

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	XI
EL AUTOR	XIV
CAPÍTULO 1. TECNOLOGÍAS DE RADIO.....	1
INTRODUCCIÓN	1
LA DIVISIÓN CELULAR	3
UN NUEVO CONCEPTO.....	4
RADIACIÓN EN EL ESPACIO.....	7
Campos electromagnéticos.....	7
Propagación de las señales de radio.....	9
TIPOS DE ANTENAS	12
Parámetros de una antena	16
Diagrama de radiación	17
Potencia de la antena	19
Sectorización.....	21
REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS.....	22
ANTENAS INTELIGENTES	24
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	24

TIPOS DE ANTENAS INTELIGENTES	25
Antenas MIMO	27
PROTECCIÓN FRENTE A INTERFERENCIAS	28
COBERTURA DEL TERRITORIO	29
COBERTURA DEL SISTEMA	30
SEGUIMIENTO DEL TERMINAL	31
EVOLUCIÓN DE LAS REDES	33
SISTEMAS DIGITALES	34
COMPARTICIÓN DE CANALES	37
EVOLUCIÓN DE LA PORTABILIDAD	39
ESTRUCTURA DE UNA RED MÓVIL	41
TERMINALES MÓVILES	41
ESTACIONES BASE.....	42
ESTACIONES DE CONTROL	43
CENTROS DE CONMUTACIÓN	43
COMPARTICIÓN DE REDES MÓVILES.....	44
EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....	45
NORMATIVA SOBRE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	48
CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS (CNAF)	49
CAPÍTULO 2. SISTEMAS 2G. GSM	51
INTRODUCCIÓN	51
GSM. EL PRIMER SISTEMA DIGITAL.....	52
ADOPCIÓN DE LOS SISTEMAS DIGITALES	54
POSIBLES SERVICIOS EN GSM	56
Servicio de mensajes cortos (SMS)	57
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	58
PORTADORAS Y ENLACES	59
MULTIPLEXACIÓN TIEMPO/FRECUENCIA	61
PLANIFICACIÓN CELULAR.....	62
Capacidad de tráfico.....	64
EL CONCEPTO DE CANAL	65
CANALES FÍSICOS.....	66

CANALES LÓGICOS	67
ARQUITECTURA DE RED.....	67
SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE (BSS)	69
SUBSISTEMA DE RED (NSS)	70
SUBSISTEMA DE GESTIÓN DE RED (NMS)	72
ESTACIÓN MÓVIL (MS)	72
Datos del usuario	76
SOPORTE DE DATOS EN GSM.....	77
TRANSMISIÓN DE DATOS EN GSM	80
GPRS. EL PASO DE LA 2G A LA 3G	81
GPRS. CONMUTACIÓN DE PAQUETES.....	83
LA ARQUITECTURA GSM/GPRS	84
CAPÍTULO 3. SISTEMAS 3G. UMTS	87
INTRODUCCIÓN	87
UMTS. UN SISTEMA GLOBAL	88
ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN. EL 3GPP	90
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	93
FUNDAMENTOS DE WCDMA.....	95
MULTIPLEXACIÓN FDD Y TDD.....	97
MULTIPLEXACIÓN POR CÓDIGOS.....	97
GESTIÓN DE LAS INTERFERENCIAS.....	99
GESTIÓN DE LA MOVILIDAD	100
MEJORAS PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS.....	101
HSDPA Y HSUPA	103
HSPA+ (HSPA EVOLVED)	104
ARQUITECTURA DE RED.....	105
NÚCLEO DE RED UMTS	107
RED DE ACCESO UTRAN	108
TERMINALES UMTS	109
CAPÍTULO 4. SISTEMAS 4G. LTE	111
INTRODUCCIÓN	111
APARECE LA 4ª GENERACIÓN	112

TECNOLOGÍAS PARA 4G	114
4G – IMT ADVANCED	117
LTE COMO BASE DE LA 4G	119
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LTE	123
DIVISIÓN EN FRECUENCIA Y EN EL TIEMPO	125
MULTIPLEXACIÓN EN DL Y UL	127
OFDMA	127
SC-FDMA	129
MIMO. SISTEMA DE MÚLTIPLES ANTENAS	130
ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS	132
MEJORAS DE LTE-ADVANCED	135
AGREGACIÓN DE PORTADORAS	136
SON. REDES AUTOORGANIZADAS	137
MIMO Y CoMP	138
ARQUITECTURA DE RED	139
E-UTRAN. RED DE ACCESO	140
EPC. RED CORE	142
CAPÍTULO 5. LA QUINTA GENERACIÓN: 5G	145
INTRODUCCIÓN	145
SISTEMAS DE 5ª GENERACIÓN	148
ARQUITECTURA 5G	150
NUEVOS REQUISITOS PARA LA RADIO	151
Standalone (SA) y Non Standalone (NSA)	153
Frecuencias y ancho de banda	155
Voz sobre 5G	156
NUEVA RADIO Y NÚCLEO DE RED	156
Open RAN	158
CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS	160
BANDAS ASIGNADAS A LA RED 5G	162
FUNCIONAMIENTO DE LA RED 5G	165
VIRTUALIZACIÓN	166

CAPÍTULO 6. APLICACIONES (APPS)	169
INTRODUCCION	169
SISTEMAS OPERATIVOS	171
ANDROID DE GOOGLE	173
IOS DE APPLE	176
LAS TIENDAS DE APLICACIONES.....	178
INSTALACIÓN DE APPS	181
COMUNICACIONES M2M.....	182
TECNOLOGÍA SOPORTE DE M2M.....	184
SUS APLICACIONES.....	185
PAGO CON EL MÓVIL.....	187
LA TECNOLOGÍA SIN CONTACTO (NFC)	189
Pagos online.....	190
VOIP MÓVIL	194
TELEVISIÓN EN EL MÓVIL.....	196
LA DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	197
El estándar DVB-H.....	199
GEOLOCALIZACIÓN DEL MÓVIL	200
FUNCIONAMIENTO	203
CÓDIGOS 2D EN EL MÓVIL.....	204
REDES SOCIALES EN EL MÓVIL.....	207
LAS RRSS MÁS POPULARES	208
APÉNDICE. NORMATIVA SOBRE EMISIONES RADIOELÉCTRICAS	213
RADIACIONES NO IONIZANTES/IONIZANTES	216
GLOSARIO DE TÉRMINOS	221
BIBLIOGRAFÍA	235
ÍNDICE ANALÍTICO	239

INTRODUCCIÓN

En el mundo ya hay más teléfonos móviles que habitantes, aunque no todos ellos disponen de un terminal propio, pues mientras que muchos millones tienen y utilizan varios, bien para uso personal, profesional o de otro tipo, son otros muchos los que aún no disponen de uno, además de que hay móviles asignados a máquinas (lo que se conoce como M2M e IoT), e incluso aún hay zonas en el planeta sin cobertura, como por ejemplo en el océano, desiertos o la selva, donde la única opción para poder establecer una comunicación sería utilizar un teléfono vía satélite.

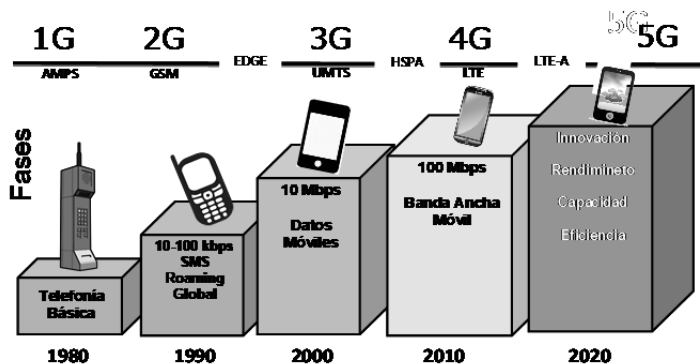


Figura Las cinco generaciones de telefonía móvil

El objetivo de las redes de telefonía móvil no es solo ofrecer los mismos servicios que ofrece la telefonía fija, sino otros nuevos, a usuarios que pueden cambiar de posición (incluso durante una conexión que esté ya establecida). Esto implica añadir nuevas prestaciones a la red tradicional para permitir la movilidad y la localización del terminal, lo que ha dado lugar a distintas generaciones de redes digitales, pasando de la 2G, a la actual, la 5G, además de la 1G (analógica) que, actualmente, está en desuso y, por tanto, no se tratará en esta obra.

Poco antes que la aparición comercial de Internet, el gran auge de las redes móviles (o celulares, como se las denomina en algunos países, sobre todo en América) tuvo lugar a partir de la década de los ochenta del siglo XX, y se debió al abaratamiento de los servicios, pero sobre todo a la reducción del coste de los terminales, que han ido mejorando tecnológicamente, con muchas más prestaciones y pantallas táctiles de gran resolución (*smartphones*), ofreciendo no solo voz, sino texto y datos, además de facilitar acceso a un grandísimo número de aplicaciones, las famosas “apps”, y así, por ejemplo, la banda ancha móvil es una realidad que compite con la banda ancha fija, e incluso en algunas ocasiones la supera. Por otra parte, la posibilidad de poder elegir entre las modalidades de prepago o contrato, la facilidad que ofrece la portabilidad para cambiar de operador, la disponibilidad de cobertura en, prácticamente, cualquier lugar, la itinerancia internacional, y su facilidad de uso, contribuyen a su enorme éxito.

Se puede constatar que la telefonía móvil, junto con Internet, son las dos tecnologías de comunicación más importantes, por su gran penetración a nivel mundial desde su aparición comercial hace unos 40 y 25 años respectivamente. A finales de 2020 había casi 5.800 millones de usuarios únicos (7.900 suscripciones) de telefonía móvil en todo el mundo, una penetración del 73% sobre la población (7.900 M de habitantes en la actualidad, y se estima que habrá 9.700 M en el año 2050) –según el informe Ericsson Mobility Report 2020, noviembre de 2020–, de los cuales 3.500 millones de las suscripciones previstas para fines de 2026 serán 5G, el 60 por ciento de la población mundial tendrá acceso a la cobertura 5G, y se estima que representarán más del 50 por ciento del tráfico de datos móviles en ese momento. Ello supone un cincuenta por ciento más que los usuarios de Internet (~4.000 M) y casi seis veces los de telefonía fija (~1.000 M).

La telefonía móvil no solo es la tecnología de más rápido crecimiento, sino también la que más se ha expandido por todo el mundo, y el ritmo de introducción de la nueva funcionalidad 5G ha aumentado en 2020 en los dominios de la red y los dispositivos, a pesar de las incertidumbres causadas por la pandemia de COVID-19.

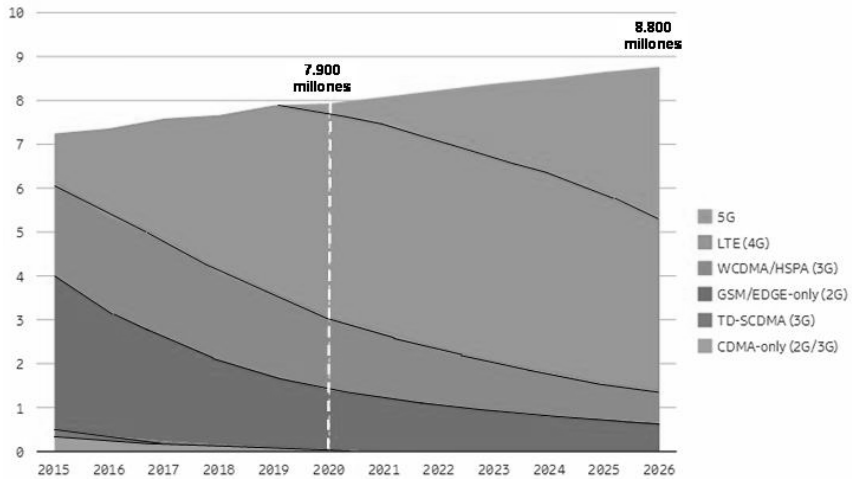


Figura Suscripciones móviles (Ericsson Mobility Report 2020)

La evolución de las distintas tecnologías que soportan la telefonía móvil es impresionante, a un ritmo tan acelerado que no da tiempo a desplegar una cuando ya lo está haciendo otra, que ha de convivir con las anteriores –aproximadamente cada diez años se viene produciendo un cambio de generación–, lo que complica la gestión de operadores y usuarios, puesto que, mientras los primeros necesitan gestionar múltiples redes y pretenden amortizar las inversiones realizadas en una tecnología antes de desplegar plenamente otra, los segundos disponen de una oferta tan amplia en el mercado que les es difícil optar/decidir por una o por otra, y las más de las veces ni siquiera tienen criterio propio para poder elegir.

A pesar de esto, la tecnología sigue su ritmo, es imparable, y se despliegan comercialmente algunos sistemas de 5G (NR), que conviven con los de 2G (GSM), 3G (UMTS y CDMA) y 4G (LTE), realidad impulsada por los intereses de los fabricantes, que lo ven como una nueva manera de aumentar sus ventas y, consecuentemente, sus ingresos. Pero para que sea posible, los operadores han de disponer de las licencias correspondientes y es por ello que en distintos países sus respectivos gobiernos hayan licitado, o estén a punto de hacerlo, los procesos para conceder las licencias, bien mediante concurso o subasta, aprovechándose, al menos en Europa, para resolver la cuestión del “refarming” y el “dividendo digital”, tanto del primero como del segundo, además de obtener los gobiernos pingües beneficios por la concesión del espectro.

Como curiosidad, de la importancia de LTE (4G), por ejemplo, es significativo el dato de que la NASA ha seleccionado a Nokia para el despliegue, a finales de 2022, del primer sistema de comunicaciones LTE en la Luna, una red ultracompacta, de baja

potencia y acondicionada a la superficie lunar. Uno de los objetivos de la misión es probar y aprender sobre la propagación radio en el satélite de la Tierra de cara a una futura presencia humana sostenible.

Esta obra se estructura en seis capítulos. En el primero se tratará la tecnología celular que da soporte a las distintas redes móviles, algo común a todas ellas; el segundo, dedicado a la red 2G, tiene como sistemas más representativos y extendidos el GSM y el GPRS, los de más éxito, con los servicios que ofrecen; el tercero se dedica a los sistemas de 3G, con especial mención a UMTS y su evolución, pasando por HSPA, que introdujo velocidades de transmisión/recepción de datos más elevadas y fue el precursor de la próxima tecnología, la del 4G; el cuarto se centra en los sistemas de 4G (LTE), con una arquitectura bastante novedosa respecto a las arquitecturas de 2G y 3G, las cuales tenían más similitudes entre ellas; el quinto en los nuevos de 5G, aunque no será la última generación, pues ya se está trabajando en la definición de lo que serán los estándares para la 6G, mientras que el sexto y último lo hace en los sistemas operativos y en algunas aplicaciones que se ofrecen a través de las redes móviles, como son las apps (y las *apps stores*), las comunicaciones M2M, el pago a través del móvil, los servicios de localización, la TV en el móvil, el acceso a las redes sociales, etc. Por último, en el apéndice se trata la normativa sobre las radiaciones electromagnéticas, y en la bibliografía se incluyen algunas referencias muy útiles para el lector que quiera ampliar sus conocimientos.

En definitiva, esta obra pretende ser una guía básica para todos aquellos que deseen tener una visión actual y completa de lo que es la telefonía móvil, describiendo las cuatro generaciones que se encuentran en uso –2G, 3G, 4G y 5G– y abordando algunas de las aplicaciones a las que se tiene acceso a través de ellas.

El autor

José Manuel Huidobro ha trabajado 35 años en la industria de las telecomunicaciones, es investigador, profesor y conferenciante, autor de numerosos libros y artículos. Sus intereses se centran en las redes de comunicaciones fijas y móviles, sus servicios y las aplicaciones y, especialmente, Internet.

- Doctor en Derecho por la UNED en 2020
- Ingeniero de Telecomunicación por la ETSIT (UPM) en 1978
- Máster en Economía de las Telecomunicaciones por la UNED
- Especialista en Dirección Estratégica de las TIC por la UPM
- Máster en Dirección de Marketing y Comercial por el IDE-CESEM

Autor de 66 libros, 62 sobre redes y servicios de telecomunicaciones y 4 sobre historia. Colaboración con diversas publicaciones técnicas y prensa diaria, desde hace 30 años, con más de 1.500 artículos publicados.

Premio Autel 1998 a la difusión del uso de las telecomunicaciones y Premio Vodafone de Periodismo en el año 2002.

Profesor y ponente en varios cursos, conferencias, programas de TV, radio y seminarios sobre Telecomunicaciones (Aniel-FTI, Telefónica, IIR, APD, EOI, UCLM, UPM-ETSAM, UPM-ETSIT, UPM-ETSII, UC3M, UPC, UAH, UC e ICAI-ICADE).

Miembro, y coautor de sus publicaciones, del Grupo de Regulación de las Telecomunicaciones del COIT/AEIT, del Foro Histórico de las Telecomunicaciones y de ACTA (Autores Científico-Técnicos y Académicos).

José Manuel Huidobro Moya

www.huidobro.es

TECNOLOGÍAS DE RADIO

1

INTRODUCCIÓN

Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894), físico e inventor alemán, descubrió la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio y estudió su naturaleza y propiedades. En su laboratorio logró transmitir ondas electromagnéticas entre un oscilador (antena emisora) y un resonador (antena receptora), confirmando experimentalmente las teorías del físico escocés James C. Maxwell, que había promulgado sus famosas ecuaciones muchos años antes, en 1865, cuyo conjunto describe cosas como la corriente eléctrica, los imanes, los rayos, la electricidad estática, la luz, las microondas, las ondas de radio, etc. Maxwell demostró que el campo eléctrico E y el campo magnético B viajan a través del espacio en forma de ondas que se desplazan a la velocidad de la luz.

La unidad de medida de la frecuencia se denomina Hz, (hercio) en honor de Hertz.

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

Figura 1-1 Las ecuaciones de Maxwell unificaron la electricidad y el magnetismo en una sola y única fuerza: la electromagnética

El empleo de las ondas de radio para establecer una comunicación a distancia se viene realizando desde hace algo más de un siglo, y desde que Guillermo Marconi completara con éxito, a principios del siglo XX, sus experimentos de transmitir señales telegráficas a larga distancia, la tecnología ha evolucionado mucho, permitiendo el envío de voz, texto e imágenes a una gran velocidad y, además, con gran calidad gracias al proceso de digitalización de las señales.

En este capítulo se exponen los fundamentos de las radiocomunicaciones y las tecnologías que soportan la telefonía móvil, que funciona enviando y recibiendo señales de radio de baja potencia. Las señales se intercambian con antenas que están conectadas a transmisores y receptores de radio, comúnmente conocidos como estaciones base de telefonía móvil, que, a su vez están conectadas al resto de las redes de telefonía fija y móvil y transfieren la señal/llamada a esas redes.

El sector de los dispositivos móviles está en continuo crecimiento debido al impacto que las nuevas tecnologías están teniendo en nuestro día a día y a que se han convertido en una herramienta esencial en nuestra vida personal y profesional.

Un sistema de telefonía móvil consiste en una forma de transmitir y recibir información usando ondas electromagnéticas a través del espacio libre (comunicación inalámbrica o vía radio) en donde uno o más usuarios pueden participar con una cierta movilidad siempre y cuando su desplazamiento se encuentre dentro del área de cobertura del sistema.

En el diseño de las redes móviles hay que tener en consideración que los sistemas tienen una capacidad limitada para atender varias llamadas telefónicas simultáneas y, cuantas más personas utilicen los teléfonos móviles, más capacidad se necesita, y, por tanto, se hace necesario instalar más estaciones base, más cercanas entre sí, lo que lleva a la división celular y a la sectorización para aumentar la capacidad, dado que el espectro radioeléctrico que se utiliza es finito. Para su diseño, generalmente, se parte de una “estructura celular” que cubre un área geográfica definida. Las estaciones base se colocan en el centro de cada celda o en el vértice de un grupo de ellas. La cantidad de estaciones base requeridas para un área dada dependerá de las características del terreno, de la frecuencia empleada y de la cantidad de personas que utilicen teléfonos móviles.

Finalmente, los terminales son algo muy importante, más los smartphones, que además de servir para establecer una comunicación de voz o datos, incorporan múltiples aplicaciones que nos sirven en nuestro quehacer cotidiano.

LA DIVISIÓN CELULAR

La telefonía es el servicio más utilizado de los que ofrecen los sistemas de comunicaciones móviles y todos los sistemas tienen la función de telefonía incorporada. Si bien la telefonía móvil empezó siendo analógica, en la actualidad todo el servicio es digital. La telefonía móvil digital, que también recibe la denominación de celular en algunos países, se basa en el concepto de división del territorio en celdas (o células).

Una red móvil se estructura como una malla de celdas, teóricamente de forma hexagonal, las cuales abarcan diferentes áreas de cobertura, y en donde se dispone en cada una de ellas de una estación base que actúa como transceptor (transmisor y receptor) de las señales que van desde y hacia los móviles o terminales.

Todos los sistemas de telefonía móvil actuales se basan en el concepto “celular”, gracias al cual es posible la reutilización de frecuencias (limitadas en número y, por tanto, un bien escaso y sujeto a la concesión de licencia por las distintas Administraciones de cada país para su explotación), con todo lo que ello lleva implícito: mayor número de usuarios, evitar interferencias, mayor eficiencia, mayor cantidad de operadores y, consecuentemente, mayor competencia en un mercado liberalizado, etc. Este concepto ya se conocía desde mediados del siglo XX (fue presentado por AT&T (Bell Laboratorios) en 1947, aunque por limitaciones de la electrónica existente en aquel momento no se pudo implementar, puesto que el mantenimiento de la conversación –cambio de canal– durante el traspaso de célula requería una capacidad de proceso muy elevada), pero por razones técnicas no pudo llevarse a la práctica hasta finales del mismo.

Las principales características de un sistema celular son:

- Utilización eficiente del espectro.
- Gran capacidad de usuarios y tráfico.
- Amplia zona de cobertura.

El estadounidense Martin Cooper (nacido en junio de 1928 en Chicago, EE.UU.) fue el pionero en utilizar esta tecnología, y es considerado como “el padre de la telefonía celular” al introducir el primer radioteléfono, en 1973, en Estados Unidos, mientras trabajaba para Motorola; pero no fue hasta unos años más tarde cuando aparecieron los primeros sistemas de telefonía móvil celular comerciales.

El principio en el que se basan los sistemas celulares es el de utilizar estaciones base de baja o mediana potencia, que dan servicio a un área reducida. La zona de cobertura a la que se da servicio se conoce como “célula” o “celda”. En cada célula se puede utilizar una sub-banda (subconjunto) de frecuencias, dentro de la banda que el operador tenga asignada, de manera que en una célula solo se ofrece una parte de todos los radiocanales de los que el operador dispone, por lo que para dar cobertura a todo el territorio se necesita utilizar muchas células, vecinas entre ellas.

La gran ventaja de estos sistemas es que si las células están suficientemente alejadas unas de otras, podrán reutilizar el mismo radiocanal, debido a que la señal interferente se atenúa con la distancia. Si la distancia entre dos células que utilizaran el mismo radiocanal no fuese elevada, se puede producir la denominada interferencia cocanal; es decir, si una señal a determinada frecuencia es interferida por otra señal de la misma frecuencia (o en el mismo canal, de ahí el nombre cocanal) con potencia similar o mayor (es decir, no despreciable como ruido), la demodulación correcta de la señal original se hace imposible. Sin embargo, si el nivel de la señal interferente es suficientemente bajo, podría considerarse como ruido y no dar ningún problema al demodular la señal original. La reutilización de las mismas frecuencias es, pues, la base de todos los sistemas modernos de telefonía móvil, con independencia de su tecnología, desde la 2G a la 5G, pasando por la 3G y la 4G, así como también lo fue de la anterior, analógica, la 1G.

Un nuevo concepto

Un sistema celular se forma al dividir el territorio al que se pretende dar servicio en células, o celdas –normalmente hexagonales– de mayor o menor tamaño, cada una de las cuales es atendida por una estación de radio que restringe su zona de cobertura a la misma, aprovechando el alcance limitado de la propagación de las ondas de radio a frecuencias elevadas, tanto menor cuanto mayor es la frecuencia; así, el conjunto de frecuencias disponibles puede volver a ser reutilizado en cada nueva célula, siempre teniendo cuidado de evitar las interferencias entre células próximas.

De esta manera se puede aumentar considerablemente el número de usuarios al no requerirse una frecuencia exclusiva para cada uno de ellos, como sucede, por ejemplo, en los sistemas de radio privada convencional, como es el *trunking*.

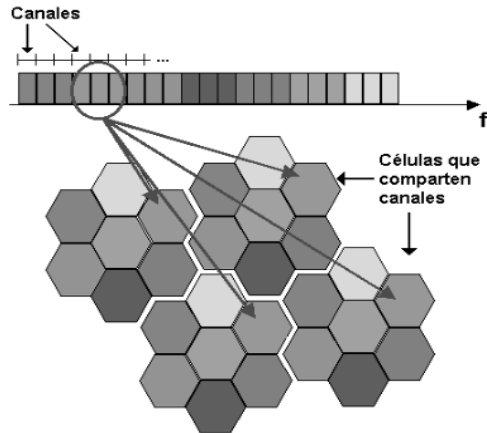


Figura 1-2 La reutilización de frecuencias, en células diferentes, permite aumentar el número de usuarios a los que da servicio una red de telefonía móvil

Cuanto más reducidas sean las células, mayor será el número de canales que soporte el sistema, al poder asignar conjuntos de frecuencias diferentes para áreas o células distintas. Por tanto, al realizar una planificación celular, inicialmente se comienza con células de gran tamaño y, conforme aumenta el número de usuarios, se produce una división celular para aumentar su capacidad.

Si en una célula con “n” radiocanales hay más tráfico del que se puede cursar, por ejemplo, porque aumente considerablemente el número de usuarios, se puede dividir la célula añadiendo más estaciones base y disminuyendo la potencia de transmisión. Esto es lo que se conoce como *splitting*. De manera que el tamaño de las células variará según la densidad de tráfico, planificándose células más grandes – macroceldas– en zonas rurales (de hasta decenas de km), células más pequeñas – pico y microceldas– (unos 500 metros) en grandes núcleos urbanos, y, últimamente, femtoceldas, con una cobertura de solo unas pocas decenas de metros, diseñadas para su uso en interiores, viviendas o edificios, generalmente utilizando las líneas de acceso de banda ancha (ADSL o FTTH) de los propios usuarios.

La forma de las celdas en que se divide un determinado territorio depende del tipo de antena y de la potencia emitida por cada estación base. Normalmente, se usan dos tipos de antenas, las de diagrama horizontal omnidireccional y las directivas, como veremos en un apartado posterior. Si se usan antenas omnidireccionales, idealmente el área de cobertura será circular, pero si se utiliza el círculo para modelar una determinada área se producirá solapamiento entre ellos, como se aprecia en la figura 1-3, lo cual es poco eficiente.