

Evolución de datos móviles

Cayetano Lluch Mesquida

1.	Introducción	3
2.	Primero fue la voz	3
3.	Internet en la palma de la mano	4
4.	Banda ancha móvil.....	6
4.1	Llega la tercera generación. Un estándar mundial	6
4.2	Nace la Banda Ancha Móvil	7
4.3	Y llegaron los smartphones.....	9
4.4	Desacoplamiento entre tráfico e ingresos	10
4.5	Disponer de banda es clave.....	11
4.6	Más velocidad en la 3G.....	12
4.7	Génesis de la casi 4G. LTE.....	13
4.8	Ahora si la 4G	15
4.9	Incorporación del internet de las cosas	16
4.10	Hemos dejado cosas. Génesis de la 5G	17
4.11	La 5G ya se está desplegando	18
4.12	Conclusión	19

1. Introducción

Hoy en día todo el mundo lleva un móvil, que antes se decía teléfono móvil, que usa muy a menudo y casi todo el tiempo conectado a Internet, en aplicaciones de datos: WhatsApp, navegación, descargas, etc. Los jóvenes apenas lo utilizan para llamar por teléfono que, sin embargo, era el único uso hace treinta años. Por otra parte, cuando se observa un modelo actual de móvil, ahora Smartphone, con su capacidad de conexión a internet y descargas de datos a velocidades de cientos de megabit por segundo, no se puede menos que asombrar y reconocer una evolución casi milagrosa de la transmisión de datos en estos dispositivos durante estos últimos veinte años.

En este tiempo hemos visto muchos símbolos de red en la pantalla del móvil '3G', 'H', 'H+', '4G', 'G' o 'E' que nos indicaban que estábamos en cobertura de redes de distinta tecnología, la mayoría de ellas desarrolladas para facilitar la transmisión de datos. Así, descargar un video por WhatsApp, limitado a 100 MB (Mbytes), con un móvil UMTS/3G de 2005 a una velocidad media 200 kbit/s hubiera tardado una hora, con un móvil HSPA+/3G de 2010 a 14 Mbit/s hubiera tardado un minuto, con un móvil LTE-A/4G de 2015 a 150 Mbit/s habría tardado solo 6 segundos y con un móvil actual de 5G la descarga sería prácticamente instantánea.

Si se comparan contratos de principios del 2000 y actuales se puede ver que, p.ej. la tarifa de datos por MB era del orden de 1 €/MB en el Contrato Movistar Datos y en la tarifa del Contrato L actual con una cuota de 15 €/mes se navega a máxima velocidad hasta 8 GB, lo que supone un precio de 0,002 €/MB. En un periodo de 20 años, se ha reducido el precio por MB de datos en unas 500 veces. Pero, además, se navega a velocidades muy superiores, del orden de 100 kbit/s al principio y a velocidades del orden de 100 Mbit/s actualmente, o un factor de 1.000.

Exceptuando otras consideraciones, ello ha sido posible gracias a la tecnología que han desarrollado los fabricantes de redes (Ericsson, Nokia, etc.) y de terminales (Apple, Samsung, etc.) y al buen hacer de Telefónica en su comercialización, construcción y explotación. Y este capítulo trata precisamente de esto, de mostrar y reconocer una evolución casi milagrosa de la transmisión de datos en redes móviles durante estos últimos veinte años.

2. Primero fue la voz

Las comunicaciones móviles existen desde hace más de un siglo. Cuando el hundimiento del Titanic, allá por 1910, ya existía la comunicación telegráfica por radio. Pero no fue hasta bien entrados los años 40, que pudo hablarse del primer sistema de telefonía móvil comercial en St. Louis, EE. UU., en 1946.

La era celular comienza con los sistemas de telefonía móvil de primera generación 1G, donde todos ellos eran sistemas analógicos para servicios de voz, utilizando tecnología FDMA. Son los NMT y AMPS/TACS, desde 1981 a 1986. Telefónica también desplegó sistemas de primera generación: TAV, TMA-450 y TMA-900 (MoviLine).

Pero, a pesar de disponer canales de ancho de banda telefónico de 3 kHz, las características del canal radio eran muy diferentes a las de las líneas telefónicas que, en aquellas fechas, años 80, formaban parte de la red de transmisión de datos IBERPAC/X25 con velocidades de datos de hasta 64 kbit/s. Solo cabía la transmisión de datos de baja velocidad y para servicios de alarmas, mensajes, estados, etc.

Para superar las dificultades de 1G, la mayoría de los países optaron por la tecnología digital y comenzó una nueva era, llamada 2G. Estos sistemas gozaban: de una eficiencia espectral mejorada lograda mediante el uso de técnicas de modulación avanzadas, una codificación de voz con una tasa de bits más baja, unas buenas técnicas de codificación de canal para una mayor resistencia a las interferencias.

El más conocido de los sistemas de 2G es el paneuropeo GSM, todavía en uso hoy día, que empleaba la banda de 900 MHz con dúplex de frecuencia FDD, modulación GMSK y canalización de 200 kHz; un acceso múltiple TDMA de 8 canales por portadora y una velocidad bruta por canal de 22,8 kbit/s.

3. Internet en la palma de la mano

El GSM de 1995 incorporaba transmisión de datos en modo circuito, CSD, a 9,6 kbit/s, lo que facilitaba a un PC conectarse a internet por medio de un modem radio, p.ej. el Nokia 30, iniciando también las comunicaciones máquina a máquina, M2M.

También el servicio de mensajes cortos SMS, que permitía enviar y recibir mensajes de hasta 160 caracteres y que tan popular fue hasta la llegada de la mensajería instantánea tipo WhatsApp. Hay que pensar que, por 1995 la transmisión de datos por línea telefónica ya estaba muy avanzada: se había iniciado el acceso a internet con Infovia a 33,6 kbit/s y se estaba desplegando la malograda RDSI, de 128 kbit/s.

En la especificación denominada GSM fase 2+ de 1996, ya elaborada por ETSI (European Telecommunications Standardisation Institute), que tomó el relevo de la CEPT en 1998 y del que Telefónica fue miembro fundador, se incluyeron dos nuevos servicios de datos: El HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) o sistema de transmisión de datos a alta velocidad mediante circuitos conmutados, que permitía velocidades de transmisión de datos de hasta 57,6 kbit/s y consumía 4 canales de voz.; y el servicio GPRS General Packet Radio Service.

En 1999, con portadores CSD y SMS y luego con portador GPRS se desarrolla un micro navegador denominado WAP (Wireless Application Protocol), que simplificaba las webs para hacer más fácil verlas en los móviles de la época. Sobre WAP, Telefónica desarrolló el portal de contenidos e-moción y numerosos servicios de datos. También en este año llega el ADSL con velocidad de bajada de hasta 2 Mbit/s sobre la línea telefónica.

En 2001 Telefónica puso en funcionamiento la tecnología GPRS, conocida también como Generación 2,5, que añadía al GSM un núcleo de red de paquetes de Nokia, constituyendo así una red de transmisión de datos móvil.

El núcleo de paquetes GPRS se va a reutilizar cuando se despliega 3G/UMTS, ver Figura 1.

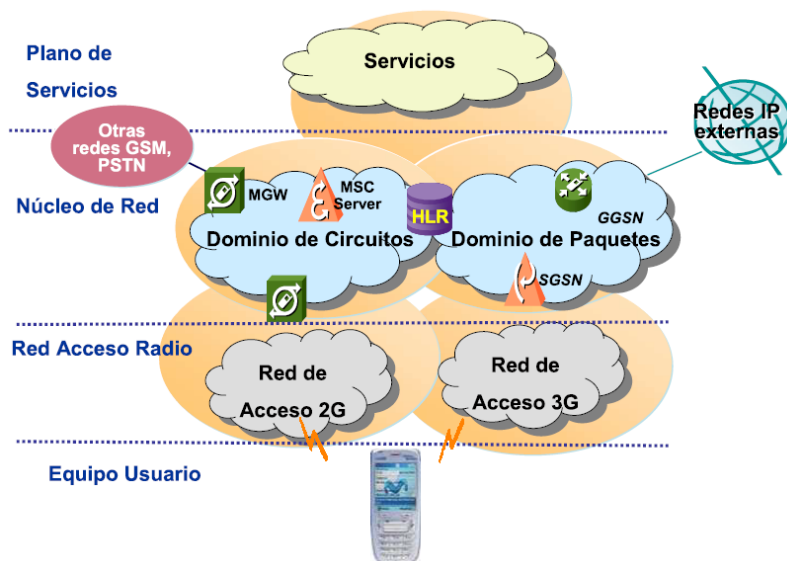


Figura 1. Estructura de red 2G/3G

El dominio de paquetes continúa manejando las llamadas de voz y la red de acceso 2G maneja ahora el tráfico de voz y de datos GSM/GPRS. Afortunadamente, el despliegue de GPRS fue también una oportunidad de desplegar un nuevo tipo de codificador de voz o "vocoder" (que convierte la voz en señales digitales) llamado AMR (Adaptive Multi-rate speech transcoder), que manejaba el doble de llamadas de voz que con el vocoder original.

Fue GPRS la que inició el internet móvil, internet en la palma de la mano se publicitaba. Todos los servicios de datos anteriores desarrollados para GSM pasaron a utilizar GPRS a una velocidad de hasta 115 kbit/s. Debido al retraso de la tecnología 3G/UMTS hasta 2004, el GPRS fue el soporte de los servicios de datos durante estos años. Pero, en 2002 los servicios GPRS solo representaban un 0,1% de los ingresos totales en telefonía móvil.

Basado en el GPRS y WAP, Telefónica implantó un Centro de Desarrollo de Servicios, donde se desarrollaron muchos servicios de datos: oficina móvil, correo móvil, etc. Movilforum en 2021. También MMS (Multimedia Messaging Service) en 1992, haciendo factible el envío de mensajes de texto junto a imágenes a color, animaciones, aplicaciones, sonidos y vídeo. Los móviles con pantalla de color aparecieron en 2001 y con cámara integrada en 2002. Empezaba el "siempre conectado" (always on), que se facturaba por volumen de datos, no por tiempo de conexión. A principios de los 2000, Blackberry había conseguido llevar el correo electrónico a los teléfonos móviles, pero su uso se limitaba al ámbito profesional.

Otra de las características iniciales de diseño de radio del GSM que se reveló como una carencia, el tope de velocidad de datos también fue objeto de varios cambios en la norma. Uno de ellos el denominado EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution),

también conocido como Enhanced GPRS (EGPRS) o GPRS Mejorado, que supuso el paso de métodos de modulación binarios, donde los niveles discretos de la señal digital moduladora son dos (1 y 0), a otros multinivel o de varios niveles (siempre una potencia de 2, de manera que con 2^n niveles la velocidad se multiplica por n con respecto a un régimen binario, puesto que con cada nivel es posible designar n bits). Con ello se consiguió elevar las velocidades del sistema, aunque solo para canales radio con calidad suficiente). Puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 kbit/s en modo de paquetes. Telefónica actualizó las estaciones GSM a EDGE en 2009.

4. Banda ancha móvil

4.1 Llega la tercera generación. Un estándar mundial

La tercera generación 3G no fue europea sino mundial. Se definió en la UIT, quién estableció en 1999 un marco general denominado IMT-2000, en referencia a la banda de 2.100 MHz, identificada por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, CMR, de 1992.

La UIT seleccionó 5 tecnologías para IMT-2000, entre ellas la denominada UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), presentada por el 3GPP (3rd Generation Partnership Project), que se había constituido en 1998 por organismos de normalización en telecomunicaciones de Asia, Europa y Norteamérica, entre ellos la europea ETSI. En 2001 el 3GPP y ETSI liberaron las especificaciones/releases Rel-99 y Rel-4 para la implantación del UMTS. También se seleccionó la tecnología CDMA 2000, presentada por el otro consorcio contendiente, el 3GPP2

La 3G/UMTS supuso el abandono del TDMA del GSM y la adopción de una nueva técnica de acceso múltiple: CDMA, que lo que hace es multiplicar la señal digital en banda base por otra de velocidad sensiblemente mayor, con lo que se consigue una señal digital moduladora de bastante más ancho de banda que la de la de banda base, cuya velocidad, lo mismo que la de la secuencia multiplicadora, no se expresa en bps (bits por segundo) sino en cps (chips por segundo). En RF lo que se consigue es que el ancho de banda de la portadora modulada sea mucho mayor que el que se obtendría modulando directamente con la banda base, lo que le confiere interesantes propiedades de inmunidad a los desvanecimientos multitrayecto típicos del canal radio.

Cada transmisión se multiplica por una secuencia diferente de la de las otras con las que comparte el espacio radioeléctrico. En recepción se obtiene, tras la demodulación, una suma de señales digitales correspondientes a todas las transmisiones existentes simultáneamente en el aire, dentro de una misma frecuencia. Esta suma se multiplica por la secuencia de la transmisión correspondiente y, merced a las propiedades de las secuencias, en el caso de la transmisión afectada por dicha secuencia se recupera la señal en banda base, mientras que para las restantes se da lugar a una señal muy similar al ruido. Por tanto, en CDMA las otras comunicaciones que comparten las frecuencias con la de interés aportan una cierta cantidad de ruido (o lo que es lo mismo,

es una técnica de acceso que ofrece ortogonalidad perfecta, a diferencia de FDMA o TDMA).

O sea, UMTS cambia totalmente la red de acceso radio, ahora denominada UTRAN, mientras permanece el núcleo de red de GSM/GPRS con un dominio de conmutación de circuitos y otro de conmutación de paquetes.

Para el acceso radio del UMTS (UTRA) se definieron dos modos de operación en el espectro diferentes: UTRA FDD (Frequency Division Duplex) en el segmento de banda 1920-1980 MHz para el ascendente y 2110-2170 MHz para el descendente y UTRA TDD (Time Division Duplex) para los segmentos de banda 1900 – 1920 MHz y 2010 – 2025 MHz. En UTRA TDD hay una componente TDMA (Time Division Multiple Access) además de la DSSSS. Por eso este acceso también se ha referenciado como TDMA/CDMA. El espaciado entre los canales o canalización es ya de 5 MHz, para la velocidad de chip de 3,84 Mcchip/s y el esquema de modulación es QPSK.

La arquitectura de red es la misma que la del GSM/GPRS salvo que se ha añadido una nueva red de acceso radio, la de UMTS/3G o UTRA.

4.2 Nace la Banda Ancha Móvil

No fue hasta la concepción y despliegue del UMTS que puede hablarse realmente de datos en movilidad y de servicios de datos, iniciando la carrera de la banda ancha móvil. Así, en esta tecnología se distinguían cuatro clases de tráfico, que requerían a su vez de diferentes calidades de servicio

- Tráfico conversacional, para servicios de voz, videotelefonía y videojuegos
- Tráfico de streaming (afuente), para servicios multimedia (servicio en el que la información intercambiada es de más de un tipo, como textos, gráficos, sonido, imagen y vídeo), video bajo demanda (televisión a la carta) y web cast o webinar (es una retransmisión por internet de contenido audiovisual, que permite una interactividad con el usuario en vivo, similar a un programa de televisión o radio).
- Tráfico interactivo, para el servicio de navegación por internet, juegos en red y acceso a bases de datos.
- Tráfico diferido, para servicios de correo electrónico (email), mensajes cortos (SMS), y descargas.

La Administración española estableció un concurso de méritos para otorgar cuatro licencias de 3G en noviembre de 1999. Telefónica ganó una de estas licencias en marzo de 2000, con importantes compromisos de despliegue, inversión y calidad de servicio. Además de los compromisos de despliegue de infraestructura y servicios, y de empleo, Telefónica se comprometió a promocionar e invertir en la fabricación de teléfonos móviles de marca blanca. Vitelcom de Málaga fue la encargada de fabricar estos teléfonos denominados TSM. Así salieron terminales como el TSM 5, el TSM 30 o el TSM 100, entre otros. Los tres fueron fuertes apuestas de Telefónica, en especial el

TSM 5, que se comercializaba por 99 euros en prepago y fue protagonista de una intensa campaña navideña en 2003-2004.

Pero en estas fechas se estaba de lleno en la burbuja puntocom, un fuerte ciclo especulativo que se dio entre 1997 y 2001, con un crecimiento descontrolado en el valor de las empresas vinculadas a internet que acabó estallando y provocando una grave crisis mundial. Y también ocurrió la crisis de las subastas UMTS en Europa, con una fuerte caída bursátil de las compañías de telecomunicaciones debida a los 270.000 millones de euro que tuvieron que pagar para hacerse con licencias. Lo que provocó un retraso considerable en redes y terminales. Esta crisis también frustró la intención de la Administración de convocar en el año 2001 dos nuevas licencias GSM en la banda de 1800 MHz.

El éxito de la tecnología GSM no se contagió inmediatamente al de su sucesora, el UMTS, que vivió unos comienzos difíciles. Así, tras la adjudicación de licencias el estándar atravesó todavía una etapa de inmadurez, donde se sucedían multitud de modificaciones a las especificaciones (en torno a la centena o más) en las reuniones de los grupos 3GPP, con algunas de ellas de importante calado. Además, los elevados desembolsos que las operadoras hubieron de realizar para dotarse del espectro necesario, en las subastas que tuvieron lugar en Europa a lo largo de los años 2000 y 2001, contribuyeron a arrojar dudas sobre si la 3G no estaría abocada al fracaso. Con la intención de contrarrestar este pesimismo, Telefónica lanzó el denominado “Plan de Promoción Tecnológica del UMTS”, integrado por una serie de iniciativas enfocadas a enviar una señal de confianza y compromiso en la tecnología UMTS por parte de Telefónica, e incentivar la I+D en ella. Este plan, desarrollado durante el año 2003, involucró a quince universidades españolas.

Una vez obtenida la licencia para operar una red UMTS en España, Telefónica inició un proceso de selección y certificación de suministradores UMTS (PSCS), que se desarrolló durante los años 2001 y 2002. Para ello se requirió a los suministradores Alcatel, Ericsson, Lucent, Nokia, Nortel, Motorola y Siemens el suministro de información sobre sus soluciones UMTS, así como la instalación y puesta a disposición de Telefónica para prueba y evaluación, de maquetas de las mismas. Después de este proceso de validación de tecnologías UMTS, la red de acceso radio UMTS/3G de Telefónica se adjudicó a Ericsson y a Siemens, que luego se fusionaría con Nokia

Telefónica lanzó la 3G/UMTS en 2004 con una PCMCIA de solo datos. Con ello se iniciaban los bonos de datos con tarjetas PCMCIA y USB, que eran los grandes consumidores de datos al estar asociadas a PC portátiles. Al principio, una vez consumido el bono, se pagaba por MB adicional. Por ejemplo, contrato Movistar Datos UMTS 3G de 2004 con tarifa 0,5 €/Mbyte hasta un límite de consumo de 30 MByte. Una vez superado este límite el precio era de 1€/Mbyte. Como esta tarificación daba lugar a facturas importantes de manera involuntaria, en 2006 una vez llegado el límite del bono, la velocidad se limitaba a velocidad GPRS 128 kbit/s.

También ocurrió que las frecuencias asignadas a UMTS, superiores a las del GSM, daba lugar a una cobertura menor. No fue hasta el denominado “refarming” de 2009 que se propició una buena cobertura al UMTS al poder utilizar la banda de 900 MHz del GSM que, por otra parte, había conseguido más banda en 2005 por el denominado concurso E-GSM, que ponía a disposición de los operadores 2x8 MHz liberados como consecuencia de la finalización de la telefonía móvil analógica (Moviline) y de la Telefonía Rural de Acceso Celular (TRAC).

4.3 Y llegaron los smartphones

El origen y necesidad de las redes móviles fue para facilitar la telefonía móvil o telefonía personal, pero estaba naciendo internet y la videotelefonía, y ya existía la televisión, por lo que era inevitable evolucionar a que las redes móviles fueran también redes de datos móviles. Los terminales tenían la forma adecuada para servicios de voz, pero no para los datos, que necesitaban pantallas mayores, ver Figura 2.

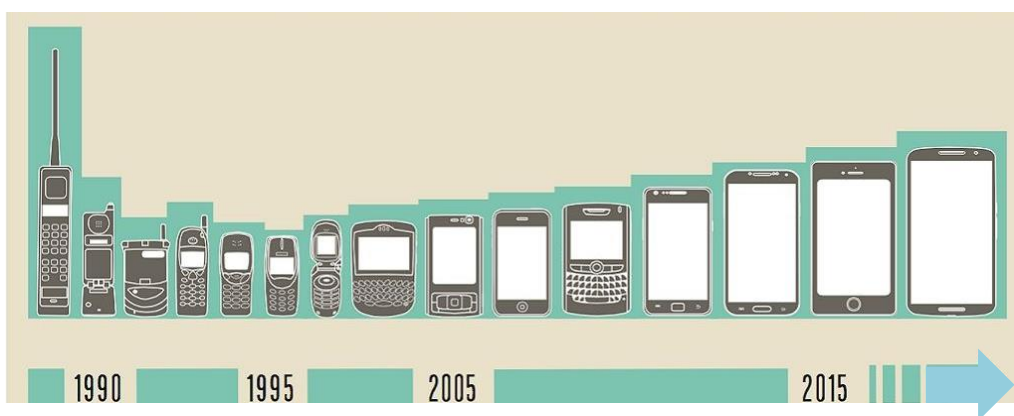


Figura 2. Evolución de la forma y tamaño de los móviles

Los teléfonos móviles iban incorporando otras funcionalidades como: el bluetooth (2001) para auriculares inalámbricos, el wifi (2004), el GPS (2007). Pero en 2008 llegó el iPhone 3G de Apple, que cambió para siempre la forma de los teléfonos móviles, que pasaron a llamarse smartphones, teléfonos inteligentes o simplemente móviles.

Con la salida del primer iPhone y su sistema operativo iOS, empiezan los sistemas operativos móviles. En 2008 sale el sistema operativo Android de Google; siendo estos los que permanecen actualmente.

Por otra parte, la evolución de la capacidad de proceso de los teléfonos móviles ha sido incesante. En 1997, Nokia lanzó el Communicator, con una CPU derivada de un Intel 386 y 8 MB de RAM. El primer iPhone venía con un procesador ARM1176 a 412 MHz y 127 MB de RAM. En 2019 el iPhone 11 venía con su procesador A13 Bionic, diseñado en Apple, a 2,66GHz, 4GB de RAM y tecnología de 7nm.

También empezaba la era de las aplicaciones web, App, que utilizan navegadores para ejecutarse y, por lo general, están escritas en CSS, HTML5 o JavaScript. Así, en 2008

se produjo el lanzamiento del App Store de Apple y la publicación del primer SDK para Android. Obviamente, las aplicaciones nativas en los teléfonos fueron desapareciendo y también el micronavegador WAP.

El mercado de terminales, que había estado necesariamente intervenido y subvencionado por los operadores, que además tenían que introducir aplicaciones nativas, dejó de estar subvencionado por Telefónica en 2012. También, en 2012, se introdujo Fusión, la oferta convergente fijo-móvil de telefónica.

Los teléfonos no eran grandes consumidores de datos, no como hoy día que habitualmente se usan como modem a través de una conexión wifi, utilizando la función tethering. Así, en 2020 y en España, un total de 49,2 millones de líneas móviles accedieron a Internet a través de las redes móviles de comunicaciones móviles (2G, 3G, 4G y 5G). La mayoría de estas líneas, 47,9 millones, se conectaron a Internet a través de su teléfono móvil. El resto eran datacards o módems USB, también llamados “pinchos” USB. Estos fueron creciendo hasta llegar a un máximo de 3,4 millones en 2010, para después decrecer hasta 1,5 millones en 2021. Telefónica desarrolló un programa de PC “escritorio Movistar” que facilitaba su instalación y funcionamiento.

En 2007 Amazon lanza el libro electrónico Kindle. En 2010, Apple presentó el iPad, basado en su exitoso iPhone, y alcanzó un notable éxito comercial. Le siguieron prácticamente todos los fabricantes de equipos electrónicos. Suelen incluir opcionalmente conexión a 3G, 4G, pero Wifi en todas. Pero realmente, con un móvil se tiene acceso a internet.

Por primera vez, el tráfico de datos a través de teléfonos móviles fue en diciembre de 2009 superior al de voz en todo el mundo. También el tráfico en las redes 3G superó al de las redes 2G, cuando había solo 400 millones de suscripciones de banda ancha móvil, por los 4.600 millones de suscriptores de móviles 2G en todo el mundo. Este aumento en el tráfico de datos fue posible gracias a las conexiones a redes sociales en dispositivos móviles y al tráfico 3G desde los PC.

4.4 Desacoplamiento entre tráfico e ingresos

Con datos de la CMT, en 2002 los servicios GPRS representaban un 0,1% de los ingresos totales en telefonía móvil. En 2006, ya con UMTS, el tráfico de datos en redes UMTS/GPRS representaba el 3,3% del total facturado. En 2010, habiendo desplegado HSPA, el tráfico de datos representaba un 10% del total facturado. Los ingresos la banda ancha móvil representaba en 2020 un 60% de los ingresos totales.

Como consecuencia del incremento de tráfico que se iba produciendo con la banda ancha móvil los operadores debían buscar un modelo de crecimiento que permitiera acompañar el aumento del tráfico con el de los ingresos. Algo que se producía de forma natural en el caso de la voz (ya que se tarificaba por tiempo de conversación), pero no en el de los datos, donde la influencia del modelo seguido por las redes fijas, basado en tarifas planas, suscitaba el riesgo de exigir inversiones cada vez mayores en infraestructura de red sin contrapartidas equivalentes en los ingresos. O sea, se estaba

produciendo un desacoplamiento entre el tráfico y los ingresos. Se planteaba el reto de conseguir estrategias y mecanismos de incremento de capacidad y velocidad con mínimos costes incrementales.

Desde esta perspectiva, el operador de la red debe dimensionar la capacidad de la red de radio con el fin de satisfacer en cada momento la demanda agregada del conjunto de usuarios de una manera económicamente factible.

La solución consiste en aplicar la fórmula de Shannon sobre la capacidad de un canal de comunicaciones, ver Figura 3. Así, para aumentar la capacidad se puede: densificar o aumentar el número de células, disponer de más espectro, o utilizarlo de una manera más eficiente mediante la tecnología.

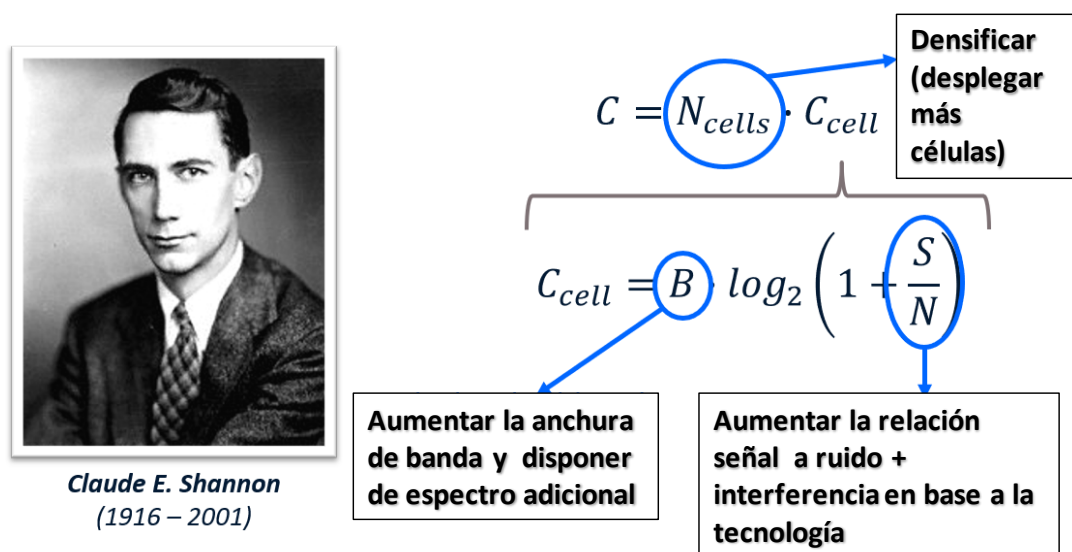


Figura 3. Fórmula de Shannon

Como se verá, en la evolución desde la 2G a la 5G se han aplicado estos factores para aumentar la velocidad de la transmisión de datos y aumentar la eficiencia espectral.

4.5 Disponer de banda es clave

Disponer de espectro suficiente ha sido esencial para facilitar esta evolución, comenzando por la atribución a nivel mundial, propiciada por las diversas Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR) de la UIT, de las bandas de frecuencia necesarias, y terminando por la asignación nacional de espectro a los operadores. En este sentido hay que agradecer que cada generación haya venido precedida de una atribución y asignación del ancho de banda necesario en las bandas apropiadas.

Así, en la Figura 4 se muestra la distribución del espectro asignado a Telefónica para móviles en España, con la cantidad de espectro en MHz, la banda, el año y la generación a la que primero se atribuyó. Telefónica siempre ha acudido a cualquier concurso o subasta para obtener de la Administración el espectro necesario.

Además, a partir de 2011 se aplica la Neutralidad Tecnológica: posibilidad de utilizar los diferentes sistemas o tecnologías armonizadas en el ámbito de la Unión Europea en las

distintas bandas de frecuencias. O sea, cada nueva generación dispone de espectro para su despliegue inicial y después, a voluntad del operador, puede utilizar otras bandas.

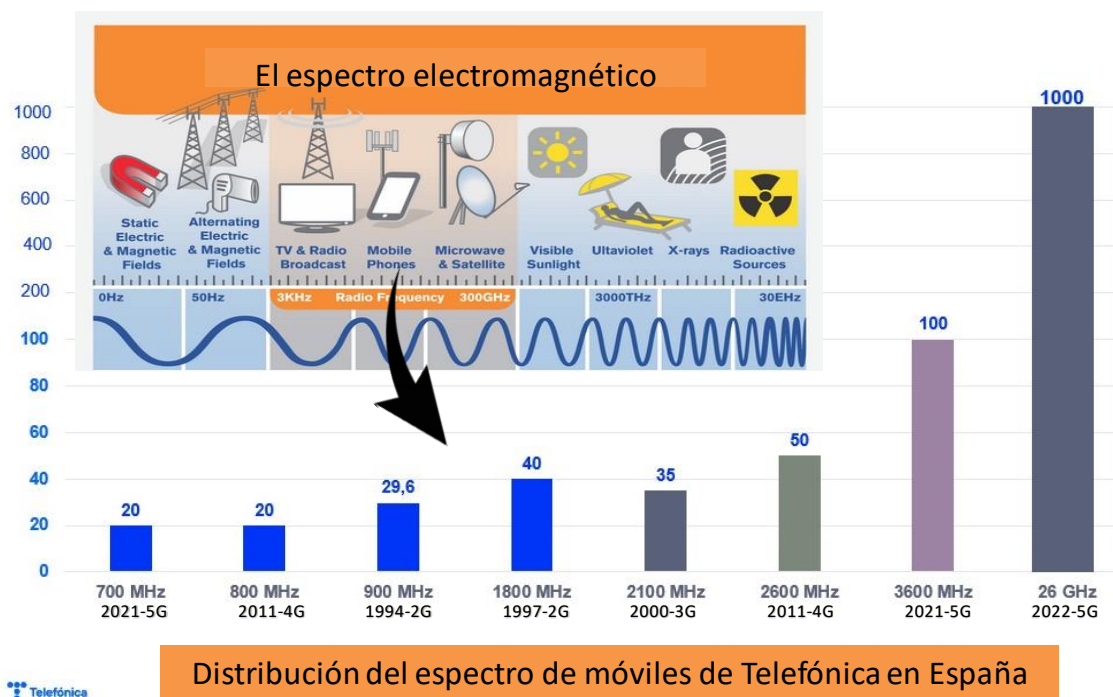


Figura 4. Espectro asignado a Telefónica

La secuencia temporal en España ha sido: 1994: 900 MHz para GSM/2G; 1997: 1.800 MHz para ampliación de GSM/2G; 2000: 2.100 MHz para despliegue inicial de UMTS/3G; 2011: 800 MHz y 2.600 MHz para despliegue inicial de LTE/3G y LTE-A/4G; 2021: 3600 MHz para LTE-A/4G y despliegue inicial de 5G; 2021:700 MHz para 5G y 2022: 26 GHz para 5G.

La mayoría de las bandas se han asignado para operación dúplex en frecuencia, FDD (frecuencias portadoras diferentes en enlace ascendente y descendente), salvo algunos segmentos de banda y las bandas de 3600 MHz y 26 GHz, que se han asignado para duplexación temporal (misma frecuencia en los dos sentidos de enlace) y que exige la sincronización de todas las frecuencias portadoras de todas las redes en una misma zona.

4.6 Más velocidad en la 3G

De las primeras fases de UMTS pronto se pasó a la paulatina introducción de un primer paquete de mejoras englobado bajo las siglas HSPA (High Speed Packet Access), que incluye diversas mejoras tendentes a proporcionar mayores velocidades; entre ellas, el uso de modulaciones multinivel (en línea con lo que en su momento se hizo en GSM con el EDGE), que en este caso llegan incluso a 16 niveles, lo que supone multiplicar la velocidad por cuatro con respecto a modulaciones binarias (si bien con el matiz de que

semejantes aumentos solo se consiguen para enlaces radio de buena calidad, esto es, para radios de cobertura bastante cercanos a la célula o, lo que es lo mismo, para porcentajes bajos de la superficie de las células). HSPA puede desglosarse en mejoras para el enlace descendente, agrupadas bajo las siglas HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) que daba velocidades de pico de 14,4 Mbit/s y para el ascendente, que en este caso se engloban en las siglas HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), que daba velocidades de pico de 5,7 Mbit/s. Telefonica puso en servicio la tecnología HSPA en 2007.

Otro paquete de mejoras fue la tecnología HSPA+, con nuevos incrementos de velocidad y reducción de latencias, llegando hasta modulaciones QAM de 64 niveles y el uso opcional de técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output), basadas en el establecimiento de varios canales simultáneos mediante varias antenas de emisión y recepción. La velocidad de pico en bajada llega a 28 Mbit/s y hasta 42 Mbit/s con MIMO. Telefónica puso en servicio esta tecnología en 2010.

HSPA+ puede considerarse como el conjunto de soluciones técnicas que permiten sacar el máximo partido a la norma UMTS conforme a la técnica de acceso CDMA. Aunque todavía se desarrolló la tecnología Dual Cell HSPA que unía dos portadoras de 5 MHz para alcanzar una velocidad de pico en bajada de 42 Mbit/s, y que Telefónica puso en servicio también en 2010.

4.7 Génesis de la casi 4G. LTE

Lo que hizo el 3GPP para ir más allá del UMTS fue precisar lo que ellos definen como la evolución a largo plazo del UMTS (LTE o Long Term Evolution), que no es otra cosa que identificar una nueva interfaz radio, basada en una nueva tecnología de acceso. Se abandona por tanto el CDMA y se pasa a otra solución, en este caso la denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Access).

OFDMA es una suerte de segunda juventud del viejo FDMA, basado en situar cada transmisión en una frecuencia diferente. Solo que ahora lo que se hace es repartir la señal en banda base entre un conjunto de subportadoras. Así, si por ejemplo se desea transmitir una señal digital de 100 Mbit/s, y se dispone de 100 subportadoras, cada una de ellas se modularía con una señal de 1 Mbit/s. La ventaja con FDMA consiste en que ya no es necesario separar en exceso las subportadoras debido a que, merced a que sus frecuencias son múltiplos enteros de una misma frecuencia, se consigue que los espectros de todas ellas se puedan situar muy cerca, de tal manera que los máximos de cada una coinciden con los nulos de los de las demás. Esta imbricación ortogonal de los espectros, sin que se interfieran los unos con los otros, es lo que se esconde detrás de la "O" de OFDMA, y es una de sus señas de identidad. De acuerdo con esta manera de organizar las transmisiones, a cada usuario en un momento determinado se le puede asignar un conjunto de subportadoras durante un lapso de tiempo dado, lo que en la jerga de la norma se denomina como chunk (pedazo); por tanto, ahora el sistema goza de dos parámetros para organizar las transmisiones: las subportadoras y las ventanas de tiempo.

Es una técnica que permite aliviar la interferencia intersímbolo debido al desvanecimiento selectivo del canal cuando se amplía el ancho de banda del canal.

LTE es por tanto una nueva interfaz radio, un nuevo sistema que, sin embargo, no cabe calificar como de 4G, sino de 3G. De hecho, la UIT lo considera una evolución de la interfaz UMTS de IMT-2000. Los cambios que supone LTE van más allá del simple incremento de velocidad, ya de por sí importante. De entrada, es una norma capaz de manejar canales sensiblemente mayores o menores que los del UMTS (5 MHz), ya que está pensada tanto para despliegues en zonas donde solo se disponga de retazos de bandas, como para otras donde exista la posibilidad de canales de hasta 20 MHz. Las mayores velocidades se consiguen, obviamente, con estos últimos canales de 20 MHz, alcanzando picos de 100 Mbit/s en bajada y picos de 50 Mbit/s en subida. Además, recurre a las técnicas MIMO, alcanzando 150 Mbit/s en bajada y 75 Mbit/s en subida con MIMO 2x2 (dos antenas de transmisión y dos de recepción).

Asimismo, LTE supone el triunfo de lo que en GSM fue un añadido posterior: el dominio de paquetes para GPRS. Y ello es así porque la arquitectura LTE supone el siguiente gran salto cualitativo en la arquitectura de los sistemas móviles de la familia 3GPP, donde desaparecen algunos elementos que hasta ahora venían siendo habituales: en concreto los controladores de estaciones de base y el dominio de circuitos. Con LTE toda la información, incluida la vocal, adopta la forma de paquetes de datos y es tratada como tal dentro de un solo dominio, el de paquetes, que constituye el núcleo de red conforme a una nueva arquitectura denominada EPC (Enhanced Packet Core), ver Figura 5.

Como no existe el dominio de circuitos conmutados para manejar las llamadas de voz, tal y como ocurría en las tradicionales redes 2G/3G, el 3GPP previó una solución de repliegue de la voz por conmutación de circuitos CSFB (Circuit Switched Fallback) para las etapas iniciales de despliegue de LTE o hasta que el operador desplegara otro nuevo dominio IMS (IP Multimedia Subsystem). Así, aunque para las comunicaciones de datos se utilizara LTE, a través de CSFB el terminal es redirigido a la red 2G/3G para iniciar o recibir una llamada de voz y la llamada permanece en el dominio de circuitos conmutados hasta que es completada.

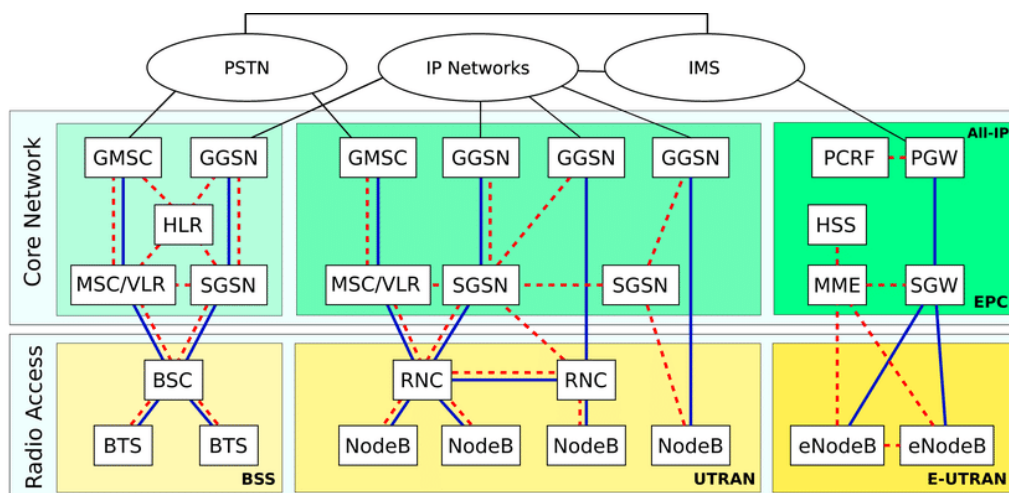


Figura 5. Evolución del núcleo de red

Telefónica desplegó LTE con CSFB en 2013 usando la banda de 1800 MHz, 2600 MHz de manera muy puntual cuando en algunos emplazamientos se llenaba la banda de 1800 MHz. Y la banda de 800 MHz en 2015, cuando fue liberada por el denominado dividente digital de la banda de UHF de televisión.

4.8 Ahora si la 4G

LTE fue el primer paso hacia la 4G, que siguió un esquema muy parecido al de la 3G, dentro del marco general en la UIT en 2008, que ahora toma el nombre de IMT-ADVANCED. Los objetivos globales de esta nueva generación estaban en torno a los 100 Mbit/s (para toda la célula) en pleno movimiento (con usuarios moviéndose hasta a 250 km/h), y 1 Gbit/s en situaciones estáticas. En 2010, la UIT aprobó LTE-Advanced (3GPP Release 10) como estándar de la nueva generación 4G. El otro era el Wimax (802.16m del IEEE.).

El LTE avanzado LTE-A es una mejora sobre LTE y cumple con todos requisitos estándar para una red 4G. El LTE-A es hasta un 50% más rápido que el LTE con velocidades de banda ancha en bajada que comienzan alrededor de los 200 Mbit/s.

La diferencia principal con el LTE estándar es el manejo de las bandas de frecuencias disponibles. EL LTE-A usa varias bandas de frecuencia y antenas de manera simultánea para transmitir y recibir señales. Esto se llama agregación de portadoras y reduce ampliamente la congestión mientras aumenta el ancho de banda y la velocidad de la conexión. También se mejoran las técnicas de MIMO y conformación de haces de las antenas.

En 2020 y en España, un total de 38,9 millones de líneas móviles accedieron a redes provistas de tecnología 4G.

Pero, como se ha indicado, el núcleo de red EPC debe facilitar la voz sobre IP (VoIP) o, en este caso, la voz sobre LTE, VoLTE. Para ello se necesitaba añadir el nuevo dominio

IMS y también de la función SRVCC (Single Radio Voice Continuity) para el handover entre LTE y 2G/3G y viceversa.

El IMS, que había sido definido por el 3GPP, encontró su primera aplicación para la voz sobre IP, VoIP, en las redes fijas de nueva generación, NGN. Así, Telefónica despliega el primer dominio IMS en 2004 para los primeros clientes con VoIP pero, debido a la complejidad de la arquitectura y de la ausencia de terminales, no fue hasta 2015 que se finalizaron las pruebas de VoLTE; y se lanzó el servicio en Colombia, Perú y Argentina en 2016. En 2019 en México y España.

Con VoLTE nació la Voz 4G, de mayor calidad y que proporciona funciones avanzadas como las Llamadas WiFi, que permiten extender la cobertura móvil a los accesos WiFi. También el servicio RCS (Rich Content Suite), conocido por su nombre comercial Joyn o por “el WhatsApp de las operadoras”, para realizar videollamadas, mensajería instantánea, transferencia de ficheros, etc.

Gracias a la Voz 4G, el smartphone permanece en cobertura 4G pudiendo simultanear la llamada con otras conexiones de datos a máxima velocidad. Todos los smartphones homologados por Telefónica desde principios de 2021 son compatibles con VoLTE.

Con estas tecnologías VoLTE y VoIP se inicia el fin de la conmutación de circuitos, tanto en las redes fijas como móviles, y la paulatina desaparición de la 3G.

4.9 Incorporación del internet de las cosas

Pronto se vio que las líneas M2M con GSM/GPRS, que solo han alcanzado 7,6 millones en España en 2020, eran incapaces de conectar 50.000 millones de dispositivos del internet de las cosas IoT que se pronosticaban para 2020. Aparte lo exagerado de la previsión, la industria empezó, sobre los 2005, a desarrollar tecnologías para máquinas y redes de sensores de corto alcance: NFC and RFID, Low-Energy Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi); y también, sobre los 2010, para largo alcance LPWA (Low Power Wide Area) con dispositivos de bajo consumo y datos a baja velocidad: LoRa, Sigfox, etc. Como respuesta a estas iniciativas el 3GPP definió también tecnologías para LPWA en la Release 13 de 2016; NB-IoT y LTE-M.

La tecnología NB-IoT (Narrowband IoT) se utiliza para dispositivos distribuidos de manera masiva. Con un ancho de banda de 180 kHz, velocidad de datos <100 kbit/s, latencia entre 1,5 y 10 s y duración de batería en torno a 10 años.

La tecnología LTE-M (Long Term Evolution for Machines) o CAT-M1, utiliza las antenas LTE instaladas y está optimizada para un ancho de banda mayor y para conexiones de móvil que incluyan voz (VoLTE). Con un ancho de banda de 1,4 MHz, velocidad de datos hasta 1 Mbit/s, latencia entre 50 y 100 ms y duración de batería en torno a 10 años.

A principios de 2020 Telefónica contaba con más de 2,6 millones de líneas IoT con tecnologías NB-IoT y LTE-M. Estos dispositivos utilizan eSIM (electronic SIM).

4.10 Hemos dejado cosas. Génesis de la 5G

En toda la evolución de la telefonía móvil, y después de la banda ancha móvil, hemos dejado atrás otros sistemas de radiocomunicación que han evolucionado bastante menos.

Uno de ellos son los sistemas móviles utilizados para seguridad y emergencia o Radiocomunicaciones para protección pública y operaciones de socorro (PPDR, public protection and disaster relief). Si bien en EE UU han evolucionado estos sistemas utilizando la tecnología LTE al menos para banda ancha móvil, en Europa y España se siguen utilizando sistemas derivados de las generaciones 1G (Tetrapol) y 2G (Tetra), que adolecen de las facilidades de la banda ancha móvil. En este sentido la 5G, previendo su utilización en este tipo de servicios, ha definido requisitos específicos, agrupados en la denominación URLLC y que incluye todo tipo de servicios críticos basados en comunicaciones ultra fiables y de baja latencia; no solo los sistemas PPDR sino también los Vehículos autónomos (Self-Driving), Comunicación entre vehículos (VXC), Industria 4.0, etc.

Otras tecnologías las de LPWA para IoT han sido definidas, como se ha visto, en el marco de la 4G, pero todavía no han conseguido volúmenes masivos al nivel que se esperaba. Aunque requieren poca velocidad de transmisión, algunas aplicaciones necesitan una baja latencia y una probabilidad de error muy baja; lo que sin duda les podrá dar la 5G IoT, para la UIT ha definido

La demanda de datos sigue aumentando, por lo que es necesario proveer más bandas de frecuencia y seguir aumentando la velocidad y eficiencia espectral. Por esto, en 5G se han definido unos requisitos mínimos para los servicios que precisan de banda ancha mejorada, eMBB.

Muchas de los requisitos aplican a las empresas, pero hay una función que aplica directamente a ellas, el Network Slicing (rebanada o rodaja red); que es la tecnología de núcleo de red en 5G que permite brindar capacidades específicas a diferentes servicios y clientes. Permite ejecutar múltiples redes lógicas virtualmente independientes en una única infraestructura física común, de una manera eficiente y económica. Ofrece la posibilidad de crear sobre una infraestructura física común compartida varias redes virtuales personalizadas. En función de las necesidades específicas de aplicaciones, servicios, dispositivos, clientes u operadores.

También el Wifi cabe en la 5G, no porque no haya evolucionado, sino que siempre ha seguido un camino paralelo, utilizándose de manera indirecta por los móviles, bien pasando a wifi en casa, bien haciendo repetición por Wifi (tethering). Pero ahora la 5G permite integrar bandas no licenciadas, en especial el WI WIFI6, también con tecnología OFDMA, en la Nueva Radio (NR-U), lo que va a proporcionar 1.200 MHz adicionales en la banda de 6 GHz.

Teniendo en cuenta lo anterior, la UIT publicó en 2017 los requisitos mínimos de la IMT-2020 o 5G en el interfaz radio para la banda ancha móvil mejorada eMBB, las

comunicaciones ultrafiabiles y de baja latencia URLLC y las comunicaciones masivas tipo máquina mMTC. Para el escenario eMBB la velocidad de pico debía superar 20 Gbit/s en bajada y 10 Gbit/s en subida, con una eficiencia espectral de 30 y 15 bit/s/Hz, respectivamente. Además, definió la velocidad de datos experimentada por el usuario con un requisito de 100 Mbit/s en bajada y 50 Mbit/s en subida. En cuanto a latencia esta debería ser menor de 4 ms para eMBB y menor de 1 ms (5G es la tecnología del milisegundo) para escenarios URLLC. Y una velocidad mínima de 500 km/h, válida para trenes de alta velocidad en escenarios eMBB rural. Los requisitos mínimos de las comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) son de una vida útil de la batería del dispositivo de al menos 10 años (preferentemente, 15 años), ampliación de cobertura de 20 dB y soporte para un millón de dispositivos por kilómetro cuadrado.

4.11 La 5G ya se está desplegando

La 5G incluye dos tecnologías para la interfaz radioeléctrica: E-UTRA/LTE de la 4G y que define un despliegue 5G NSA (Non-standalone) y Nueva Radio NR, que define un despliegue 5G SA (Stand Alone). Ambas tecnologías están diseñadas para funcionar en el espectro IMT de la 5G.

En 2020. Telefónica lanza su red 5G en España, que se realizará en dos fases. Para la primera se utilizará 5G NSA en la banda de 3500 MHz. También utilizará las bandas medias (1800 MHz y 2100 MHz) del 4G para ofrecer servicios 5G aprovechando la tecnología DSS (Dynamic Spectrum Sharing). Para desplegar inmediatamente después la red 5G SA, cuando la tecnología esté plenamente disponible.

La técnica de compartición dinámica del espectro DSS aporta una gran flexibilidad en la gestión del espectro, permitiendo que una portadora LTE sea utilizada simultáneamente por servicios LTE y NR, lo que facilita el traspaso del tráfico LTE a NR. Además, el problema de cobertura que plantea el despliegue de NR en bandas milimétricas, 26 GHz, se resuelve con implementando DSS en portadoras de bandas bajas agregando portadoras de bandas altas.

Asimismo, este despliegue inicial está haciendo uso de los emplazamientos e infraestructuras actuales aprovechando la posibilidad de usar equipo Nueva Radio NR (New Radio) que puede funcionar en ambas tecnologías, 4G y 5G a la vez. A medio y largo plazo, se irá complementando con nuevas estaciones base y microcélulas (small cells), según la capacidad o cobertura lo requieran.

En cuanto a la NR, se mantiene la OFDM básica de LTE-4G dotándola de gran flexibilidad, con opción de enventanado (windowing) y filtrado (filtering) para confinar el espectro, en caso de múltiples servicios que compartan la misma portadora y se amplían las modulaciones multinivel a 256 QAM.

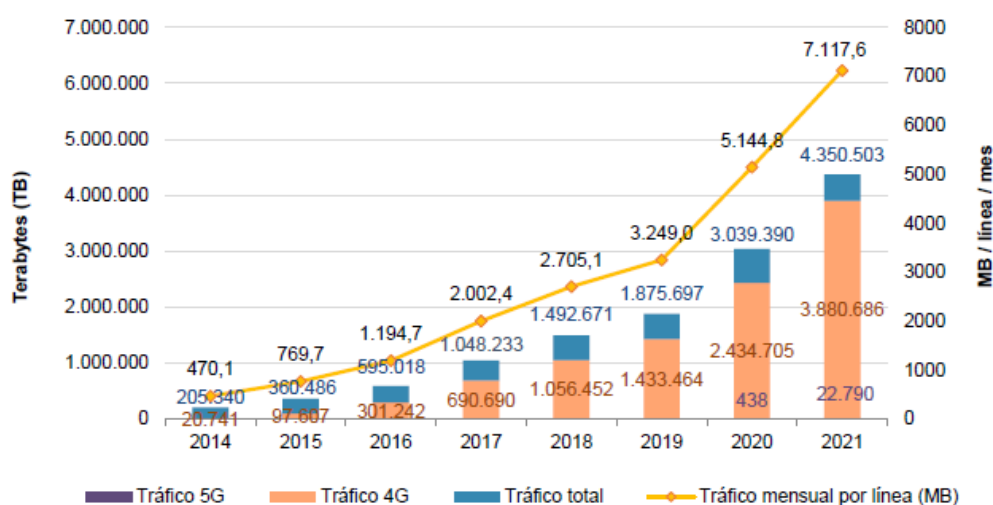
También, indicar que Telefónica y Ericsson han realizado con éxito una prueba de concepto por la que querían demostrar las capacidades del Network Slicing. Se ha incluido la partición dinámica de recursos de radio y se ha logrado en primera fase la automatización extremo a extremo del Network Slicing en redes 5G Standalone.

Finalmente, también se ha empezado en 2022 el despliegue del 5G en la banda de los 700 MHz, que se utiliza para alojar únicamente la cobertura de 5G

4.12 Conclusión

La Figura 6 muestra la evolución del tráfico de datos hasta 2021, pero no incluye el tráfico total de datos consumido por los móviles en su totalidad. Esto se debe a que un porcentaje muy elevado de estos dispositivos también se conecta a Internet a través de redes inalámbricas WiFi. Así, el 76,1% de los usuarios con smartphone declararon conectarse habitualmente a redes WiFi, mientras que únicamente el 10,4% recurrió exclusivamente a las redes de móvil para acceder a Internet.

Tráfico total y mensual por línea (TB y MB/línea/mes)



Fuente: CNMCDATA

Figura 6. Evolución del tráfico de datos

Y ello ha sido posible, como se indicaba en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** gracias a la disponibilidad de bandas y a la eficiencia en el uso del espectro de las diferentes tecnologías empleadas en las generaciones 3G, 4G y 5G, la que se resume en la tabla siguiente.

	Tecnología	Ancho de banda de la portadora	Velocidad de pico en el enlace descendente	Velocidad de pico en el enlace ascendente	Latencia	Espectro inicial (MHz)	Eficiencia espectral de pico (bit/Hz)
2G	GSM/GPRS	200 kHz	114 kbit/s	58 kbit/s	500 ms	900/1800	0,17
	EDGE (MC-9)		236 kbit/s	118 kbit/s	300 ms		0,33
3G	WCDMA	5 MHz	384 kbit/s (2 Mbit/s)	384 kbit/s	250 ms	2100/900	0,51
	HSPA	5 MHz	14,4 Mbit/s	5,7 Mbit/s	70 ms		2,88
	HSPA+ (64QAM+Dual)	5 MHz 5+5 MHz	28 Mbit/s (42 Mbit/s)	14 Mbit/s	30 ms		12,50
	LTE	Hasta 20 MHz	100 Mbit/s	50 Mbit/s	10 ms	2600/800	16,32
4G	LTE-Avanzado	Hasta 100 MHz	1 Gbit/s	>500 Mbit/s	5 ms		Bajada >30 Subida >15
5G	5G-NR	Hasta 1 GHz	20 Gbit/s	10 Gbit/s	4 ms (eMBB) 1 ms (uRLLC)	700/3500/ 26 GHz	Bajada >30 Subida >15

Los nuevos despliegues de 5G irán acompañados de un paulatino apagado de las antiguas redes de segunda y tercera generación. El 100% de la red de cobre habrá sido sustituida por fibra antes de 2025, cuando también finalizará el apagado de la red 3G.



www.telefonica.com