reduce el tráfico telefónico y de mensajes que se cursa por sus servicios específicos, reduciendo así sus ingresos en beneficio de los proveedores de servicios de alto nivel, basados en aplicaciones. Se utiliza la denominación OTT (*Over The Top*) para referirse a estos y otros servicios que se basan en aplicaciones que se ejecutan sobre

el sistema operativo del terminal, sin necesidad de acceder específicamente a los servicios de comunicaciones del mismo, ya que eso corre a cargo del sistema operativo, que será el que conozca y utilice las capacidades de comunicación de datos del equipo. La aproximación es irreprochable desde un punto de vista técnico, y aporta una grandísima flexibilidad a las aplicaciones. Plantea sin embargo problemas muy relevantes desde el punto de vista de los modelos de negocio de los distintos agentes y de cómo se relacionan entre sí.