

---

# Comunicaciones celulares

---

PID\_00247332

Jesús Alonso-Zárte

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 2 horas

---



Universitat  
Oberta  
de Catalunya

---

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

# Índice

<b>Introducción</b> .....	5
<b>Objetivos</b> .....	6
<b>1. ¿Por qué existen las redes celulares?</b> .....	7
<b>2. ¿Cómo funcionan las redes celulares?</b> .....	9
<b>3. ¿Qué son las generaciones de redes celulares?</b> .....	11
<b>4. La segunda generación (2G)</b> .....	13
4.1. Introducción .....	13
4.2. GSM .....	13
4.2.1. La capa PHY .....	13
4.2.2. La capa MAC .....	14
4.2.3. Tipos de tráfico .....	15
4.3. GPRS .....	15
<b>5. La tercera generación: UMTS (3G)</b> .....	16
5.1. La capa PHY .....	16
5.2. La capa MAC .....	16
5.3. Tipos de tráfico .....	17
<b>6. La cuarta generación (4G)</b> .....	18
6.1. Introducción .....	18
6.2. Descripción de la tecnología LTE .....	19
<b>7. La generación de las máquinas (IoT)</b> .....	21
7.1. Introducción .....	21
7.2. EC-GSM .....	23
7.3. LTE-M .....	23
7.4. NB-IoT .....	25
7.5. Conclusiones .....	26
<b>8. La quinta generación (5G)</b> .....	28
<b>Resumen</b> .....	29



## Introducción

En este material, se presentan los fundamentos de las redes de comunicación celulares basadas en estándares, así como el rol que juegan dentro de la industria 4.0.

En contraposición con las tecnologías LPWA propietarias que hemos visto en el material «Comunicaciones LPWA», en este material vamos a describir las tecnologías públicas y estandarizadas basadas en los sistemas de comunicación radio que, hasta hoy, han dado cobertura, por ejemplo, a nuestros teléfonos móviles.

La llegada del internet de las cosas, que ha promovido nuevos conceptos como el de industria 4.0, ha hecho que estas tecnologías evolucionen para satisfacer, también, las necesidades de las comunicaciones entre máquinas, llamadas **comunicaciones M2M** o **MTC**, del inglés *machine-to-machine* y *machine-type communications*, respectivamente.

Como veremos, las comunicaciones M2M o MTC son radicalmente diferentes a las comunicaciones de banda ancha (MBB, *mobile broad band*) para las que se han ido diseñando y se han hecho evolucionar los sistemas de comunicación celulares hasta ahora.

En la primera parte de este material se presentan, de modo general, los principios de las redes celulares; entre otros, se presentan los conceptos de celdas, cobertura, *hand-over* y *roaming*, así como planificación frecuencial (reutilización de frecuencias) y arquitectura de gestión de red. Estos conceptos son fundamentales para poder presentar la segunda parte de manera clara y sencilla, y entender los criterios que se imponen para poder comparar las diferentes tecnologías disponibles. Esto es fundamental para la toma de decisión sobre conectividad relativa a las aplicaciones de la industria 4.0.

En la segunda parte de este material, describimos las diferentes generaciones de comunicación celular, resumimos sus principios de operación y valoramos, en cada caso, sus ventajas e inconvenientes para el uso en aplicaciones de la industria 4.0. En este recorrido, veremos las tecnologías GSM/GPRS de segunda generación, la tecnología UMTS de tercera generación (3G), la tecnología LTE de cuarta generación (4G), así como las tecnologías específicas para las comunicaciones entre máquinas: LTE-M, EC-GSM y NB-IoT. Finalmente, también describiremos brevemente la motivación para una quinta generación de comunicaciones radio, la denominada 5G.

Es importante recalcar que no es objetivo de este contenido ofrecer una descripción detallada de las diferentes tecnologías, sino presentar una visión general de las alternativas existentes para sentar los cimientos de un criterio crítico a la hora de seleccionar una u otra tecnología para cada una de las aplicaciones de la industria 4.0.

## Objetivos

Los objetivos de este material, dedicado a las redes de comunicación celulares públicas basadas en estándares, son:

- 1) Entender por qué existen las redes celulares y qué rol juegan dentro del contexto de la industria 4.0.
- 2) Entender los principios de funcionamiento de las redes celulares.
- 3) Conocer las generaciones de redes celulares y los organismos que promueven la definición de las especificaciones técnicas de estas tecnologías.
- 4) Adquirir un conocimiento global de las generaciones tecnológicas existentes, para comprender sus bonanzas y limitaciones para aplicaciones en la industria 4.0.
- 5) Desarrollar un criterio crítico para valorar en qué casos puede resultar interesante, y en cuáles no, contemplar las redes celulares como la solución de conectividad para nuestra aplicación de industria 4.0.

## 1. ¿Por qué existen las redes celulares?

Las redes celulares a las que nos referimos en este material son:

- Redes **públicas**, accesibles por cualquier persona/empresa/entidad a cambio de un pago por suscripción.
- Redes basadas en **estándares**, promovidos por el 3GPP.
- Redes de tipo **celular**, organizadas por celdas o células, que permiten la reutilización de frecuencia.
- Redes con **coberturas de pocos kilómetros**.
- Redes que ofrecen **tasas de transmisión de datos** del orden de entre los pocos kbps y pocos Gbps, en las versiones más actuales de la tecnología.

### Ejemplo

Los teléfonos móviles personales (*smartphones*) se conectan a redes celulares para ofrecernos servicios de voz y de datos. Estos servicios los obtenemos a cambio del pago de una suscripción mensual o a través de tarjetas de prepago. Los operadores de redes ofrecen dichos servicios a cambio de sus tarifas, fijadas libremente según las normas del libre mercado.

### Información adicional

El 3GPP es el 3rd Partnership Project; una alianza de fabricantes de equipos, operadores y otros actores de las redes de comunicaciones, que promueve la definición de estándares para el despliegue y la explotación comercial de redes públicas de comunicaciones celulares. Más información en: <http://www.3gpp.org/>

Este tipo de conectividad resulta muy interesante porque ofrece, entre otras cosas:

- 1) Mucha **seguridad** y **fiabilidad en las comunicaciones**, ya que a día de hoy son las únicas redes de comunicaciones públicas sin cable que trabajan en **espectro licenciado**.
- 2) Tecnología abierta y completamente **estandarizada, certificada** y **regulada**.
- 3) **Cobertura** en un ámbito prácticamente global.
- 4) **Movilidad**, dado que es posible establecer y mantener una conexión de voz/datos estando en movimiento, incluso a altas velocidades.
- 5) Posibilidad de **roaming**, es decir, de establecer y/o mantener una conexión de voz/datos en movimiento e independientemente del país de conexión.

El primer punto es particularmente interesante, en comparación con las soluciones vistas en materiales anteriores, debido a que la operación en bandas licenciadas permite controlar mucho mejor la interferencia entre sistemas y evitar los problemas que suelen darse en la operación en bandas ISM. Estos problemas de interferencia se dan, sobre todo, en zonas con multitud de redes desplegadas de manera simultánea.

Aunque inicialmente se diseñaron estas redes para la transmisión de voz, es decir, para hablar entre personas, desde el éxito rotundo comercial de la segunda generación de telefonía móvil, la 2G basada en GSM en los años noventa, la cantidad de datos que se han transmitido a través de redes celulares ha crecido, año tras año, de manera exponencial. El tráfico que se espera servir a través de las redes celulares para el año 2020 en un ámbito mundial es de unos 120 Exabytes, es decir,  $10^{18}$  bytes. Un número realmente elevado.

Por lo tanto, este tipo de conectividad va a jugar un papel fundamental en el desarrollo de la industria 4.0.

## 2. ¿Cómo funcionan las redes celulares?

Las redes celulares estándar, tal y como las conocemos hoy día, son redes de comunicaciones en las que hay, por lo menos, las siguientes cuatro partes:

- 1) *Radio access network* (RAN), acceso radio.
- 2) *Backhaul network*, o red de enlace entre acceso radio y corazón de la red.
- 3) *Core network*, o corazón de la red.
- 4) *Transport network*, o red de transporte.

En una red celular, los **terminales o dispositivos de usuario** pueden comunicarse con la red a través de la RAN. Estos son terminales con capacidad de movimiento que pueden transmitir voz y/o datos en los enlaces de subida y de bajada. Su punto de acceso a la red de comunicaciones se llama **estación base**, en contraposición con el concepto de **punto de acceso** de las redes Wi-Fi, por ejemplo. En cualquier caso, se trata de detalles semánticos, ya que el concepto es el mismo: se trata de un elemento de coordinación y concentración de tráfico de la red de acceso radio.

Cada estación base tiene un equipo de radiofrecuencia que le permite conectarse e intercambiar información con todos los dispositivos o terminales en su área de cobertura que también estén equipados con un equipo de radiofrecuencia que use los mismos protocolos de comunicación. La zona de cobertura de una estación base se llama **célula**.

Para reducir la interferencia entre células, cada estación base trabaja en una banda de frecuencia diferente. Cuando las estaciones base están suficientemente separadas, la **banda de frecuencia o canal** se puede **reutilizar**. Esto se denomina «reutilización de frecuencias», y requiere que los operadores lleven a cabo una cuidadosa planificación de red para asignar canales de frecuencia separados a cada célula, de manera que la interferencia sea mínima.

Para desarrollar esta planificación de red, las células suelen representarse a través de hexágonos en un plano 2D. Aunque realmente el rango de cobertura de una estación base no se puede delimitar con una línea recta, como vimos en el módulo de propagación radio, este esquema de células hexagonales resulta muy práctico y, como aproximación para llevar a cabo tareas de planificación en un ámbito teórico, es válido. Cabe decir en este punto que, en la práctica real, se combinan los modelos teóricos con modelos por simulación por ordenador, así como con medidas de cobertura en campo real.

Las diferentes estaciones base se conectan a través del *backhaul*. Este primer nivel de conexión de red suele ser cableado, aunque recientemente también se están generalizando los enlaces sin cables, dada la mayor capacidad y fiabilidad de las comunicaciones radio.

El *backhaul* conecta los elementos de la RAN entre sí, así como con los elementos de la red *core*. En el *core* de la red, los **servidores de red** ofrecen servicios tales como servicios de facturación, gestión de la movilidad, o gestión de determinados servicios como los mensajes de texto (SMS, del inglés *short messaging service*).

Finalmente, la red *core* se conecta con las **redes de transporte**, para interconectar diferentes redes de distintos operadores, así como interconectar redes en distintas partes del mundo, lo que eventualmente conforma lo que conocemos como **internet**.

Típicamente, existen operadores de red móviles (MNO, del inglés *mobile network operators*) que proveen, mantienen y operan la infraestructura de red. Estos operadores ofrecen suscripciones a los usuarios finales, que permiten a los terminales de usuario conectarse a la red a través de las redes de acceso.

Cabe destacar aquí también la existencia de operadores virtuales de red (VMO, del inglés *virtual mobile operators*). Estos subalquilan paquetes de recursos de conectividad de un MNO y los revenden a los usuarios finales. De cara al usuario, estos operadores se comportan como un MNO tradicional.

Las redes celulares son redes de transmisión de voz y datos en las que el acceso radio se hace en topología de estrella; los terminales o dispositivos móviles se asocian con una estación base, e intercambian datos/voz con la misma. La estación base, después, a través de la red *backhaul* y la arquitectura *core*, se conecta con otras redes privadas, o con la red pública de internet.

Para el objetivo que concierne a este material, y la aplicación de las redes celulares en la industria 4.0, la parte realmente relevante es la primera: la RAN, la red de acceso. Por este motivo, a partir de ahora, este material se centra únicamente en aspectos del acceso radio, ya que es el que tendrá un impacto a la hora de decidir qué tecnologías de conectividad queremos utilizar para nuestra aplicación específica en el contexto de la industria 4.0.

### 3. ¿Qué son las generaciones de redes celulares?

Las generaciones de las redes celulares, popularmente llamadas *redes de telefonía móvil*, denotan la evolución de la tecnología celular a lo largo de los años para la transmisión de voz y datos.

Cada nueva generación ha mejorado a las anteriores en distintos aspectos, y las nuevas generaciones mejorarán la tecnología actual hasta límites que, posiblemente, hoy no podamos ni imaginar.

La evolución de estas nuevas generaciones ha venido muy determinada por los requisitos que ha ido definiendo la International Telecommunications Union (ITU). La ITU-R (radio) ha ido formulando a lo largo del tiempo los requisitos necesarios para definir cada nueva generación. A partir de estos, los organismos de estandarización han trabajado en definir mejoras técnicas que permitan alcanzar los requisitos marcados.

Ahora introduciremos las principales generaciones de comunicaciones celulares que consideramos relevantes para la industria 4.0. En paralelo a estas, existen otras tecnologías, como el caso de WiMAX o de TETRA (*terrestrial trunked radio*), que o bien no tienen relevancia comercial hoy día, o bien tienen un uso muy específico para determinados sectores. Este es el caso de la tecnología TETRA, usada fundamentalmente por los cuerpos de seguridad del Estado (por ejemplo, diferentes cuerpos de policía), equipos de lucha contra el fuego (por ejemplo, bomberos), guarda forestal y servicios de atención y transporte de urgencias médicas (por ejemplo, ambulancias).

Un poco de historia: en 1990, se completó la especificación del estándar GSM, la primera generación de comunicaciones celulares digitales. Dado que hubo una generación anterior basada en comunicaciones digitales, GSM se considera la **segunda generación**, abreviado **2G**.

GSM fue un sistema fundamentalmente diseñado para la transmisión de voz, que basaba la comunicación en la conmutación de circuitos. Su adaptación a la transmisión de paquetes, esencialmente pensada para poder transmitir datos de manera más eficiente, se llama GPRS (*general packet radio service*). Esta es la conocida como **generación dos y medio**, abreviado **2,5G**.

Dado que la cantidad de datos transmitidos a través de las redes celulares continuaba evolucionando, el 3GPP continuó trabajando en la definición de un nuevo estándar evolucionado que pudiera ofrecer mayores tasas de transmisión de datos. Durante los

primeros años después del 2000, se lanzó el UMTS (*universal mobile telecom system*), considerado la **tercera generación**, abreviado **3G**.

Posteriormente, a finales del año 2008, se cierra la especificación *release 8* del 3GPP. Esta es la especificación de lo que denominamos *long term evolution (LTE)*. Esta es la primera generación diseñada para gestionar tráfico de internet «por diseño» (*All-IP*), y ofrece servicios de datos muy superiores a los que ofrecía la generación 3G. Esta nueva generación es la **4G**.

Actualmente, estamos viviendo una nueva evolución hacia una tecnología que, además de ofrecer mayor capacidad de transmisión de datos, también ofrezca servicio para lo que conocemos como el internet de las cosas (IoT), habilitado por la comunicación entre máquinas: M2M o MTC, que son términos intercambiables en general, a pesar de los matices que los separan.

En este nuevo escenario, lo que será la **quinta generación** de comunicaciones, (la **5G**), ofrecerá tasas de transmisión muy elevadas y, además, servicios avanzados para satisfacer las necesidades tanto de personas, como de dispositivos autónomos y máquinas automáticas. De algún modo, la quinta generación de redes celulares está siendo diseñada para la industria 4.0, para aplicaciones como por ejemplo *smart grids*, coches conectados, ciudades inteligentes o salud electrónica, entre otros casos de uso que veremos en el material «Perspectiva de futuro: el 5G» dedicado a la 5G.

Se prevé que 5G empezará a estar comercialmente disponible entre el 2019 y el 2020. En cualquier caso, como con el lanzamiento de cualquier nueva tecnología, existe bastante incertidumbre por saber cuándo se lanzará exactamente y cuándo tendrá una adopción masiva; no solo es necesario que los operadores desplieguen su infraestructura de red para 5G, también es necesario que los fabricantes de módulos de comunicaciones puedan ofrecer chips preparados para 5G y que los fabricantes de terminales, por ejemplo, teléfonos, los integren en sus dispositivos. Después viene el mercado. Por lo tanto, es incierto establecer una fecha exacta para la 5G, aunque en realidad existe mucha presión por lograr que llegue lo antes posible.

A pesar de esta evolución de la tecnología celular en generaciones, hoy día se siguen estableciendo muchas comunicaciones con 2G, GPRS, 3G y 4G.

En los próximos apartados, se describen las características fundamentales de las diferentes tecnologías, y se valora en todo momento su adecuación para satisfacer las necesidades de conectividad de las aplicaciones de la industria 4.0. Como se ha descrito anteriormente, el objetivo es lograr adquirir un conocimiento crítico para poder elegir entre las diferentes tecnologías disponibles, según nuestras necesidades y requisitos.

## 4. La segunda generación (2G)

### 4.1. Introducción

Se calcula que a principios del 2017, aproximadamente un 60 % de los dispositivos conectados a internet para aplicaciones profesionales, tipo máquina a máquina (M2M), usan conectividad celular de segunda generación, basada en GSM y GPRS. Estas tecnologías constituyen la primera generación comercial de telefonía móvil celular basada en comunicaciones digitales.

En los siguientes apartados describimos la tecnología GSM y GPRS, y centramos la discusión en sus cualidades para comunicaciones entre máquinas y, por lo tanto, su aplicación en la industria 4.0.

### 4.2. GSM

#### 4.2.1. La capa PHY

**GSM** es una tecnología de comunicación celular **mundialmente disponible** que opera, entre otras, en la bandas de 900 MHz y 1800 Mhz.

Si consideramos que en términos de propagación se logran alcances mayores con frecuencias más bajas, la operación en 900 MHz es muy apropiada para la mayoría de las aplicaciones de la industria 4.0.

Como vimos en el material «Comunicaciones LPWA» (dedicado a las redes LPWAN), una de sus características es la frecuencia de trabajo por debajo de 1 Ghz, justamente para lograr rangos de cobertura grandes y buena penetración a través de paredes y el subsuelo.

GSM define un control de potencia muy simple, que permite a los terminales cambiar su potencia de transmisión en saltos de 2 dB. Además, la modulación es GMSK, que genera una señal de envolvente constante. Estas dos características permiten trabajar con dispositivos de baja complejidad y bajo coste, de modo que son características muy adecuadas desde el punto de vista de las aplicaciones de la industria 4.0.

La velocidad de transmisión de datos de GSM es de 9,6 kbps; aunque no es muy elevada, resulta más que adecuada para una gran mayoría de las aplicaciones de monitorización, en las que la cantidad de datos que hay que transmitir es muy pequeña. Un claro ejemplo de aplicación de esta tecnología puede ser la monitorización de un punto de aparcamiento, o la medición de temperatura y humedad en campos de cultivo, que puede hacerse con periodos de tiempo largos y en la que la cantidad de datos que hay que transmitir es pequeña.

#### 4.2.2. La capa MAC

El duplexado en GSM es en frecuencia (se transmite en unas bandas de frecuencia y se recibe en otras), FDD.

La duplexación en frecuencia implica que los dispositivos deben ser capaces de operar en dos bandas de frecuencia al mismo tiempo y, por lo tanto, tener dos cadenas de radiofrecuencia (RF) trabajando a la vez.

Con el objetivo de reducir complejidad de los dispositivos y, de este modo, su coste, sería más interesante trabajar en modo TDD (duplexado en tiempo), lo que permitiría a los dispositivos contar con una única cadena de RF.

El acceso múltiple se gestiona a través de FDMA y TDMA, es decir, duplexado en frecuencia y multiplexación en tiempo.

Para ello, se definen 124 canales para el *uplink* (o enlace de subida entre dispositivos y estación base) y 124 canales para el *downlink* (o enlace de bajada entre la estación base y los dispositivos). **Cada canal tiene un ancho de banda de 200 kHz**, y los 124 canales de cada dirección (*uplink* o *downlink*) ocupan un total de 25 MHz. La separación entre dos pares de canales asociados (*uplink* y *downlink* para un dispositivo en concreto) están separados 45 MHz.

Cada canal se puede separar en 8 *slots* TDMA para la transmisión de datos.

Cuando los terminales se tienen que asociar con la red, lo hacen usando un canal dedicado para el acceso en el que las peticiones de acceso se hacen a través del protocolo de acceso aleatorio, denominado ALOHA. A modo de recordatorio, esta técnica quiere decir que los terminales intentan solicitar acceso cuando lo necesitan; si dos o más terminales solicitan acceso a la vez, se da una colisión y deben volver a intentarlo hasta tener éxito. Este mecanismo, dada su sencillez, ha sido aceptado en todas las generaciones de comunicación celular hasta hoy día (año 2017). Sin embargo, esta sencillez repercute en una probabilidad de congestión elevada a medida que el número de dispositivos simultáneos aumenta; por este motivo, cuando el internet de las cosas tenga aceptación mundial, estas técnicas de acceso se pueden convertir en un serio cuello de botella.

#### Información adicional

El canal de acceso se denomina en inglés *random access channel* (RACH), y es un elemento fundamental en el rendimiento de las redes de comunicación celular; se trata de la puerta de entrada de los dispositivos antes de poder intercambiar datos en las redes.

Por lo tanto, la capa MAC de GSM es realmente sencilla, y resulta así muy adecuada para las aplicaciones de la industria 4.0, aunque teniendo en cuenta la posible limitación a largo plazo que puede venir provocada por el acceso basado en ALOHA.

#### 4.2.3. Tipos de tráfico

GSM define 3 tipos de tráfico:

- 1) **Voz.**
- 2) **SMS:** permite el intercambio de paquetes de 160 caracteres de 7 bits, sin garantía de calidad de servicio (pero sí de entrega) y con una limitación de 10 SMS por minuto. El coste de este servicio puede ser muy elevado. Este tipo de servicio se suele usar en aplicaciones M2M para despertar dispositivos, reconfigurar, o hacer diagnóstico remoto.
- 3) **Datos:** permite establecer un circuito con 9,6 kbps asegurados. Puede ser suficiente para algunas aplicaciones, aunque insuficiente para otras.

#### 4.3. GPRS

Dado que GSM es un sistema diseñado esencialmente para voz (aunque, como hemos visto, también puede transmitir datos), GPRS, y su posterior versión EDGE, permiten transmitir datos de una manera más eficiente y ofreciendo mayores tasas de transmisión de información por segundo.

Simplificando, la tecnología GPRS se puede considerar que es la misma que GSM, añadiendo dos funcionalidades:

- 1) La posibilidad de asignar más de un *slot* de tiempo por canal a un mismo usuario.
- 2) La integración de técnicas adaptativas de codificación.

La tecnología EDGE consiste en una evolución de GPRS para aumentar la tasa efectiva de bits por segundo.

Con GPRS, se pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 60 kbps en el enlace de bajada y 40 kbps en el enlace de subida, usando una configuración de 3 *slots* de enlace de bajada + 2 *slots* de enlace de subida, o de 80 kbps de bajada y 20 de subida, con una configuración de 4 + 1.

Con EDGE, estas velocidades pueden llegar a ser de 236,8/59,2 kbps (*downlink/uplink*) en configuración 4 + 1 o de 177,6/118,4 kbps, en configuración de 3 + 2.

## 5. La tercera generación: UMTS (3G)

### 5.1. La capa PHY

La tercera generación, UMTS, trabaja en la banda de frecuencias alrededor de 2 Ghz. En comparación con GSM (que puede trabajar en la banda de 900 MHz), esta tecnología ofrece peores condiciones de cobertura radio.

En cuanto a la gestión de potencia, la tercera generación se basa en un tipo de tecnología, CDMA (que describimos en el material de «Fundamentos de comunicaciones»), que exige un control de potencia instantáneo. Esto resulta muy problemático para aplicaciones M2M en las que un terminal puede encontrarse en estado apagado y querer encenderse el mínimo tiempo posible para transmitir sus datos. El control de potencia instantáneo requiere tiempo; y tiempo es energía.

En cuanto a la modulación, como hemos dicho, la tercera generación se basa en técnicas de espectro ensanchado por código; CDMA. En este caso, la envolvente depende del código seleccionado, lo que hace mucho más compleja, y cara, la implementación de los dispositivos con capacidad de comunicación.

En cuando a la tasa de bits por segundo, UMTS ofrece tasas superiores a 100 kbps usando conmutación de paquetes, lo que resulta suficiente para un gran número de aplicaciones.

### 5.2. La capa MAC

Como en el caso de GSM, la tecnología 3G usa duplexado en frecuencia para separar enlaces de subida y de bajada. En este caso, sería más conveniente usar duplexado en tiempo, ya que reduciría la complejidad y el coste de los terminales.

En cuanto al acceso múltiple, UMTS combina FDMA (como hacía GSM) con CDMA. La distribución de códigos ortogonales para el acceso radio puede suponer un problema de complejidad adicional en redes con un gran número de dispositivos.

A modo de resumen, 3G se puede considerar una tecnología poco apropiada para aplicaciones en las que el bajo coste y el consumo energético de los dispositivos de comunicaciones es un factor importante. Posiblemente por este motivo, no tiene uso relevante ni mayoritario en entornos profesionales en los que se espera, en términos generales, hacer la transición de 2G a 4G, sin pasar por 3G.

### 5.3. Tipos de tráfico

UMTS define las siguientes clases de tráfico:

- 1) Clase conversacional: para voz, videoconferencia y juegos interactivos.
- 2) Clase *streaming*: para contenido multimedia, vídeo bajo demanda y *webcast*.
- 3) Clase interactiva: para juegos en línea y navegación web.
- 4) Clase *background*: para correos electrónicos, SMS y descargas de documentos.

Esta diferenciación de clases resulta útil a efectos prácticos, de cara a poder separar aplicaciones con diferentes requisitos de rendimiento, pero que deben coexistir en la misma red de comunicaciones.

Sin embargo, la complejidad añadida respecto a GSM (en términos de técnicas de transmisión y mayor consumo energético) hace que las redes 3G no hayan tenido una gran consideración en la visión de la industria 4.0.

## 6. La cuarta generación (4G)

### 6.1. Introducción

Después de la primera versión de UMTS, la denominada *release 99* del 3GPP, vinieron una serie de mejoras que ofrecían **mayores velocidades de transmisión** tanto en el enlace de subida como en enlace de bajada; este el caso de HSPA (*high speed packet access*) o *evolved HSPA* (HSPA+). Todas estas mejoras seguían usando WCDMA como técnica de acceso radio.

Sin embargo, los requisitos definidos por la ITU-R para la siguiente generación, la 4G, eran tan exigentes que fue necesario el diseño de un nuevo sistema de comunicaciones para la nueva generación de comunicaciones móviles.

*Long term evolution* (LTE) constituye la primera respuesta del 3GPP para alcanzar los requisitos definidos en el conjunto de requisitos llamados IMT-Advanced (definidos en junio del 2008), que definen aspectos como los siguientes:

- Debe ser un sistema *all-IP*, incluso para la transmisión de voz.
- Debe ocupar un ancho de banda variable de entre 5 y 20 Mhz, e incluso de hasta 40 Mhz.
- Debe proporcionar tasas de transmisión de hasta 1 Gbps en el enlace de bajada para terminales estáticos.
- Debe proporcionar tasas de transmisión de hasta 100 Mbps en el enlace de bajada para terminales móviles.
- Debe garantizar *roaming* en un ámbito mundial.

Como podemos ver, se trata, fundamentalmente, de requisitos para satisfacer las necesidades de lo que se conoce como *mobile broad band* (MBB), es decir, **comunicaciones de gran ancho de banda**.

LTE debía constituir, por lo tanto, la cuarta generación; sin embargo, la especificación de la *release 8* del 3GPP, la que definía LTE, no alcanzaba todos los requerimientos definidos por el ITU-R en IMT Advanced. Entre otros aspectos, LTE tan solo alcanza velocidades de transmisión de 100 Mbps en el enlace de bajada, y 50 MBps en el enlace de subida con canales de 20 Mhz.

#### Información adicional

El 3GPP publica las especificaciones técnicas a través de unos documentos que reciben el nombre de *release*.

Hasta la *release 10*, la denominada LTE-Advanced, no se alcanzaron los requisitos para definir la 4G.

La tecnología LTE y LTE-Advanced se basa en una renovada estructura de red, así como una red de acceso radio basada en OFDMA, como veremos en el siguiente apartado.

Posteriormente, las *releases 11, 12, y 13* han ido definiendo lo que se ha denominado *LTE-A Pro*, y que incluye funcionalidades y mejoras para las comunicaciones MTC, como por ejemplo mecanismos específicos para:

- Evitar la congestión en presencia de un gran número de dispositivos, denominado mMTC, del inglés *massive MTC*.
- Habilitar soluciones de bajo coste (LC\_LTE).
- Habilitar funcionalidades de bajo consumo de energía.
- Extender la cobertura de las comunicaciones radio.

## 6.2. Descripción de la tecnología LTE

Las redes de comunicaciones basadas en la tecnología LTE (así como las tecnologías LTE-A o LTE-A-Pro) se componen de dos partes fundamentales, que forman lo que se conoce como EPS (*evolved packet system*):

- 1) *Evolved universal terrestrial radio access network* (E-UTRAN): la **red de acceso radio**.
- 2) *Evolved packet core* (EPC): la **arquitectura de red**.

En la parte de acceso, los terminales se conectan con las estaciones base, llamadas **eNodeB**, que son las que gestionan los recursos radio para todos los terminales.

La manera de compartir el espectro radio en LTE es OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*), que es mucho más eficiente que CDMA usada en 3G.

OFDMA es una particularización de FDMA en la que las portadoras en frecuencia son ortogonales y, por lo tanto, se pueden agrupar con muy poco espacio entre ellas. La eNodeB asigna portadoras estrechas a los terminales móviles para transmitir y recibir los datos en los enlaces de subida y de bajada. Cada portadora se puede modular de manera independiente, para maximizar la eficiencia espectral del sistema.

En concreto, se usa OFDMA en el enlace de bajada, y *single carrier OFDMA* (SC-OFDMA) en el enlace de subida. Sin entrar en detalles técnicos, la ventaja de usar

SC-OFDMA en el enlace de subida es que se simplifica la complejidad y, por lo tanto, el coste de los terminales.

LTE soporta tanto el modo FDD como el modo TDD, y usa una estructura de trama de 1 ms; esto quiere decir que todas las decisiones y asignaciones de recurso ocurren cada 1 ms. Técnicamente, este tiempo recibe el nombre de **TTI** (del inglés *transmission time interval*). Este tiempo es realmente corto en comparación con las generaciones anteriores, y hace de LTE una tecnología compatible con transmisiones de muy baja latencia.

Las principales ventajas de la tecnología basada en LTE son:

- 1) Técnica radio muy robusta frente a propagación multicamino.
- 2) Asignación de recursos muy dinámica y ajustable a las condiciones del canal radio.
- 3) Simplicidad en la implementación de los terminales, ofreciendo un bajo coste.
- 4) Diversidad frecuencial gracias a la técnica OFDMA, que permite obtener ganancias equivalentes a las obtenidas con múltiples antenas (MIMO), sin necesidad de disponer de más de una antena.
- 5) Puede trabajar en modo FDD y TDD (duplexación en tiempo o frecuencia).
- 6) Mejora la eficiencia espectral de CDMA en un factor x3.
- 7) Aumenta hasta en un factor x10 la capacidad de la red respecto a 3G.
- 8) La arquitectura de red de 4G es mucho más sencilla y flexible que en 3G.

En el caso de LTE-A (*release 10*), las velocidades de transmisión de datos son de hasta 1 Gbps en el enlace de bajada, y de 500 Mbps en el enlace de subida.

En función de las capacidades de los terminales móviles, llamados UE (*user equipment*) en la jerga del 3GPP, se definen distintas categorías de terminales, según:

**Tabla 1.** Categorías de UE en LTE

Tecnología	Categoría	Velocidad bajada (Mbps)	Velocidad subida (Mbps)	Canales MIMO bajada	Canales MIMO subida
LTE	1	10	5	1	1
LTE	2	50	25	2	1
LTE	3	100	50	2	1
LTE	4	150	50	2	1
LTE	5	300	75	4	1
LTE-A	6	300	50	2 o 4	1 o 2
LTE-A	7	300	100	2 o 4	1 o 2
LTE-A	8	3.000	1.500	8	4

## 7. La generación de las máquinas (IoT)

### 7.1. Introducción

Como hemos visto en el apartado anterior, LTE es un sistema muy eficiente y con una elevadísima capacidad de transmisión de datos por segundo. Desafortunadamente, en muchas de las aplicaciones que podemos imaginar dentro del contexto de la industria 4.0, no es necesario tener semejante capacidad de transmisión de datos.

Según varios estudios, el número de dispositivos que estarán conectados a las redes, formando el concepto del internet de las cosas (IoT), será de unos 30 billones hacia el año 2025. De estos, se estima que unos 7-8 billones se conectarán a través de redes celulares o LPWA, como las que hemos visto en el material de «Comunicaciones celulares».

Debido a esta oportunidad de negocio y de innovación, el 3GPP ha dedicado esfuerzos a identificar de qué manera los estándares promovidos por su organización deben adaptarse a las necesidades de las máquinas. Las máquinas, en general, tienen características que son únicas de las máquinas y diferentes del tipo de uso que hacemos de ellas las personas; entre otras, podemos destacar las siguientes:

- 1) Se suelen transmitir pocos datos.
- 2) La frecuencia con la que se transmite es, en general, baja.
- 3) Dado que no se pueden cambiar o recargar las baterías, es necesario que las transmisiones sean muy eficientes.
- 4) El número de dispositivos conectados simultáneamente puede ser muy elevado.
- 5) Se suelen combinar tipos de tráfico muy sensibles al retardo con tipos de tráfico muy flexibles en cuanto a los requisitos de retardo.

Debido a esta diferente naturaleza del tráfico de datos entre máquinas con respecto al tráfico de datos en personas, cuando se trata de comunicar máquinas de manera autónoma para que lleven a cabo funciones de modo automático, LTE y LTE-A presentan algunas limitaciones, tales como:

- No es un sistema eficiente para la transmisión de paquetes pequeños.
- No es un sistema eficiente para la transmisión de paquetes infrecuentes.

- Como las anteriores generaciones, el sistema de acceso se basa en un sistema centralizado que no ofrece mucha flexibilidad rápida en la gestión de los recursos radio.
- El acceso al sistema sigue basándose en técnicas ALOHA, y puede convertirse en cuello de botella en escenarios con un gran número de dispositivos y sin ofrecer un rendimiento determinista.

Además, a pesar de que la complejidad y el coste de los dispositivos son menores que en 3G, existen funcionalidades innecesarias para las comunicaciones entre máquinas, lo que hace que todavía fuese posible reducir su complejidad y, por lo tanto, su coste, como por ejemplo:

- El ancho de banda variable.
- Las tasas de datos excesivamente elevadas.
- La potencia de transmisión máxima a 23 dBm.
- La operación *half-duplex*.
- La existencia de dos cadenas de radio para la duplexación en frecuencia.

Además de las limitaciones técnicas de LTE para su aplicación en comunicaciones entre máquinas, existe una limitación regulatoria: así como en 2G y 3G existe una armonización en un ámbito mundial de las bandas de frecuencias para los sistemas celulares, este no es el caso para la tecnología de 4G, lo que supone una seria limitación a la hora de ofrecer cobertura en un ámbito mundial. Dicho de otro modo: para aplicaciones que requieran cobertura global, la tecnología 4G añade una complejidad adicional, al tener que adaptarse a las bandas de frecuencias aprobadas en cada territorio de manera particular.

Dado, por un lado el potencial de mercado existente, y por otro lado, las limitaciones de la tecnología LTE y LTE-A para posibles aplicaciones en la industria 4.0 (entre otras), el 3GPP ha trabajado en tres direcciones para evolucionar sus estándares:

- 1) EC-GSM: evolución de GSM/GPRS para la comunicación entre máquinas.
- 2) LTE-M: evolución de LTE para la comunicación entre máquinas; su primera especificación se introdujo en la *release 12* en el 2014, con el concepto de terminales de categoría 0 (**Cat-0**), y en la *release 13* se ha optimizado, con el concepto de categoría M1 (**Cat-M1**), como veremos más adelante.
- 3) NB-IoT (*narrow band IoT*): nuevo sistema radio para la comunicación entre máquinas, publicado en junio del 2016 en el contexto de la *release 13* del 3GPP.

Los tres casos tienen en común el hecho de que consisten en **actualizaciones software** de la infraestructura ya desplegada, lo que reduce considerablemente el coste y el *time-to-market* para el despliegue de las soluciones por parte de los operadores.

Mientras que EC-GSM se considera de gran interés para las operadoras de telefonía móvil, al poder reaprovechar la infraestructura de 2G ya instalada, es posible que a largo plazo sean predominantes las opciones LTE-M y NB-IoT.

Mientras que LTE-M está pensada para aplicaciones con requisitos más exigentes de servicio, NB-IoT está enfocado a aplicaciones en las que el bajo coste y el gran alcance sean realmente las piezas clave y determinantes. Se pueden considerar, por lo tanto, tecnologías complementarias.

En los próximos apartados, se describen brevemente estas tres soluciones que se están promoviendo por parte del 3GPP para dar respuesta a las necesidades del IoT y que, en definitiva, formarán parte de las soluciones planteadas para la industria 4.0.

## 7.2. EC-GSM

Se trata de un estándar para redes LPWA basado en una evolución de GPRS (EDGE), en particular, de la especificación GERAN (GSM/EDGE *radio access network*).

EC-GSM se ha diseñado para gran capacidad, largo alcance, bajo consumo energético y muy baja complejidad. El tiempo de vida de los dispositivos puede llegar a 10 años, en función de su uso, por supuesto.

La gran ventaja de EC-GSM es que las mejoras las pueden implementar los operadores en un ámbito de software en sus infraestructuras de GSM, sin tener que desplegar infraestructura nueva. Esto hace que los operadores puedan ofrecer conectividad a precios muy competitivos y, además, muy rápido.

Su especificación se incluye en la *release 13* del 3GPP, publicada en junio del 2016.

## 7.3. LTE-M

**LTE-M** (o *eMTC*) es la evolución de LTE para satisfacer los requisitos de la transmisión de datos entre máquinas. La especificación LTE-M comenzó en la *release 12*, al introducir una nueva categoría de dispositivo llamada **LTE Cat-0**, y se optimizó en la *release 13* con la nueva categoría **LTE Cat-M1**.

En los dos casos, la velocidad de transmisión se limita a 1 Mbps.

La diferencia principal es que mientras que las comunicaciones en Cat-0 se hacen con un **ancho de banda** de 20 MHz, lo que es Cat-M1, las comunicaciones ocupan tan solo 1,4 MHz.

Cat-M1, además, introduce una **reducción de la potencia máxima** de transmisión de 23 dBm a 20 dBm, lo que permite ahorrar energía y reducir la complejidad de los dispositivos.

Las dos especificaciones tienen prestaciones muy inferiores a la categoría 1 que hemos visto en la sección LTE, en la que hemos presentado las diferentes categorías de terminales de LTE y LTE-A.

En los dos casos, se mejora el *link budget* respecto a LTE, de modo que se logran mayores rangos de cobertura (mejora de 15 dB respecto a LTE), y se optimiza el uso del ciclo de DRX (recepción discontinua) para ahorrar batería. Además, se reduce el tráfico de señalización de control.

LTE-M es una optimización de la tecnología LTE para dar servicio eficiente a comunicaciones entre máquinas. En el argot de 3GPP, esto se refiere a las *machine type communications (MTC)*; es decir, comunicaciones en las que al menos una de las dos entidades (origen o destino) es una máquina. De algún modo, dado que LTE es una tecnología muy versátil y potente, LTE-M es una simplificación de la misma para su uso en aplicaciones entre dispositivos inteligentes y, por lo tanto, de aplicación en la industria 4.0.

La especificación de LTE-M forma parte de la *release 13* del 3GPP, acabada en junio del 2016. Los objetivos de esta especificación eran:

- 1) Lograr un tiempo de vida de 10 años en dispositivos con una batería de 5 Wh.
- 2) Lograr un coste de dispositivo equivalente al de GPRS.
- 3) Lograr una cobertura grande, con un *link budget* de 156 dB.
- 4) Aplicar velocidades de transmisión variables para mejorar la cobertura.

Las características de LTE-M se resumen del siguiente modo:

- 1) Las comunicaciones se llevan a cabo en la misma banda que las comunicaciones normales; esto recibe el nombre de **operación in-band**.
- 2) El *link budget* es de 155,7 dB.
- 3) El enlace de bajada es OFDMA, con una separación de portadoras de 15 kHz, uso de turbocódigos, modulación 16-QAM y una sola antena de transmisión.
- 4) El enlace de subida es SC-FDMA, con una separación de portadoras de 15 kHz, uso de turbocódigos, modulación 16-QAM y una sola antena de transmisión.
- 5) El ancho de banda es de 1,08 MHz.
- 6) Tasa de transmisión de datos simétrica de 1 MBps (igual en subida que en bajada).
- 7) Duplexado en tiempo (TDD) o frecuencia (FDD).

8) Potencia máxima de transmisión de 20 dBm (respecto a los 23 dBm de LTE).

La tecnología LTE-M puede operar de dos modos:

- 1) **In-band**: compartiendo el espectro radioeléctrico con LTE.
- 2) **Standalone**: usando espectro radioeléctrico exclusivo y dedicado. Suele tratarse de bandas de frecuencia asignadas para GSM.

Algunas de las ventajas que ofrece LTE-M son:

- **Baja complejidad** al implementar comunicación *half-duplex* (no se transmite y recibe al mismo tiempo), y ancho de banda único y estrecho.
- Debido al punto anterior, **bajo coste** de los terminales, que actualmente se encuentran en torno a un 20-25 % del coste de un terminal GPRS.
- **Larga vida de los dispositivos**; estos pueden entrar en modo *power saving mode* y ahorrar mucha energía cuando no transmiten ni reciben datos. Técnicamente, este procedimiento se llama *extended discontinuous reception* (eDRX).
- **Bajo coste del servicio** dada la tasa de transmisión de tan solo 100 kbps; los operadores móviles ofrecen este servicio a costes similares a los ofrecidos por las comunicaciones M2M a través del sistema 2G (GSM y GPRS).

La tecnología LTE-M puede coexistir con 2G, 3G, y 4G, y se beneficia de la seguridad y privacidad, identificación de usuario, confidencialidad e integridad de datos que ofrecen las redes celulares públicas estándar.

#### 7.4. NB-IoT

NB-IoT es una evolución de banda estrecha de LTE. Su especificación se incluye en la *release 13* del 3GPP, publicada en junio del 2016.

NB-IoT ocupa menos de 200 kHz de espectro (180 kHz) y, como en el caso de LTE-M, se puede implantar:

- 1) Dentro de la banda de LTE, mediante la reutilización de bloques de recursos LTE libres.
- 2) De forma independiente en el espectro entre portadoras LTE adyacentes o en el espectro GSM libre, de hecho, usando la misma canalización de GSM/GPRS, dado el ancho de banda de 200 kHz (el mismo que el definido para GSM/GPRS). Esta opción recibe el nombre de despliegue *standalone*.

Además, en el caso de NB-IoT se plantea una **tercera opción** que consiste en usar **las bandas de guarda** de LTE para implementar NB-IoT.

En la especificación NB-IoT, se reutilizan en gran medida las características y funciones que ya están disponibles en LTE, pero se proponen simplificaciones para reducir la complejidad y el coste de los dispositivos, mejorar el consumo de energía y extender la cobertura.

Respecto a LTE-M, NB-IoT mejora el *link budget* en hasta 5 dB; esto se corresponde con una mejora de hasta 20 dB respecto al *link budget* de LTE.

Como en el caso de LTE-M (eMTC), NB-IoT también mejora el proceso de DRX (recepción discontinua) y reduce la señalización, para lograr sus objetivos de diseño: simplicidad, bajo coste, gran rango de cobertura y capacidad para gestionar muchos dispositivos simultáneamente.

En la tabla siguiente, se muestra la evolución de las diferentes categorías de terminal de LTE, que han ido reduciendo progresivamente la funcionalidad y especificaciones, hasta llegar a NB-IoT.

**Tabla 2.** Especificaciones de NB-IoT

Especificación	LTE. Cat 1	LTE Cat. 0	LTE Cat. M1	NB-IoT
Release	Rel. 8	Rel. 12	Rel. 13	Rel. 13
Velocidad máxima enlace bajada	10 Mbps	1 Mbps	<1 Mbps	150 kbps
Velocidad máxima enlace subida	5 Mbps	1 Mbps	<1 Mbps	150 kbps
Ancho de banda estación móvil	20 Mhz	20 MHz	1,4 MHz	200 kHz
Máxima potencia transmisión dispositivos	23 dBm	23 dBm	23 dBm o 20 dBm	23 dBm o 20 dBm
Duplexado	<i>Full-duplex</i>	<i>Half-duplex</i>	<i>Half-duplex</i>	<i>Half duplex</i>

## 7.5. Conclusiones

El concepto del internet de las cosas (IoT) y la comunicación entre máquinas han supuesto un cambio radical en la manera de diseñar las redes de comunicaciones.

Este tipo de aplicaciones impone los siguientes requisitos:

- 1) Larga duración de los dispositivos, como mínimo, 10 años.
- 2) Bajo coste de dispositivo.
- 3) Bajo coste de despliegue de red.
- 4) Bajo coste de operación de red.
- 5) Soporte para un número masivo de dispositivos.
- 6) Rangos de cobertura muy grandes para evitar la ultradensificación de las redes.

Estos nuevos requisitos han motivado la emergencia de dos tipos de tecnologías:

- 1) Tecnologías LPWA propietarias que operan en bandas ISM y que hemos revisado en el módulo anterior.
- 2) Tecnologías propietarias promovidas por el 3GPP y que, aunque también pueden operar en bandas ISM sin licencia, están pensadas para ser explotadas por operadores móviles en bandas con licencia.

El escenario es muy diferente al que existía a finales de la primera década de los años 2000.

Las mejoras que el 3GPP ha llevado a cabo sobre LTE van en dos caminos:

- 1) Mejorar LTE: LTE-M (también llamado eMTC).
- 2) Diseñar un nuevo sistema radio: NB-IoT.

En los dos casos, las optimizaciones han ido en la línea de:

- Mejorar la vida de los dispositivos a través de mejoras del DRX (modo de recepción discontinua), lo que permite a los dispositivos ir a dormir cuando no tienen datos que transmitir.
- Reducir la complejidad de los dispositivos, reduciendo el ancho de banda y las técnicas de transmisión utilizadas, a costa de ofrecer menores velocidades de transmisión.
- Reducir el nivel de potencia de transmisión.
- Simplificar el duplexado en frecuencia a técnicas de duplexado en tiempo, lo que permite tener solo una cadena de radiofrecuencia en los terminales y, por lo tanto, reducir la complejidad y el coste.
- Simplificación y optimización de la arquitectura de red, lo que permite transmisiones más rápidas y con capacidad para muchos más usuarios.

El despliegue de estas soluciones en un ámbito comercial tiene que coexistir con las soluciones LPWA propietarias, y está sobre la mesa la incertidumbre sobre de qué manera van a coexistir o competir. Cada opción plantea sus ventajas e inconvenientes, y en este punto se plantea un compromiso que hay que resolver en función de las necesidades de cada aplicación que se plantee desarrollar.

## 8. La quinta generación (5G)

La quinta generación (5G) de comunicaciones se puede considerar que es la primera tecnología que se ha diseñado según los requisitos de las aplicaciones «verticales», de los mercados y aplicaciones específicas, y no tanto una evolución tecnológica promovida por la ITU-R para lograr mayores velocidades de transmisión *per se*, como ha sido lo que ha motivado la evolución desde 2G hasta 5G.

En este sentido, la tecnología 5G se ha diseñado para dar servicios a aplicaciones como el internet de las cosas, el coche conectado, la industria 4.0, la logística, la distribución inteligente de energía (*smart grids*), la casa conectada, etc.

Entre otras, se espera que la 5G ofrezca soluciones para transmisiones de ultrabaja latencia, por debajo de los 5 ms extremo a extremo, y que permita la ejecución de aplicaciones de tareas críticas (en inglés, *mission-critical applications*), y transmisiones con ultraalta fiabilidad, con el objetivo de que las comunicaciones sin cables pueda ofrecen fiabilidad similar a las comunicaciones por cable.

El siguiente material, «Caso practico: Monitorización de la temperatura de un rotor mediante el uso de RFID pasivo», está exclusivamente dedicado a revisar y describir las actividades que están llevando a cabo la definición de la 5G, la cual se espera que esté operativa y disponible comercialmente a partir del 2019-2020.

## Resumen

En este material, hemos presentado las tecnologías de comunicación móvil celular estandarizadas por el 3GPP.

Este tipo de tecnologías tendrán una presencia muy destacada en la industria 4.0.

Así como las tecnologías Wi-Fi, Bluetooth, o Zigbee se posicionan en el dominio de las tecnologías de corto alcance, las redes públicas celulares ofrecen conectividad en rangos mayores, medidos en kilómetros desde cada punto de acceso o estación base.

Estas tecnologías han evolucionado con los años para satisfacer las necesidades de mayor transmisión de bits por segundo. De este modo, se ha evolucionado desde el GSM (2G) de los años noventa, a la tecnología 4G desplegada mayoritariamente en la actualidad en el mundo desarrollado.

Sin embargo, con la llegada del internet de las cosas y su aplicación en entornos profesionales, como es el caso de la industria 4.0, se ha dado un cambio de dirección en «la manera» de evolucionar y diseñar las nuevas redes de comunicaciones móviles.

Efectivamente, la necesidad de ofrecer servicio de conectividad a pequeños dispositivos con requisitos de comunicación diferentes a las personas ha obligado al 3GPP a diseñar nuevos sistemas de comunicación, adecuados para las nuevas necesidades.

Mientras esta transición tenía lugar, la llegada de soluciones propietarias como Sigfox o Lora, repasadas en el módulo anterior, ha hecho que el 3GPP actúe rápidamente y defina nuevas tecnologías (EC-GSM, LTE-M y NB-IoT) para dar respuesta pública a las necesidades del internet de las cosas.

Se espera que con la definición de la quinta generación, el 5G, las redes pública celulares que operan en espectro licenciado cobren todavía un papel más protagonista en el despliegue de redes de comunicación para el internet de las cosas y, en particular, para la industria 4.0.