

---

# Contexto actual y evolución hacia las redes de nueva generación

---

PID\_00265733

Helena Rifà Pous  
Rafael Gallego Terris  
Víctor Huertas García

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 4 horas

---




**Helena Rifà Pous**

Ingeniera en Telecomunicaciones y doctora por la Universitat Politècnica de Catalunya. Es profesora agregada de los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicaciones de la UOC. Actualmente es la directora del Máster Interuniversitario en Seguridad TIC. Forma parte del grupo de investigación KISON. Sus líneas de investigación se centran en el campo de la seguridad en redes abiertas (*p2p*, *ad hoc*, radio cognitiva). En este campo ha publicado más de treinta artículos en revistas y congresos internacionales y ha dirigido más de cuarenta proyectos de grado y de máster.


**Rafael Gallego Terris**

Ingeniero Superior en Telecomunicaciones por la Universitat Politècnica de Catalunya y Máster en Comunicaciones Digitales por Télécom Brest, ha trabajado como Ingeniero de Investigación en la industria de las Comunicaciones Móviles en Wavecom/Sierra Wireless (París) y como Ingeniero de Desarrollo, Pruebas y Sistemas en el sector de las Comunicaciones por Satélite en Indra (Barcelona). Imparte también docencia como Profesor Asociado en la Universitat Autònoma de Barcelona, en el departamento de Ingeniería de Sistemas.


**Víctor Huertas García**

Ingeniero en Telecomunicaciones por la Universitat Politècnica de Catalunya. Actualmente trabaja como ingeniero de *networking* y experto en NGN/IMS en el departamento de Equipos de Comunicación en la multinacional Indra Sistemas. Ha participado en numerosos proyectos de la ESA (Agencia Europea del Espacio) de investigación sobre la aplicación de la tecnología IP en redes satélite. Recientemente ha participado en proyectos de integración de IMS en las redes satélite para conseguir la convergencia con redes terrestres.

El encargo y la creación de este recurso de aprendizaje UOC han sido coordinados por el profesor: Victor Garcia Font (2019)

Segunda edición: septiembre 2019

Autoría: Helena Rifà Pous, Rafael Gallego Terris, Víctor Huertas García

Licencia CC BY-NC-ND de esta edición, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realización editorial: FUOC



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Evolución de las aplicaciones y usos de las redes.....</b>	<b>9</b>
1.1. Un poco de historia: ¿de dónde provienen las redes NGN? .....	9
1.1.1. Mediados de 1990-2000: los inicios de internet y telefonía móvil .....	10
1.1.2. Finales de 1990-2000: boom mundial de uso de internet y los servicios asociados .....	11
1.1.3. Principios de 2000-2010: migración a <i>All-IP</i> .....	12
1.1.4. Mediados de 2000-2010: internet en el móvil .....	13
1.1.5. Finales de 2000-2010: <i>boom</i> de los <i>smartphones</i> .....	14
1.1.6. Principios de 2010-2020: IMS y las NGN se convierten en realidad .....	14
1.1.7. Mediados de 2010-2020: fibra óptica, 4G y los inicios de redes IoT .....	16
1.1.8. Finales de 2010-2020: 5G y la convergencia entre tecnologías .....	17
1.2. El camino hacia la convergencia .....	17
1.2.1. ¿Qué aportan las redes de nueva generación a los diferentes actores en el mundo de las telecomunicaciones? .....	18
<b>2. Contexto actual de las aplicaciones y usos de las redes.....</b>	<b>20</b>
2.1. Sistemas distribuidos .....	20
2.1.1. Computación en la nube ( <i>cloud computing</i> ) .....	20
2.1.2. Computación <i>grid</i> .....	22
2.2. Redes sociales y comercio electrónico .....	23
2.2.1. Redes sociales .....	23
2.2.2. Comercio electrónico .....	24
2.3. Servicios multimedia con alto grado de interactividad .....	24
2.4. Acceso a contenidos multimedia .....	25
2.5. Internet de las cosas (IoT) .....	26
2.5.1. Comunicaciones máquina-máquina (M2M) .....	29
2.5.2. <i>Smart Cities</i> .....	30
2.5.3. Domótica .....	31
2.5.4. Conducción autónoma .....	32
<b>3. Tipo de redes de telecomunicaciones según su tecnología.....</b>	<b>33</b>
3.1. Segmentos que conforman una red de comunicaciones .....	33

3.2.	Tecnologías cableadas .....	34
3.2.1.	El par de cobre .....	34
3.2.2.	Cable coaxial .....	35
3.2.3.	Redes de potencia .....	36
3.2.4.	Fibra óptica .....	37
3.3.	Tecnologías inalámbricas .....	38
3.3.1.	Redes de acceso de área personal (PAN) y doméstica (HAN) .....	39
3.3.2.	Redes de acceso de área local (LAN) .....	40
3.3.3.	Redes de acceso de área metropolitana (MAN) .....	41
3.3.4.	Redes celulares .....	42
3.3.5.	Redes de satélites .....	45
<b>4.</b>	<b>Evolución de los modelos de comunicaciones y el uso de las redes.....</b>	<b>49</b>
4.1.	El camino hacia la 5G .....	50
4.2.	Virtualización de la red .....	52
	<b>Resumen.....</b>	<b>54</b>
	<b>Ejercicios de autoevaluación.....</b>	<b>55</b>
	<b>Solucionario.....</b>	<b>56</b>
	<b>Glosario.....</b>	<b>57</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>58</b>

## Introducción

Las redes de comunicaciones se han convertido en un elemento clave de la infraestructura económica de un país, sobre todo desde el desarrollo de internet. La aparición de redes de alta velocidad y el hecho de que éstas estén disponibles tanto para usuarios residenciales como para empresas ha hecho aparecer una nueva gama de servicios que han elevado la importancia de las infraestructuras de comunicación en la sociedad actual. Servicios en línea en áreas como la educación, la salud y el medio ambiente, así como el despliegue de las redes sociales, están desempeñando un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad del conocimiento.

Si bien en un primer momento la mayoría de estos servicios estaban asociados a las redes fijas, la continua evolución de las redes móviles permite difuminar cada vez más las fronteras y ofrecer una cobertura casi global. En esta línea, la futura generación de telefonía móvil (5G), con mayores velocidades de transferencia y latencias todavía más bajas, permitirá dar respuesta a la nueva demanda de aplicaciones, las cuales son de muy diversa índole. Podemos destacar las aplicaciones de IoT (*Internet of Things*), que están en continuo desarrollo en las *Smart Cities* o en campos como la *eHealth* o el coche autónomo.

La dependencia actual en las comunicaciones está impulsando una nueva revolución tecnológica que permita la cobertura universal de las redes y la ubicuidad de los servicios de internet. El conjunto de sistemas, tecnologías y protocolos que deben permitir emplear internet en cualquier dispositivo, en cualquier lugar, momento y situación, es lo que denominamos redes de nueva generación (*Next Generation Networks*, NGN). Las NGN son redes de banda ancha que permiten la integración de servicios de datos, voz y vídeo con garantía de calidad de servicio extremo a extremo mediante el uso de los protocolos de internet.

Para conseguir la ubicuidad de internet se tiene que sacar todo el potencial de las nuevas tecnologías de red. Es necesario que las NGN tengan un carácter universal, asegurando la adecuada cobertura en diferentes zonas geográficas. Para ello, es importante que los mercados sean realmente competitivos, lo que puede requerir el desarrollo de nuevas políticas. La regulación debe permitir que los beneficios potenciales de las NGN se difundan rápidamente en las economías y en la sociedad, y deben estimular la creación de nuevos servicios.

Las redes de nueva generación (NGN) buscan una integración de redes heterogéneas de transporte de paquetes (como IP) para que puedan usarse en el intercambio de toda clase de información. La red debe garantizar una calidad de servicio (QoS) para distintos tipos de tráfico y niveles de prioridad de datos, como el vídeo y la voz en tiempo real. Además, se quiere separar totalmente

el plan de gestión de la red (señalización y control) del plan de conmutación y transporte, utilizando interfaces abiertas y estándares que permitan un despliegue rápido de todos los servicios, la posibilidad de que terceras entidades puedan crear fácilmente nuevos servicios a la vez que se mantienen los servicios tradicionales.

Las principales características de las NGN se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Basadas en conmutación de paquetes.
- La arquitectura de red consiste en una capa de transporte, control de servicios y aplicación totalmente separados e independientes.
- Interfaces abiertas.
- Integración de servicios.
- Capacidades de banda ancha con calidad de servicio extremo a extremo.
- Integración con las redes heredadas (llamadas *legacy networks*).
- Soporte a una movilidad total que permite la provisión ubicua de servicios.
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores.
- Esquemas variados de identificación de usuarios.
- Servicios unificados y diseñados según la percepción del usuario.
- Convergencia de servicios fijo-móvil.
- Definición de la red según los requisitos regulatorios.

En este módulo haremos una revisión del contexto socio-tecnológico actual y presentaremos las redes de acceso de nueva generación más destacadas. En los siguientes módulos de estos materiales se tratará sobre las tecnologías y los protocolos del núcleo de la red.

## Objetivos

En los materiales didácticos de este módulo el estudiante encontrará los contenidos necesarios para lograr los objetivos siguientes:

1. Tener una visión del contexto actual de las aplicaciones y los usos de las redes de telecomunicaciones.
2. Conocer la evolución de las redes de telecomunicaciones a lo largo de la historia y la influencia del mercado para comprender cómo se ha llegado a las NGN.
3. Tomar conciencia de los cambios sociales asociados a la evolución de las redes.
4. Conocer las principales tecnologías de red cableadas e inalámbricas.
5. Conocer las redes de acceso que pueden dar lugar a las NGN.
6. Tener una visión genérica del papel que va a tener la red 5G en la provisión de servicios multimedia.
7. Comprender la importancia de las SDN y la virtualización de redes, en las cuáles se profundizará en los próximos módulos.





# 1. Evolución de las aplicaciones y usos de las redes

En los últimos veinticinco años las necesidades y funcionalidades de las redes han cambiado ampliamente. Hasta la última década del siglo XX, las telecomunicaciones se caracterizaban por tener un mercado estable, basado fundamentalmente en el servicio telefónico. Se trataba de un sector monopolístico que generaba grandes economías de escala.

A partir de los años noventa el mercado se ve alterado por procesos de desregularización, la aparición y consolidación de nuevas tecnologías, el desarrollo de internet, la explosión de los servicios móviles y la necesidad de disponer de un mayor ancho de banda.

Y es en la irrupción de internet y sobre todo a un coste relativamente reducido cuando se produce un punto de inflexión ya que se abre de par en par todo el potencial que el usuario posee a la hora de utilizar la red. Si antes era el usuario el que se tenía que adaptar a los servicios que el operador ofrecía (un servicio por red), es ahora el propio usuario quien tiene el poder de dar valor a un servicio. Es decir, el auténtico valor que tiene una red de telecomunicaciones no radica tanto en la calidad de la infraestructura sino en los contenidos. Es la información que el usuario desea consultar o intercambiar lo que da sentido a la existencia de dicha red.

Como podréis ver a continuación en este capítulo, esto influirá totalmente en las estrategias de inversión de las operadoras que ya irán a remolque de lo que el mercado constantemente reclama: más velocidad y ubicuidad en el acceso para poder seguir creando nuevos servicios.

En este apartado haremos un repaso a la situación actual de la provisión de servicios multimedia, veremos cuál ha sido la evolución de los servicios de la red en los últimos años y cuál ha sido la evolución social vinculada a estos cambios.

## 1.1. Un poco de historia: ¿de dónde provienen las redes NGN?

Para comprender qué es lo que ha ocurrido en el pasado para llegar al concepto de redes NGN, nos tenemos que remontar a principios de los años noventa del siglo pasado. En aquella época, nos encontrábamos con el siguiente panorama:

- Servicio de voz (línea fija) para particulares y empresas basado en RTC (Red Telefónica Conmutada) o RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Facturación por tiempo de uso.

- Un único o muy pocos operadores de telefonía en el mercado (por ejemplo, Telefónica en España).
- Generación de grandes economías de escala.

Las operadoras de telecomunicaciones de entonces habían hecho una inversión ingente en desplegar un par de cobre a prácticamente todos los hogares para ofrecer dicho servicio de voz. La arquitectura de la red se caracterizaba por tener unos terminales de usuario muy simples (teléfonos fijos) y concentrar toda la inteligencia del servicio en la propia red troncal (encaminamiento de llamadas).

Yéndonos al entorno corporativo, existían otros servicios que reutilizaban la línea telefónica, como los faxes o las líneas digitales X.25. Los operadores de telefonía ya ofrecían entonces otras tecnologías para la interconexión de redes corporativas LAN y que proporcionaban más ancho de banda, como, por ejemplo, Frame Relay.

### **1.1.1. Mediados de 1990-2000: los inicios de internet y telefonía móvil**

Internet nació inicialmente como un proyecto académico y de investigación militar estadounidense, una red con el fin de unir un grupo de ordenadores para intercambiar información textual, con una política *best-effort*. La red se caracterizaba por su simplicidad, y su infraestructura se limitaba a dar un servicio de transporte de información, cuya inteligencia residía en los terminales extremos, en los propios ordenadores de los usuarios.

En 1995 se eliminaron todas las restricciones para que internet pudiera llevar tráfico comercial. Esto se considera un antes y un después en la historia, ya que significó una auténtica revolución en el mundo de las telecomunicaciones. Una nueva gama de servicios (empezando por el WWW y siguiendo con el e-mail) entraron en juego. Se había inventado una nueva forma de comunicarse.

El éxito y la evolución de internet se deben tanto a aspectos tecnológicos como sociales.

Asimismo, el aumento de la potencia de cálculo de los procesadores, tanto corporativos como personales, permitieron poner al alcance de los usuarios potentes herramientas de análisis y visualización de la información. Este impulso tecnológico inició la era de la “media”. Se empezaron a crear contenidos audiovisuales, con informaciones de voz, imágenes fijas y datos. La necesidad de indexar y localizar todo tipo de información hizo aparecer buscadores de contenidos audiovisuales que se consolidaron con la *World Wide Web* a mitad de los años noventa.

La web permitió poner al alcance de los usuarios grandes volúmenes de información audiovisual en sus diferentes formas e impulsó que internet se convirtiera en una red comercial. Nació un nuevo modelo económico, a pesar de que internet mantenía su estructura y sus principios básicos. En el nuevo modelo entraron nuevos proveedores de servicios, como actividades relacionadas con la salud, la educación y la industria, o nuevas formas de comunicación.

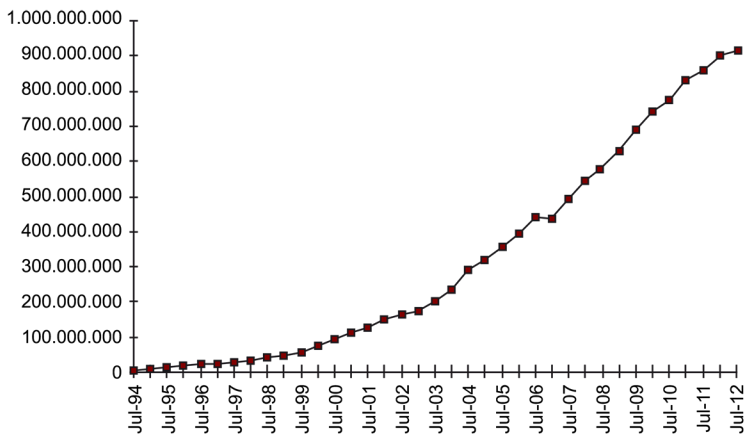
Los usuarios comenzaron a conectarse a internet usando los tradicionales módems V.90 a 56 Kbps sobre la RTB (Red Telefónica Básica), y módems a 64 o 128 Kbps sobre la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) cuya facturación iba por tiempo, como las llamadas de voz. Pero pronto esta capacidad se quedó pequeña, ya que los nuevos servicios que entraban requerían cada vez más velocidad en la conectividad.

Ya desde mediados de los años noventa, se empezó a experimentar un declive en términos de beneficios en la telefonía tradicional para los operadores de líneas fijas como resultado de la liberalización de las telecomunicaciones, dando lugar a una dura competencia. Para las operadoras, la telefonía fija dejaba de ser poco a poco un negocio rentable. Por supuesto, la increíble penetración de los servicios de telefonía móvil en todo el mundo (analógica primero y luego digital con GSM) y la inevitable reducción en las tarifas de llamadas móviles repercutió aún más en una bajada de los beneficios en las líneas fijas de telefonía.

### **1.1.2. Finales de 1990-2000: boom mundial de uso de internet y los servicios asociados**

Pero internet ya había llegado para quedarse y a finales de los noventa la necesidad futura de los operadores de telefonía tradicional se volvió demasiado clara. La simplificación de sus redes troncales (distribuyendo la inteligencia más equitativamente entre el terminal de usuario y la red) combinado con la capacidad de introducir nuevos y sofisticados servicios multimedia a voluntad, sería esencial, no solo por competitividad sino por simple supervivencia.

Figura 1. Número de usuarios de internet.



Fuente: Internet Systems Consortium ([www.isc.org](http://www.isc.org))

A finales de los noventa solventaron el reto tecnológico del cuello de botella en el acceso a internet con una nueva tecnología que aprovechaba el par de cobre ya instalado: el ADSL. Y con él se introdujo el concepto de tarifa plana 24 h para el acceso a internet.

Volviendo al ámbito corporativo, las redes LAN interconectadas por enlaces de alta capacidad (por ejemplo, cable o fibra óptica) habían sustituido ampliamente a las redes WAN X.25, y la tecnología Ethernet se convirtió en la candidata principal para ser el estándar de red de acceso de datos para banda ancha de línea fija e inalámbrica (como Wi-Fi).

La adopción de los estándares de internet, como IP, que se asienta sobre los diferentes tipos de tecnologías de conmutación de paquetes, como Ethernet, ha proporcionado conectividad transparente extremo a extremo a través de LAN, WAN privadas y públicas e internet.

### 1.1.3. Principios de 2000-2010: migración a All-IP

El uso de internet se extendió por todo el mundo y el volumen de tráfico mundial crecía exponencialmente obligando a las operadoras a hacer grandes inversiones para ampliar la capacidad de las redes troncales y de acceso. Esto repercutía también en un aumento de costes de mantenimiento poniendo en peligro la rentabilidad de la red.

La solución para conseguir la máxima efectividad en costes se basó en la propia tecnología en la que estaba basada internet: el protocolo IP. Las operadoras de telefonía fija se dieron cuenta de que basar todos los servicios en IP repercutía en menores costes de operación y mantenimiento de la red troncal, ya que se reutilizaba una misma infraestructura para todos los servicios. Con esto llega el concepto de servicios Todo-IP o también dicho en inglés *All-IP*.

Siguiendo esta filosofía surgieron nuevos servicios multimedia para el hogar como el *Triple Play*, que combinaba VoIP + IPTV + internet en un solo *pack* de servicio.

#### **1.1.4. Mediados de 2000-2010: internet en el móvil**

En los primeros años del siglo XXI, el protocolo IP era protagonista de no pocos servicios multimedia ofrecidos por operadoras de telecomunicaciones con una calidad garantizada, repercutiendo en un ahorro en costes y un paulatino decrecimiento en las tarifas, habiendo cada vez más competencia. Sin embargo, el usuario debía desplazarse hasta un punto físico para poder disfrutar del servicio que había contratado (su hogar o la oficina, donde se encontraba el terminal con acceso a internet).

Pero todo esto cambió a mediados de la primera década del siglo XXI con la aparición de los primeros teléfonos inteligentes o *smartphones*. El teléfono móvil dejaba de dar un servicio de voz y mensajería portátil y pasó a convertirse en el “punto de acceso” a servicios multimedia.

Con la introducción de internet en los móviles se inicia una nueva etapa, en la que los proveedores de servicios ganan notoriedad, ofreciendo servicios de difusión masiva de contenidos multimedia en tiempo real, banca electrónica, comercio electrónico, redes privadas virtuales, etc. Los requisitos de calidad de servicio y fiabilidad aumentan y llevan a los principales operadores a invertir en telecomunicaciones para poder ofrecer un salto cualitativo en el servicio.

En el terreno de la red, algunos operadores europeos y americanos comienzan a introducir en sus redes de telefonía una primera evolución a todo-IP de su red troncal de la mano de un elemento llamado *soft switch*. Este elemento venía a sustituir a las centrales de conmutación de circuitos por un sistema basado en conmutación de paquetes (usando el protocolo SIP para establecimiento y encaminamiento de llamadas de voz). Mientras, utilizando pasarelas de voz

sobre IP a telefonía analógica en la última milla, el terminal telefónico clásico seguía utilizándose en las casas de los clientes con los mismos servicios que ofrecía con la infraestructura antigua.

Además, debido al potencial incremento en el número de terminales con conectividad a internet, se hace evidente la necesidad de ir adoptando poco a poco un nuevo protocolo IP (IPv6), que permite expandir las capacidades de direccionamiento y encaminamiento del protocolo, simplificar el formato de la cabecera, mejorar el soporte para incorporar nuevas opciones al protocolo e introducir capacidades de calidad de servicio, así como para la autenticación y la privacidad, la autoconfiguración y el *multihoming* (un usuario/entidad puede tener múltiples direcciones IPv6).

### 1.1.5. Finales de 2000-2010: *boom* de los *smartphones*

La tecnología 3G de UMTS (desarrollada por la organización 3GPP) y sus posteriores evoluciones demostraron que acercar internet a la propia mano del usuario era acercar también otros servicios basados en IP.

Ahora el usuario tenía los servicios a su alcance todo el día, independientemente del lugar donde se encontrase dentro de la zona de cobertura móvil. Esto significó un auténtico boom en todo el mundo creando mercados que hasta entonces no existían, como las aplicaciones móviles.

Paralelamente a los factores tecnológicos, hay otro motor de cambio de internet impulsado por el crecimiento exponencial del número de usuarios y por los nuevos usos que hacen estos de la red, como la comunicación, el trabajo o el ocio y las relaciones económicas que se derivan de ello: creada originalmente para interconectar ordenadores, **el usuario pasa a ser el elemento central** para el diseño de nuevos servicios y aplicaciones.

De estas surgieron las llamadas aplicaciones OTT, que aprovechaban el exceso de capacidad en el acceso a internet móvil para ofrecer servicios multimedia.

Entre las aplicaciones OTT, *Over-The-Top* en inglés, especialmente triunfaron la mensajería instantánea en grupo (WhatsApp), las llamadas gratuitas de VoIP (Skype) entre dispositivos móviles y las redes sociales como Facebook y Twitter.

### 1.1.6. Principios de 2010-2020: IMS y las NGN se convierten en realidad

De nuevo, se repetía la situación de los años noventa, en la que el incremento de velocidad en la red de acceso móvil debía responder a la demanda futura, pero consiguiendo máxima eficiencia en costes de mantenimiento. Y aquí en-

#### Tecnología móvil 3G (UMTS) y sistema GSM

Con la tecnología móvil 3G (UMTS) se consiguió una conexión de banda ancha móvil. Sin embargo, las llamadas de voz seguían usando el sistema basado en GSM, con lo cual había que mantener dos infraestructuras: una para voz y SMS y otra para datos.

tra en juego la 4G, o lo que es lo mismo, la tecnología LTE, la cual está basada exclusivamente en paquetes (a diferencia de 3G, no se usa la infraestructura GSM para las llamadas de voz). El concepto de Todo-IP se aplica de nuevo para todos los servicios desde el propio terminal móvil a la red troncal.

En cuanto a la telefonía móvil, se desbordó el mercado de las aplicaciones OTT (WhatsApp, Line, Twitter, etc.), y a causa de ello el uso de los servicios de SMS y las llamadas de voz cayeron drásticamente afectando a los beneficios de las operadoras de telefonía móvil. Éstas se estaban convirtiendo en meros proveedores de conectividad inalámbrica a internet mientras las empresas desarrolladoras de aplicaciones se beneficiaban de ello.

La entidad 3GPP, que también especifica la telefonía 4G, definió a principios del siglo XXI el sistema IMS<sup>1</sup>, que puede ser considerado como el primer paso de la evolución hacia las redes NGN ya que su objetivo era sustituir toda la red de conmutación de circuitos por un sistema basado en IP y abierto a cualquier servicio multimedia actual (voz) o futuro sin necesidad de actualizar toda la red.

<sup>(1)</sup>IMS responde a las siglas *IP Multimedia Subsystem*.

De hecho, numerosos operadores de redes de telefonía fija aprovecharon la irrupción de IMS para planificar la migración paulatina (actualizando en ocasiones el *software* de los *softswitches* que pudieran tener ya) de toda su infraestructura de red troncal y servicios de voz a esta tecnología con el objetivo de ahorrar costes de mantenimiento (un núcleo IMS serviría para encaminar llamadas tanto de la red móvil como la red fija).

La GSMA, la asociación que aglutina a las principales operadoras de telefonía móvil, así como los fabricantes de terminales y fabricantes de equipos para la red troncal, acordaron en el Mobile World Congress del 2010 basar el futuro servicio de voz de LTE y mensajería en la tecnología IMS. Lo llamaron VoLTE (*Voice over LTE*) y posteriormente lo ampliaron con el RCS (*Rich Communication Suite*) que añadía más servicios multimedia a los dos anteriores. Estos incluyen la compartición de vídeo e imagen, servicio de presencia, mensajería instantánea y MMS. Lo bautizaron como Joyn y, aunque pretendió declarar la guerra directa a las OTT para recuperar el mercado perdido, no tuvo mucho éxito comercialmente hablando.

A pesar de que Joyn no tuvo el éxito esperado, VoLTE sí que se ha hecho un hueco especialmente en países asiáticos. Para diferenciarse de los servicios de llamadas de voz sobre IP gratuitas y *best effort* ofrecidas por aplicaciones OTT de mensajería instantánea.

#### VoLTE y la voz en HD

Las operadoras presentan VoLTE como el servicio de llamadas de voz en HD o alta definición gracias a la garantía de QoS de la red LTE y al codificador de voz que se emplea.

### 1.1.7. Mediados de 2010-2020: fibra óptica, 4G y los inicios de redes IoT

Si bien la tecnología basada en la fibra óptica ya se usaba en muchos otros ámbitos para la transmisión de grandes cantidades de datos, no fue hasta mediados de la segunda década que se estableció como el estándar *de facto* para las operadoras que proporcionan servicio de internet comercial a los usuarios, desplazando las tecnologías basadas en DSL sobre par de cobre que habían dominado el mercado durante las últimas dos décadas. Gracias a la fibra óptica, las velocidades de transferencia de datos han dado un salto cualitativo, y permiten a los proveedores ofrecer servicios de *streaming* de alta calidad a resoluciones hasta 4K, una de las aplicaciones que más ancho de banda requieren. Los tiempos de latencia también se han visto reducidos drásticamente, con la consiguiente mejora de los servicios en tiempo real.

Sin embargo, dicha tecnología solo es accesible de momento en los núcleos urbanos más importantes, relegando al resto de poblaciones el acceso mediante tecnología DSL. Es en este contexto donde proveedores como Netflix, HBO o las ofertas propias de los operadores tradicionales (como Movistar+) han podido irrumpir con mayor fuerza en los hogares.

La tecnología de fibra óptica se basa en el uso de fibras de vidrio o plástico por el que se propaga la luz gracias a las reflexiones internas que permiten que esta actúe como guía de onda, alcanzando velocidades de transmisión de datos del orden de los Gbps. Además, a diferencia de las tecnologías basadas en cables metálicos como el par de cobre, es inmune a las interferencias electromagnéticas.

En lo que a las tecnologías móviles se refiere, la presencia de la 4G y sus distintas versiones mejoradas se ha extendido prácticamente en todos los núcleos importantes, combinándose con la 3G en aquellas zonas donde aún no se ha implantado. Las últimas versiones de LTE permiten disfrutar de velocidades de conexión similares a las de la fibra óptica en ciertos puntos, aunque a diferencia de esta última, la gran mayoría de operadores móviles siguen estableciendo algún límite en el uso de datos móviles para evitar la congestión de sus redes.

En cuanto a IMS, aunque varias operadoras de telefonía móvil se decidieron a ofrecer VoLTE comercialmente e incluso incluir la red Wifi para poder acceder a servicios IMS (como el servicio *Wifi calling* o también llamado VoWifi), no pocas operadoras, sobretodo europeas, aún mantienen reticencias en cuanto a la implantación definitiva de VoLTE en sus redes. La argumentación es que, en una primera instancia, esa inversión necesaria para convertir su red de LTE en LTE Advance (compatible con IMS y sus servicios multimedia) no valía tanto la pena ya que seguirían ofreciendo los mismos servicios multimedia que ha-



bían ofrecido hasta entonces. Además, las plataformas que se comercializaban de IMS eran relativamente caras debido al *hardware* dedicado que incluían, haciéndolas poco escalables.

La solución que se encuentra para abaratar el coste de despliegue de estas nuevas redes basadas en IMS, viene de la mano de las técnicas de virtualización como SDN o NFV<sup>2</sup>, las cuales están en pleno auge y que permiten usar *hardware* de propósito general (mucho más barato).

<sup>(2)</sup>SDN responde a las siglas de *Software Defined Networks* y NFV a *Network Function Virtualization*, tecnologías que se estudiarán en módulos posteriores

Por otro lado, el concepto de *smart city* coge mucha fuerza ya que, en las grandes ciudades, cada vez más pobladas, la tendencia es crear entornos sostenibles, eficientes y agradables en las que se valora cada vez más la calidad de los servicios que esta ofrece.

Al calor de las ciudades inteligentes se crean multitud de soluciones y aplicaciones basadas en IoT y en la tecnología M2M. En esta época surgen incluso operadoras de redes de acceso inalámbricas exclusivamente dedicadas a proporcionar conectividad a este tipo de dispositivos, como por ejemplo Sigfox.

### **1.1.8. Finales de 2010-2020: 5G y la convergencia entre tecnologías**

La 5G es el término utilizado para referirse a las últimas tecnologías móviles. Se definió inicialmente por el estándar ITU IMT-2020, con velocidades teóricas de bajada de hasta 20 Gbps. Recientemente, el 3GPP también define este término para aquellos sistemas que adopten sistemas *New Radio*, dando lugar al 5G NR.

La 5G hace uso de las mismas bandas de frecuencia que la 4G/LTE (entre 600 MHz y 6 GHz) además de otras de más alta frecuencia (por encima de los 6 GHz), donde se consiguen las velocidades más altas.

Por otro lado, si con la 4G ya se llevaron a cabo los primeros esfuerzos para la convergencia con tecnologías de redes de acceso local –como Wi-Fi– para poder hacer frente a las limitaciones de cobertura, con la 5G esta convergencia se acelera (para escenarios con tráfico denso o situaciones *indoor*, por ejemplo), con la idea de poder utilizar simultáneamente múltiples tecnologías de acceso a la red.

## **1.2. El camino hacia la convergencia**

El camino hacia la convergencia nace con la creciente digitalización de contenidos, el cambio hacia redes basadas en IP, la difusión del acceso de banda ancha de gran velocidad y la disponibilidad de comunicaciones multimedia y dispositivos de computación. La convergencia tiene lugar a diferentes niveles:

- **Convergencia de redes**, conducida por el cambio hacia redes de banda ancha basadas en IP y al alto grado de flexibilización de uso de la infraes-

estructura basándose en tecnologías de virtualización que afecta tanto a los elementos de la red de acceso como troncal.

- **Convergencia en los terminales.** La mayoría de los aparatos actuales incluyen un microprocesador, una pantalla, almacenamiento, un dispositivo de entrada y una conexión de red. Los usuarios quieren usar el mismo dispositivo (teléfono móvil, TV, ordenador, teléfono fijo) para voz, datos, vídeo (tanto en tiempo real como en *streaming*) y juegos recreativos.
- **Convergencia de servicios,** derivada de la convergencia de redes y terminales innovadores, que permite el acceso a aplicaciones web y a nuevos servicios de valor añadido a través de diferentes dispositivos.
- **Convergencia de mercado,** que lleva en el mismo campo varias industrias que hasta el momento tenían mercados separados, como la de las tecnologías de la información, las telecomunicaciones y la multimedia.
- **Convergencia (o cooperación) legislativa** e institucional entre las regulaciones de telecomunicaciones y de redes de difusión.
- **Convergencia en la experiencia de usuario.** La interfaz entre los usuarios finales y las tecnologías de red debe ser única.

El proceso de convergencia también facilita la apertura del mercado de las telecomunicaciones a nuevos operadores. Los grandes operadores de telecomunicaciones desempeñan un papel fundamental en el proceso de convergencia, pero los nuevos actores tienen la oportunidad de adoptar diferentes modelos de mercado.

### **1.2.1. ¿Qué aportan las redes de nueva generación a los diferentes actores en el mundo de las telecomunicaciones?**

Las redes de nueva generación tienen un papel fundamental para hacer converger a dispositivos, usuarios, operadores y desarrolladores de aplicaciones. Tanto las redes como la gestión de los servicios deben adoptar una visión “extremo a extremo” en el diseño, la implementación y las operaciones. De este modo se pueden proporcionar ventajas a todos los actores.

Desde el punto de vista de **los usuarios**, estos se benefician de unos precios más bajos. Pueden elegir entre múltiples proveedores de servicios para obtener una máxima ventaja de las ofertas competitivas u obtener una sola factura por todos los servicios de voz, datos, vídeo y móvil. La factura del usuario se ajusta a los servicios disfrutados y cuenta con una amplia oferta de productos y servicios. Además, la NGN facilita la interacción con el usuario, dado que puede presentar los mismos servicios personalizados sea cual sea la red que utilice o

la tecnología del terminal empleado. Así, los usuarios pueden utilizar el mismo dispositivo (móvil, TV, ordenador, teléfono fijo) para voz, datos, vídeo y juegos, y obtener servicios bajo demanda.

Desde el punto de vista de **los desarrolladores de aplicaciones**, la NGN ofrece recursos e interfaces (API) con las que se pueden desarrollar aplicaciones. Estas APIs serán claves para la integración de servicios y para la virtualización de redes, como veremos en los próximos módulos.

Finalmente, desde el punto de vista de **los operadores**, el hecho de tener una sola plataforma multiservicios les permite reducir los costes de despliegue de la red y de operación, a la vez que pueden ofrecer un gran rango de servicios avanzados y proporcionar un entorno que posibilita el desarrollo de nuevos servicios. Se incrementa la rentabilidad de la red y se reduce al máximo el tiempo de recuperación de las inversiones, dado que se factura a los usuarios por múltiples servicios, aunque estén utilizando la misma infraestructura, la misma red. Además, el hecho de que la red esté basada en paquetes permite un ahorro de potencia y menos requisitos de espacio.

## 2. Contexto actual de las aplicaciones y usos de las redes

### 2.1. Sistemas distribuidos

La evolución tecnológica ha propiciado el desarrollo de sistemas distribuidos y actualmente esta es una de las topologías más comunes de los servicios de internet. Los sistemas distribuidos son sistemas que contienen múltiples procesadores conectados en una red de comunicaciones. Están diseñados para que muchos usuarios trabajen de manera conjunta.

En este apartado presentamos dos de los sistemas distribuidos que más popularidad y aceptación tienen entre el sector empresarial y los usuarios domésticos.

#### 2.1.1. Computación en la nube (*cloud computing*)

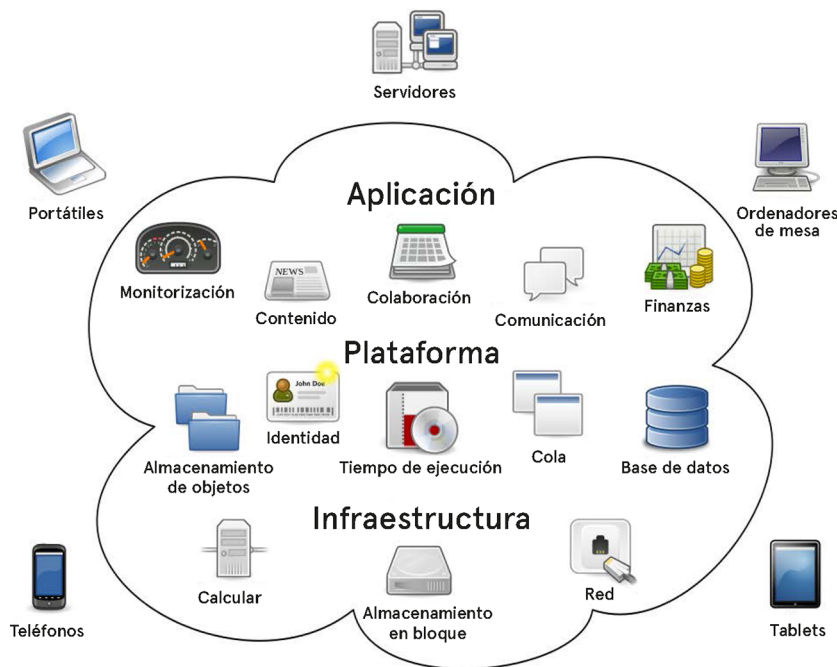
La computación en la nube se puede definir como una tecnología que permite ofrecer servicios de computación a través de internet. La idea es liberar el ordenador personal de los usuarios de la carga que supone tener un programa instalado en él y ofrecer al usuario los recursos necesarios para que pueda realizar sus tareas bajo demanda mediante servidores en línea. Los beneficios que aporta son los siguientes:

- **Eficiencia:** permite reducir el coste de propiedad de *hardware* y *software* y su mantenimiento. El usuario paga los servicios de la nube por lo que usa (*software*, almacenamiento, acceso a base de datos, etc.), pero no debe adquirir un producto para su uso ilimitado. Por otro lado, se mejora la utilización y la eficiencia de los equipos.
- **Potencia** de computación elevada.
- **Flexibilidad:** independencia de la localización; un usuario puede utilizar un servicio esté donde esté.
- **Escalabilidad:** capacidad para entregar aplicaciones y servicios, y extender automáticamente la infraestructura según las necesidades solicitadas por el usuario.
- **Abstracción:** capacidad para ofrecer una interfaz sencilla al usuario, que no debe preocuparse por los detalles de la infraestructura o el sistema operativo que hay por debajo a la hora de usar un servicio.

En función de cómo se presta el servicio de computación en la nube, podemos distinguir entre tres modalidades:

- **Software como Servicio (SaaS, Software as a Service)**. En este modelo, las aplicaciones de *software* están alojadas en un servidor por un proveedor de servicios, que los pone a disposición de sus usuarios a través de una red (como internet)
- **Plataforma como Servicio (PaaS, Platform as a Service)**. En este caso, se abastece a los usuarios una plataforma completa como un sistema operativo y sus servicios asociados a través de la red, sin necesidad de instalación
- **Infraestructura como Servicio (IaaS)**. Se trata de un modelo que pone a disposición de los usuarios de una infraestructura formada por servidores, sistemas de almacenamiento, componentes de red y otros dispositivos de *hardware*. De aquí surge el concepto de *network slicing*, en el que una red física puede ser virtualizada en varias redes de capacidad más reducida pero ajustada a la demanda del cliente.

Figura 2. Cloud Computing



Fuente: Creative Commons.

Proveedores como AWS (Amazon Web Services) o Microsoft Azure ofrecen soluciones tanto para IaaS como para PaaS. Servicios como Google Apps o Dropbox son ejemplos de SaaS.

La computación en la nube puede trabajar en cuatro modalidades según cómo opera:

- 1) **Nube privada:** la infraestructura de la nube solo opera para una organización. La gestión de la nube la realiza la propia organización o una tercera parte.
- 2) **Nube comunitaria:** la infraestructura es compartida por varias organizaciones y soporta una comunidad específica que tiene intereses compartidos (por ejemplo, la política y las consideraciones de cumplimiento, los requisitos de seguridad, etc.).
- 3) **Nube pública:** la infraestructura está a disposición del público general o de un grupo industrial y es propiedad de una organización que vende los servicios de computación en la nube.
- 4) **Nube híbrida:** la infraestructura de la nube es una composición de dos o más nubes que permiten la portabilidad de datos y aplicaciones de una nube a otras mediante tecnologías específicas.

El principio básico de la computación en la nube es distribuir las tareas computacionales en varios ordenadores distribuidos, no en computadoras locales o en servidores remotos.

Por otro lado, los principales inconvenientes que pueden identificarse con la computación en la nube están relacionados con la protección de la seguridad y privacidad de datos y programas, la fiabilidad del servicio y la limitación de los servicios a tener una conexión a internet con una cierta calidad de servicio.

### 2.1.2. Computación *grid*

La computación en la nube a veces se confunde con la computación *grid*, pero no es exactamente lo mismo. El concepto *grid* nació a principios de los años noventa como propuesta para el desarrollo de infraestructuras computacionales avanzadas para el soporte de la ciencia y la ingeniería. La computación *grid* vincula procesadores dispares para crear una única gran infraestructura agregando la potencia de proceso de todas las computadoras. Los sistemas *grid* proporcionan grandes capacidades de cómputo. Por otro lado, la computación en la nube se centra en ofrecer recursos bajo demanda a través de la web. Su foco está más en la disponibilidad que en una alta potencia de cálculo, permitiendo utilizar más recursos si se produce un pico de demanda y apagar recursos si no están siendo utilizados. La computación *grid* puede o no estar en la nube, dependiendo del tipo de usuarios que la utilizan.

Para poder ejecutar una aplicación en *grid*, esta debe poder ser dividida en subtareas independientes que puedan ser ejecutadas en paralelo sin que haya comunicación entre sí (o que esta sea muy escasa).

Existen varios tipos de aplicaciones que se pueden beneficiar de *grid*: aplicaciones de alto rendimiento que necesitan evaluar muchos datos, aplicaciones intensivas desde el punto de vista computacional o aplicaciones de computación colaborativa. Estas últimas forman parte de los sistemas de computación voluntaria, unos sistemas en los que los recursos provienen de varias fuentes independientes entre sí, siendo habitual que procedan de usuarios particulares que aportan recursos de sus ordenadores personales cuando no los están utilizando.

Estos sistemas son un ejemplo del nuevo papel que los usuarios están adquiriendo en las redes del futuro, pasando de ser meros espectadores a ser los principales actores de las acciones que se llevan a cabo.

Un ejemplo de sistema *grid* de computación voluntaria es el proyecto BOINC. Se trata de una plataforma abierta creada por la Universidad de Berkeley, en la que los investigadores pueden incorporar sus proyectos pidiendo a las personas voluntarias que colaboren en la investigación, dejando los recursos no utilizados de su ordenador personal para hacer determinadas tareas. La plataforma prescinde de la gestión de la QoS, asumiendo que el número de recursos del sistema es virtualmente ilimitado y que por lo tanto se pueden ejecutar varias réplicas de una misma tarea en varios nodos. De esta manera se garantiza que uno de ellos acabará el trabajo en el tiempo y la forma estipulada. Uno de sus proyectos más exitosos de BOINC es el SETI@home, que tenía la finalidad de investigar los fenómenos del espacio interestelar.

## **2.2. Redes sociales y comercio electrónico**

### **2.2.1. Redes sociales**

Internet ha evolucionado creando nuevos productos, servicios e incluso nuevos modelos de comunicación y de relación entre las personas. Estas ya forman parte de la propia red convertida en red social.

Una red social se puede definir como un servicio que permite a los individuos construir un perfil público o semipúblico dentro de un sistema delimitado, articular una lista de otros usuarios con los que comparten una conexión, y ver y recorrer su lista para conocer las acciones que han realizado en el sistema los usuarios con los que está conectado. Las redes sociales se pueden representar en forma de uno o varios grafos en los que los nodos representan a los individuos y las aristas representan a las relaciones entre sí. Las relaciones pueden ser de diferente tipo, intercambios financieros, amistad, colaboración profesional, etc. Las redes sociales propician la interacción de miles de personas en tiempo real.

El remarcable crecimiento de las redes sociales en todo el mundo es uno de los indicadores más claros de que las tecnologías digitales están cambiando radicalmente el marco de comunicación y relaciones entre las personas. Muchos usuarios activos pasan horas en internet trabajando y socializando a través de las redes sociales.

Las redes sociales están cambiando el modo como la gente se mantiene en contacto y con quién mantiene el contacto. Se utilizan tanto para mantener conversaciones con amigos a los que vemos cada día cara a cara, como para las comunicaciones con conocidos o familiares con quienes no coincidimos regularmente.

Las redes sociales pueden actuar como un amplificador de las interacciones del día a día, incrementando el espacio para discutir acontecimientos y actividades, al mismo tiempo que simplificando los medios de comunicación. Las actualizaciones del estado de una persona a través de mensajes cortos permiten una comunicación ágil y simple.

### **2.2.2. Comercio electrónico**

El auge del comercio electrónico (*e-commerce*) ha sido otra de las consecuencias de los avances en internet, ligados a los medios de pago electrónico.

En un principio, muchos usuarios eran reacios a la compra de bienes a través de la red, debido principalmente a la percepción de inseguridad que imperaba. Los bancos y otros organismos financieros realizaron grandes progresos para cambiar esta concepción, facilitando las transacciones en línea y proporcionando todo tipo de mecanismos de protección para el usuario final.

Algunas empresas empezaron a vender sus productos en línea del mismo modo que lo hacían físicamente en sus tiendas, pero la gran revolución del comercio electrónico llegó de la mano de las nuevas tiendas *online* que solo proporcionaban sus servicios en línea. El caso de mayor éxito es seguramente **Amazon**, fundada en 1994 por Jezz Bezos (actualmente uno de los empresarios más ricos del mundo), empezó vendiendo libros en línea, para disponer hoy en día de cientos de miles de referencias diferentes de productos.

### **2.3. Servicios multimedia con alto grado de interactividad**

Los servicios multimedia interactivos son aquellos que establecen algún tipo de interacción entre el usuario y los contenidos ofrecidos por dichos servicios. Estos contenidos se adaptan pues en función de las acciones realizadas por el usuario. Los sistemas con alto grado de interactividad son aquellos en los que se intercambia información constantemente, lo que resulta en un conjunto de exigencias para la red que ofrece estos servicios.

Las llamadas de voz son uno de los servicios interactivos más tradicionales, en donde se establece una comunicación simultánea bidireccional de audio. En el caso de las videollamadas o **videoconferencias**, se le añade el componente de imagen (vídeo) para dar lugar a un servicio multimedia con alto grado



de interactividad. En estas es posible transmitir también, dependiendo de la aplicación, otro tipo de datos, como ficheros o imágenes que sirven para enriquecer las comunicaciones entre los usuarios.

La industria del **videojuego online** es una de las más lucrativas actualmente. Lo que empezó como simples juegos con apenas colores y rudimentarias reglas se ha transformado hoy en una fructífera industria cuyos ingresos superan incluso los del séptimo arte. Algunos de los últimos videojuegos cuentan con presupuestos superiores a los de grandes producciones cinematográficas y su realismo exprime al máximo las exigencias en cuanto a equipos electrónicos se refiere. Ya sean consolas dedicadas o ordenadores (o incluso *smartphones*), el aspecto gráfico es uno de los aspectos que más potencia requiere, y no es de extrañar que las tarjetas gráficas y GPUs sean hoy los componentes más potentes y caros de muchos dispositivos.

A nivel de red, la proliferación de las plataformas de juego entre múltiples jugadores (primero mediante redes locales y más tarde *online* con cualquier usuario de la Web) ha impulsado la necesidad de establecer un sistema de conexión con latencias extremadamente bajas.

#### **2.4. Acceso a contenidos multimedia**

Muchos de los contenidos audiovisuales (como cine o televisión) que hasta hace poco solo estaban disponibles a través de los canales de *broadcasting* tradicionales, se ofrecen ahora como servicios multimedia a través de internet, gracias al aumento de la velocidad de transferencia de las redes. De hecho, la proliferación de los contenidos en alta definición ha supuesto un reto para las operadoras desde el punto de vista técnico, para adecuar sus redes de acceso al medio con tecnologías capaces de brindar las prestaciones necesarias a estos contenidos.

Las mejoras en las tecnologías de tipo ADSL, pero sobre todo la implantación de la fibra óptica ha permitido disponer de contenidos audiovisuales que antes solo estaban disponibles mediante los canales de televisión convencionales. Servicios como Netflix, HBO, Wuaki TV (Rakuten) o Prime Video (Amazon) son algunos de los casos de éxito más conocidos, a los cuales se puede acceder a través de estas conexiones de banda ancha. Incluso las tecnologías móviles 4G/LTE permiten disfrutar de estos contenidos, aunque en este caso limitados por el consumo de datos.

Asimismo, para poder satisfacer la alta demanda de contenido multimedia, ha sido necesaria la implantación de las conocidas como redes de **distribución de contenidos** o **CDN** (*Content Delivery Network*), redes formadas por servidores que replican el contenido en diferentes ubicaciones con el objetivo de maxi-

mizar el ancho de banda para el acceso de los datos por parte de los usuarios. Al mover el contenido más cerca de estos últimos, se consigue reducir el tiempo de respuesta y mejorar la calidad del servicio.

Por otro lado, los operadores han sabido explotar el auge de estos contenidos multimedia para ofrecer contenidos propios para *streaming*, pero también forjar alianzas con las mencionadas empresas de servicios, para poder ofrecer estos contenidos a través de la televisión, que aún hoy en día sigue siendo el principal dispositivo de consumo audiovisual.

## 2.5. Internet de las cosas (IoT)

El concepto de internet de las cosas (*Internet of things*, IoT) nace en el año 2005, cuando la ITU publica el primer estudio sobre el tema. Hasta entonces se hablaba de que las tecnologías de la información y de las comunicaciones se basaban en las 3A –*anytime, any place and for anyone*–, y la ITU añade una cuarta: proporcionar conectividad para *anything*. La idea básica es que cualquier objeto físico que tengamos pueda devenir un terminal conectado a internet. Para ser más precisos, las cosas no resultan ser computadoras, pero se pueden comportar como pequeñas computadoras, y cuando lo hacen las denominamos **objetos inteligentes**.

Internet de las cosas es posible gracias al abaratamiento de los procesadores, de las memorias, a la reducción de las dimensiones de los sensores y actuadores, y evidentemente, a las mejoras en las capacidades de conexión a la red. El cambio de IPv4 a IPv6 ha sido decisivo para poder impulsar la IoT, y la implantación de las redes de nueva generación permitirá la implantación de una conectividad ubicua real.

### IPv6

El IPv6 asegura que podríamos asignar una dirección IPv6 a cada átomo de la superficie de la Tierra y aun así tener suficientes direcciones para asignar a los átomos de otras 100 Tierras.

Hay tres componentes esenciales de internet de las cosas:

- 1) Necesidad de dispositivos muy ligeros, baratos y de muy bajo consumo eléctrico, y otras de grandes prestaciones.
- 2) Conectividad escalable: uno de los retos más importantes es conseguir conectividad de bajo coste no solo para direccionar el crecimiento exponencial de nodos de la red, sino también para adaptarse a los diferentes requisitos de los dispositivos.
- 3) Gestión y servicios basados en computación en la nube: la visión del futuro ya no es la de un dispositivo actuando solo, sino la de muchos dispositivos trabajando juntos.

**¿Cuál es la diferencia entre internet e internet de las cosas?**

Podemos resumir las diferencias más importantes en los siguientes puntos:

- El *hardware* es casi invisible y tiene una fracción muy pequeña de las funciones que puede tener el *hardware* tradicional de internet (servidores, estaciones de trabajo, portátiles o móviles).
- Billones de nodos conectados en comparación a los mil millones que puede tener internet.
- Los volúmenes de datos que envían/reciben los dispositivos es pequeño (aunque los pueden recibir con frecuencia), a diferencia de lo que sucede en internet, donde las redes de acceso han tenido que ir aumentando su ancho de banda para poder llevar banda ancha a los hogares.
- Sistemas centrados en el *hardware* en lugar de en el usuario. La gran mayoría de los servicios de internet están destinados a usuarios humanos (web, correo electrónico, compartición de ficheros, telefonía, etc.), mientras que los atributos de la IoT casi excluyen a los humanos de cualquier intervención directa.
- El foco está en la detección y no en la comunicación. En internet lo importante es poder establecer un enlace de comunicaciones entre dos entidades para poder compartir datos. En IoT la importancia radica en que los objetos y los lugares generan datos automáticamente, y que estos permitan detectar, alertar y modificar los parámetros del entorno.

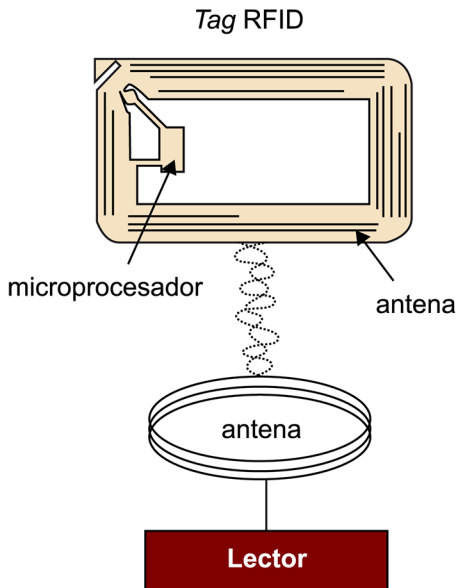
Internet de las cosas abarca numerosas tecnologías y disciplinas de investigación para permitir que internet llegue al mundo real de los objetos físicos, como la identificación de objetos, las comunicaciones inalámbricas de corto alcance (*Near Field Communications*, NFC), la geolocalización de nodos en tiempo real o la obtención de datos a través de redes de sensores. En internet de las cosas los objetos pueden comunicarse automáticamente entre sí y con internet. Uno de los componentes principales de IoT es la tecnología de identificación por radio frecuencia (*Radio Frequency Identification*, RFID), que permite que las cosas estén enlazadas con su identidad virtual de internet.

Los *tags* RFID contienen un identificador único de objeto que se puede leer de forma automática sin necesidad de tener visión directa con el objeto. Los *tags* RFID pasivos no necesitan alimentación eléctrica y son los que tradicionalmente se han utilizado para identificar objetos. Actualmente se está trabajando con *tags* activos y semipasivos que pueden dar funcionalidades adicionales y más autonomía a los objetos.

#### RFID

Un sistema RFID consiste en *tags*, lectores y antenas. Cada *tag* tiene un código de producto electrónico (*Electronic Product Code*, EPC) que puede ser usado para identificar un objeto de forma única. El lector se utiliza para leer los datos guardados en los *tags* RFID o para añadir nueva información. Para la transmisión de las señales de radio frecuencia entre el lector y el *tag* se utilizan antenas.

Figura 3. Sistema RFID.



La arquitectura de un sistema IoT está formada por tres capas que contienen ítems de información, redes independientes y aplicaciones inteligentes:

- La **capa de la información** es capaz de identificar elementos y percibir información del entorno físico. Los dispositivos que forman parte de esta capa pueden formar una red entre sí (por ejemplo, red de sensores) o actuar de manera aislada. En cualquier caso, una vez han recogido la información, deben transmitirla a una pasarela de comunicaciones a través de RFID.
- La **capa de red** incluye diferentes tipos de pasarelas cableadas o inalámbricas, redes de acceso y redes troncales, y principalmente realiza la transmisión, el enrutamiento y el control entre las capas de información y de aplicaciones. La capa de red puede implementarse mediante diferentes redes de telecomunicaciones y de internet, o a través de redes privadas corporativas.
- La **capa de aplicaciones** es la que almacena y procesa la información. Además, es la que ejecuta el control del sistema. Aquí es donde se ubican las aplicaciones basadas en *Big Data* o procesamiento masivo de datos.

El objetivo principal del despliegue de IoT es poder monitorizar y controlar objetos vía internet. Algunas iniciativas de IoT son:

- Ciudades inteligentes (*smart cities*)
- Domótica (casas inteligentes)
- Conducción autónoma

A continuación, introduciremos el funcionamiento de las **comunicaciones máquina-máquina (M2M)** que se establecen entre los distintos dispositivos que componen estos sistemas.

### 2.5.1. Comunicaciones máquina-máquina (M2M)

Podemos definir la M2M como una comunicación entre dos o más entidades que no necesita necesariamente ninguna intervención directa del hombre.

Las propiedades de las aplicaciones M2M son:

- Gran número de dispositivos. Las aplicaciones típicas involucran a muchos terminales concentrados en un área (lo que provoca una gran densidad de dispositivos), o justo lo contrario, muchos dispositivos distantes y muy espaciados.
- Poca movilidad.
- Los dispositivos se pueden juntar en grupos, lo que permite crear políticas más eficientes para el grupo.
- Algunas de las aplicaciones son tolerantes a los retardos en las transmisiones y permiten que los dispositivos envíen/reciban datos solo en ciertos periodos de tiempo.

El ámbito de actuación del M2M es en escenarios donde la información emitida y recibida de las máquinas habilitan su integración en los procesos empresariales. Por ejemplo:

- Sistemas de *vending*. Permite gestionar y optimizar la reposición de los productos según el consumo. También permite telecontrolar varios ajustes de las máquinas expendedoras.
- Lectura de contadores. Permite conocer la demanda energética en tiempo real y según esta dimensionar las necesidades de la distribución. Esta es una de las propiedades que permite construir redes eléctricas inteligentes (*smartgrids*).
- Medicina. Los datos de los pacientes se pueden enviar de manera regular y automática a los servicios médicos, evitando que los enfermos deban desplazarse al hospital. Según el análisis de los datos se pueden generar alarmas y planificar citas para el seguimiento de la evolución del paciente.
- Automoción. Aplicaciones que permiten la localización del vehículo e interactuar con algunas de sus funcionalidades.

#### Smartgrid

Una *smartgrid* es una red que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados en ella –generadores, consumidores y los que son las dos cosas a la vez– con el objetivo de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible. Las *smartgrids* utilizan tecnologías de comunicación, control, monitorización y auto-diagnos.

- Control de acceso. Alarmas para vigilar domicilios y empresas. En este caso, el propio canal de comunicaciones que envía la información es monitorizado y tratado como un elemento clave en la seguridad.
- Sistemas de domótica, por ejemplo, para controlar la eficiencia energética del hogar, poniendo en marcha y parando las calefacciones cuando conviene.
- Gestión de flotas. Servicios para conocer y monitorizar el estado de un vehículo y de su carga según un conjunto de sensores que miden la presión, temperatura, impactos, integridad, etc.

La M2M representa un futuro en el que millones de objetos de la vida cotidiana y el entorno que los rodea están conectados y gestionados por una serie de dispositivos a través de redes de comunicaciones estandarizadas.

Seguidamente, veremos algunos de los ejemplos más típicos de sistemas IoT y comunicaciones M2M, como son las *smart cities*, la **domótica** o la **conducción autónoma**.

### 2.5.2. *Smart Cities*

Las *smart cities* son ciudades dotadas de soluciones tecnológicas avanzadas que permiten mejorar las necesidades de los ciudadanos y facilitarles su interacción con los elementos urbanos. El concepto engloba una serie de servicios que dirigen la ciudad hacia un modelo de gestión de las infraestructuras urbanas automático y eficiente. La principal ventaja es que con ellos se consigue una reducción de los gastos y se ofrece una mejora en la diversidad y calidad de los servicios.

Los servicios de una *smart city* son varios, intentando siempre ofrecer servicios comprometidos con el entorno y para los cuales existe una demanda manifiesta. Algunos de ellos son:

- a) Mejorar el tráfico mediante diferentes acciones:
- Elaborar un análisis de los flujos de tráfico dando prioridad al transporte de emergencias y al transporte público.
  - Detección automática de las infracciones del código de circulación y de los peligros en las carreteras, e información de los accidentes sufridos por vehículos próximos mediante las señales adecuadas.
  - Desarrollo de modelos matemáticos y simulaciones para poder comparar diferentes vías de circulación y escenarios de transporte para predecir efectos ambientales.

- Implantación de servicios de información en línea para ciudadanos y de servicios de búsquedas a través de teléfonos móviles.
- b) Mejorar la movilidad urbana mediante servicios en línea en los que los ciudadanos pueden encontrar información sobre los tiempos estimados de llegada del transporte público, las conexiones, los servicios para compartir bicicletas, coches, la información sobre lugares libres donde aparcar, etc.
- c) Implantar herramientas para la e-gobernanza y la participación ciudadana, por ejemplo, mediante encuestas en línea para conocer la opinión de los ciudadanos o la ejecución de votaciones electrónicas.
- d) Conservar el medio ambiente mediante sensores que controlen la contaminación del aire y del agua, al tiempo que permitan la aplicación de políticas verdes.
- e) Modelos logísticos eficientes: enrutamiento de vehículos, gestión de la recogida de basura, limpieza de las calles, etc.
- f) Mejora de los servicios de la Administración: disminución de las colas y los tiempos de espera en las oficinas municipales o centros de salud, por ejemplo.
- g) Eficiencia y gestión energética: autogeneración y almacenamiento de la energía de origen renovable, gestión inteligente de la distribución de energía (*smart green*) o gestión eficiente del uso final de la energía.

### 2.5.3. Domótica

Otras aplicaciones de IoT que en cierto modo están relacionadas con las ciudades inteligentes son las llamadas casas inteligentes y las comunidades inteligentes.

Las casas inteligentes tienen incrustados sensores y actuadores en diferentes elementos del hogar (electrodomésticos, calefacción, sistemas de cierre, iluminación, riego, etc.) que se pueden controlar remotamente a través de internet. Los objetos inteligentes del hogar capturan la información de su entorno, y las actividades de los usuarios, prevén comportamientos futuros y lo preparan todo por adelantado de acuerdo con las preferencias y necesidades del usuario, proporcionándole eficiencia, confort y comodidad.

Esta automatización de los sistemas de una vivienda recibe el nombre de domótica. Con la proliferación de los *smartphones*, la mayoría de estos objetos se conectan y controlan mediante una aplicación móvil, no solo desde el propio entorno de la vivienda, sino remotamente vía internet (normalmente estableciendo una comunicación a través de un *hub* que permite autenticar al usuario y cifrar la transmisión de datos).

Si extendemos el concepto de casa inteligente en un entorno urbano, tenemos una comunidad inteligente. Las comunidades inteligentes están formadas por una red *multihop* de casas inteligentes que continuamente monitorizan el entorno en la comunidad desde diferentes aspectos y dan servicios, como alertas y acciones automáticas orientadas a la seguridad del hogar, servicios de ayuda ante emergencias, mantenimiento de la calidad de salud, etc.

#### 2.5.4. Conducción autónoma

La industria del automóvil es, tradicionalmente, uno de los sectores más conservadores en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías se refiere, debido a las exigentes pruebas que deben realizarse para garantizar los aspectos de seguridad y fiabilidad.

Sin embargo, esta industria también se ha visto influenciada por el crecimiento del IoT, y es cuestión de tiempo que los vehículos estén cada vez más conectados a la red.

En este sentido, la conducción autónoma es una de las tendencias que más está dando que hablar en los últimos años, debido a las implicaciones que tiene para el transporte de personas y mercancías.

Dependiendo del grado de autonomía del vehículo, es necesario dotar a este de un conjunto de dispositivos que le permiten tomar decisiones y reaccionar a tiempo según los diferentes imprevistos que se encuentra. Además de los distintos sensores, cámaras y radares de los que está equipado, el vehículo debe interactuar con su entorno intercambiando información con otros vehículos (comunicaciones V2V o *Vehicle-to-Vehicle*) o con elementos de la carretera (comunicaciones V2I o *Vehicle-to-Infrastructure*) que le permita recibir información adicional que influyan en dicha toma de decisiones.

Consecuentemente, es necesario también disponer de un sistema de comunicación muy eficiente, especialmente en lo que se refiere a la latencia, para poder tomar estas decisiones con el menor retardo posible.

Es por este motivo que la conducción autónoma será una de las principales beneficiadas de la 5G, que contempla una latencia bastante más pequeña que los actuales sistemas de comunicaciones móviles, incluido el 4G y el 5G.

#### Creación de protocolos propios

La gran mayoría de las principales empresas tecnológicas han creado sus propios protocolos para conectar distintos dispositivos de domótica con su propio ecosistema, como son Apple HomeKit o Google Home.

#### Ejemplo de conducción autónoma

Un ejemplo de aplicación de conducción autónoma en el que intervienen comunicaciones V2V es el llamado *platooning*, donde se puede mantener toda una comitiva de camiones uno tras otro siguiendo una misma ruta.



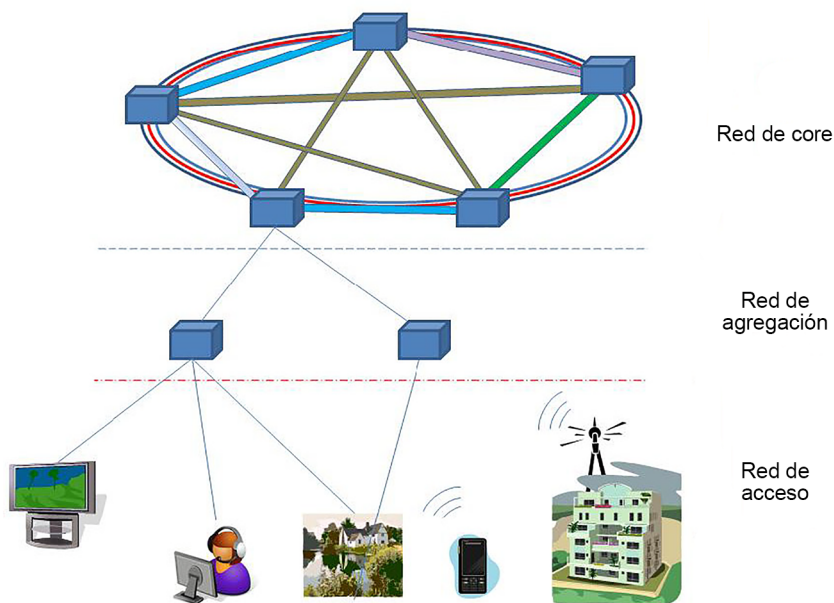
### 3. Tipo de redes de telecomunicaciones según su tecnología

#### 3.1. Segmentos que conforman una red de comunicaciones

En toda red de telecomunicaciones pueden identificarse tres grandes segmentos:

- la red de acceso
- la red de agregación
- la red troncal o núcleo de la red (red de *core*)

Figura 4. Segmentos que conforman una red de comunicaciones.



Fuente: Creative Commons.

Las **redes de acceso** son aquellas mediante las cuales los usuarios se conectan al núcleo de la red –mediante una red de agregación– para obtener un conjunto de servicios determinado. Se trata del último tramo de la red, conocida como última milla (*last mile*).

Las **redes de agregación** sirven para hacer converger los tráficos de diferentes usuarios con el objetivo de disminuir el número de enlaces hacia un único protocolo de red y maximizar así su capacidad, inferior a la suma de capacidades de las redes de acceso.

La **red troncal** (*backbone*) o núcleo de red es el tramo que corresponde al propio *core* de la red, y transporta la información de las redes agregadas para proporcionar los servicios a los usuarios finales. Se trata de una infraestructura de alta capacidad capaz de agregar el tráfico de múltiples redes.

Mientras que las redes de agregación y la red troncal están basadas generalmente en tecnología de fibra, para las redes de acceso existe una gran disparidad de tecnologías usadas. De hecho, son estas últimas las que más han evolucionado en los últimos años, con el objetivo de proporcionar cada vez un mayor ancho de banda a los usuarios, de modo que las redes de acceso no supongan un cuello de botella para los servicios ofertados.

### **3.2. Tecnologías cableadas**

La constante evolución tecnológica en el ámbito de las comunicaciones y la información ha permitido ofrecer incrementos en las velocidades de conexión a internet, con el consecuente desarrollo de contenidos y aplicaciones que utilizan al mismo tiempo cada vez más ancho de banda.

Las tecnologías xDSL han aprovechado al máximo la capacidad de las redes tradicionales de cobre para ofrecer velocidades de hasta 30 Mbps, mientras las redes de cable han ido mejorando para incrementar también sus velocidades. Sin embargo, las redes de acceso de nueva generación representan un salto más allá de la evolución de una tecnología sustentada en las redes tradicionales.

Los soportes físicos son básicamente cuatro: el par de cobre, la fibra óptica, el cable coaxial y la red de potencia eléctrica.

#### **3.2.1. El par de cobre**

El par de cobre tradicional usado en la RTC tiene una capacidad de transporte de información cuyo ancho de banda es insuficiente para las redes de nueva generación. No obstante, su capacidad puede incrementarse utilizando las tecnologías de acceso xDSL (*Digital Subscriber Line*).

La voz humana utiliza normalmente frecuencias de entre 0 y 4 KHz. El sistema xDSL aprovecha la capacidad de la línea para transmitir datos en una banda de frecuencia más alta que la que se utiliza para transmitir la voz. El ancho de banda se divide en tres canales: uno de voz (4 KHz), un canal de bajada de datos (de la central al usuario) y otro de subida (del usuario a la central). Todos los datos pasan a través de un filtro que separa las señales de baja frecuencia (voz) y alta frecuencia (datos), de modo que se pueden realizar conversaciones telefónicas y transmisión de datos simultáneamente.

El ancho de banda entregado al usuario depende de los siguientes factores:

- La calidad de las líneas.
- La distancia entre la central telefónica y el usuario.
- El calibre del cable.
- El modelo de modulación utilizado.

La primera norma xDSL fue la ADSL (*Asymmetric DSL*), que permitía velocidades de 8 Mbps de bajada y 1 Mbps de subida. Las normas fueron sucediéndose (ADSL2, ADSL2+) para llegar al VDSL (*Veryhigh bit-rate DSL*), una evolución de la ADSL que permite suministrar datos al usuario con unas velocidades de transmisión teóricas asimétricas (52 Mbps de bajada y 12 Mbps de subida) o simétricas (26 Mbps tanto de bajada como de subida). El VDSL2 que permite una transmisión de datos de tipo simétrico y asimétrico de hasta 250 Mbps de salida de la central.

### 3.2.2. Cable coaxial

Las redes híbridas fibra/coaxial (*Hybrid Fibre Coaxial*, HFC) son una evolución de las redes de distribución de televisión por cable coaxial (CATV), en las que se ha sustituido el cable coaxial por fibra óptica, a excepción del último tramo, el del acceso al cliente. La particularidad de estas redes es que ya transportan señales de televisión, utilizando casi todo el ancho de banda disponible en el descenso. Para permitir el tráfico bidireccional se utiliza para el descenso de datos el espectro de varios canales anteriormente destinados a la televisión, y para la subida se utiliza un ancho de banda reservado (las frecuencias inferiores).

El uso de estas bandas se realiza según unas especificaciones denominadas DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), cuya primera versión fue aprobada en 1997. Estos desarrollos están permitiendo a las compañías de cable ofrecer servicios de voz y acceso a internet en competencia con las compañías de telecomunicaciones tradicionales.

La velocidad de datos que se obtiene depende de los anchos de banda asignados y de la modulación. El último gran protocolo aprobado del DOCSIS es el 3.0 (2006), que permite multiplexar canales (*channel bonding*) y pueden sobrepasar los 100 Mbps en los dos sentidos (160 Mbps de bajada y 120 Mbps de subida). Además, este estándar ya soporta el IPv6 e IPTV.

La última revisión, el DOCSIS 3.1 (2014), pretende acercarse todavía más a las capacidades de las redes de fibra pura. Sin embargo, ya se está trabajando en la próxima especificación (DOCSIS 4.0), que elevaría las velocidades de transferencia hasta los 10 Gbps simétricos.

#### EuroDOCSIS

La versión europea de DOCSIS se denomina EuroDOCSIS. La diferencia entre las dos versiones es que los canales de cable tienen un ancho de banda de 6 MHz en América (sistema NTSC) y de 8 MHz en Europa (sistema PAL).

### 3.2.3. Redes de potencia

La comunicación por líneas de potencia (*PowerLine Communications*, PLC) es un nombre genérico que se otorga a la transmisión de datos por el segmento de baja y media tensión de las redes eléctricas. Más específicamente, se denominan sistemas de comunicación de banda ancha por líneas de potencia (*broad-band over powerlines*, BPL) las líneas que ofrecen servicios de alta velocidad de comunicaciones. Un punto clave de esta tecnología es que no requiere la instalación del cableado en la última milla, dado que aprovecha una infraestructura ya existente en los hogares.

La energía eléctrica llega a los usuarios en forma de corriente alterna de baja frecuencia (50 o 60 Hz). El esquema general del BPL consiste en la superposición de una señal de alta frecuencia (de 2 a 100 MHz) con bajos niveles de energía sobre la señal eléctrica. Esta señal se transmite mediante la infraestructura de la red eléctrica y se puede recibir y descodificar de modo remoto. Así, la señal BPL es recibida por cualquier receptor BPL que se encuentre en la misma red eléctrica.

Actualmente existen varios estándares para sistemas BPL creados por distintos organismos (ESTI, CENELEC, FCC y el IEEE), que se enfocan a temas como el acoplamiento de líneas eléctricas, la seguridad y la compatibilidad electromagnética. Por otro lado, el estándar IEEE P1901 (publicado por primera vez en diciembre del 2010) recoge un acuerdo entre los grandes fabricantes para definir los mecanismos de coexistencia e interoperabilidad entre dispositivos BPL, mecanismos de calidad de servicio y ancho de banda, así como mecanismos de seguridad, permitiendo de este modo el crecimiento del mercado.

La red BPL se extiende desde el transformador de media a baja tensión (el equipo de cabecera se sitúa justo después del transformador para evitar que los datos pasen a través de este) hasta los contadores de los abonados. La inyección de la señal en el interior de los hogares se realiza mediante acopladores que realizan el acoplamiento de la señal después del contador eléctrico. Esto se debe a que el contador actúa de barrera para la señal, y aunque se pudieran transmitir datos pasando por él, la degradación de estos sería tal que se opta por evitarlo. Dentro de la vivienda los equipos se pueden conectar a la red mediante un equipo terminal de usuario (CPE) o módem.

Por otro lado, debido a las características de la red eléctrica y considerando que la señal se atenúa con la distancia, se utilizan equipos regeneradores o repetidores cada 200 o 300 m.

### 3.2.4. Fibra óptica

Para poder ofrecer servicios de banda ancha de manera masiva, resulta imprescindible disponer de una tecnología de acceso de elevada capacidad y bajo coste, que sea al mismo tiempo capaz de proporcionar los niveles de calidad de servicio adecuados a cada aplicación.

La fibra óptica tiene unas características excepcionales, como su pequeño peso y volumen y su bajo coste (la fibra en sí misma); además, es fácil de manejar y tiene un gran ancho de banda; se han conseguido bajas atenuaciones y grandes velocidades con pocos repetidores. Asimismo, presenta posibilidades subterráneas y submarinas. Por estos motivos la fibra óptica es un medio de transmisión muy interesante y durante los últimos años ha experimentado una fuerte implantación, lo que ha provocado que los precios fueran bajando. Lo que antes era un sistema exclusivo para empresas hoy en día se está expandiendo en el sector residencial.

El término FTTx (*Fiber-To-The-x*) se utiliza para denominar una familia de tecnologías basadas en la utilización de la fibra óptica fina en las proximidades del abonado. Los miembros de esta familia se diferencian según el alcance de la fibra y la proximidad al usuario final. Los principales tipos de redes FTTx que podemos encontrar son los siguientes:

- FTTH (*Fibre-To-The-Home*). La fibra óptica llega hasta la vivienda del usuario. Se pueden conseguir velocidades superiores a los 100 Mbps.
- FTTE (*Fibre-To-The-Enclosure*) . La fibra llega hasta cada planta del edificio. Después se utiliza cobre, que tiene una longitud muy reducida, de 10 a 50 m. Normalmente se emplea en edificios de oficinas. Se implementa siguiendo el estándar IA/EIA 569B.
- FTTB (*Fibre-To-The-Building*) . La fibra llega hasta la entrada del edificio y después se utiliza el cobre para llegar a la vivienda del usuario. La velocidad puede alcanzar los 100 Mbps.
- FTTN (*Fibre-To-The-Node*) o FTTC (*Fibre-To-The-Cabinet*) . La fibra llega hasta un nodo cercano al usuario y después se utiliza un par de cobre o cable coaxial. Este último segmento tiene una longitud máxima de 1,5 km en redes FTTN y 300 m en redes FTTC. El sistema puede dar servicio a unos cuantos miles de clientes. La velocidad depende drásticamente de la distancia entre el usuario y el nodo.

Las tecnologías más habituales para el despliegue de las redes FTTx están dentro de una de estas categorías:

- Redes ópticas pasivas o PON (*Passive Optical Networks*), que no requieren alimentación externa para distribuir la información a través de la red.
- Redes ópticas activas o AON (*Active Optical Networks*), que requieren componentes eléctricos activos instalados entre el usuario final y la central.

Bajo el paraguas de las tecnologías PON han surgido tres variantes que permiten la comunicación punto-multipunto. Se trata del BPON (*Broadband PON*), EPON (*Ethernet PON*) y GPON (*Gigabit PON*). Las GPON tienen un buen alcance (20 km) y velocidades que pueden llegar a los 2,5 Gbps.

Por otro lado, las PON permiten el despliegue de una sola fibra desde la cabecera de la red, a partir de la cual se puede derivar un cierto número de ramificaciones (normalmente hasta 32) para dar servicio a los abonados.

La fibra óptica también se puede desplegar con una arquitectura punto. Sin embargo, esta requiere la existencia en la central o cabecera de un transceptor óptico por abonado. Estos dispositivos tienen un coste elevado, por lo que se suelen utilizar para proporcionar acceso a abonados empresariales en entornos urbanos y metropolitanos.

### 3.3. Tecnologías inalámbricas

En este apartado veremos cuatro tipologías de redes inalámbricas que pueden dar soporte a las NGN:

- **Redes de acceso de área personal (PAN) y doméstica (HAN).** Se trata de tecnologías de corto alcance y baja potencia. Se utilizan tanto en terminales móviles de usuario (móviles, tabletas, etc.), como en nodos que forman parte de una red de sensores.
- **Redes de acceso de área local (LAN).** Emergen de las redes de computadoras. Ayudan al usuario corporativo a expandir su área de servicios utilizando una LAN.
- **Redes de acceso de área metropolitana (MAN).** Son redes inalámbricas de largo alcance que intentan complementar los servicios que pueden dar las redes *trunking* (sistemas de comunicaciones móviles privadas) y las redes celulares.
- **Redes celulares.** Son una evolución de la telefonía móvil como herramientas de conversación y comunicación para usos privados y comerciales.
- **Redes de satélite.** Utilizan una flota de satélites para establecer todo tipo de comunicaciones sin depender de las restricciones de las infraestructuras terrestres.

### 3.3.1. Redes de acceso de área personal (PAN) y doméstica (HAN)

A continuación, se presentan las tecnologías de comunicaciones de corto alcance más usadas en el ámbito doméstico o industrial.

#### *Near Field Communication (NFC)*

La tecnología NFC está incluida dentro de los sistemas de identificación por radio frecuencia (RFID). El RFID es un término genérico para describir un sistema de identificación automática que permite transmitir las credenciales de un objeto a una persona o entidad remota.

Dentro del campo del RFID hay muchos estándares que operan a baja frecuencia (LF), a alta frecuencia (HF) y a ultra-alta frecuencia (UHF). La tecnología NFC es un subconjunto de los estándares que operan a HF, basada en los estándares ISO 14443, ISO 18092 y el FeliCa.

El protocolo NFC no solo soporta la comunicación entre un lector activo y un *tag* pasivo, sino que permite la comunicación entre dos lectores activos. De este modo, un móvil con capacidades NFC puede leer *tags* y recibir y transmitir datos a otro móvil NFC.

#### **Bluetooth**

Bluetooth es una especificación que define redes de área personal inalámbricas (WPAN) y se basa en el estándar IEEE 802.15.1. El objetivo de estas redes es la transferencia de información en distancias cortas y entre un grupo privado de dispositivos. Están diseñadas para no requerir prácticamente ninguna infraestructura y poder tener redes *ad hoc* sencillas y de bajo coste y consumo.

Bluetooth utiliza la banda de frecuencia libre de 2,4 GHz y usa modulación por salto de frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, FHSS). Los saltos de frecuencia se producen entre un total de 79 frecuencias a intervalos de 1 MHz. El alcance de la red depende del tipo de dispositivo Bluetooth y puede ir desde 0,5 m (dispositivos con 0,5 mW de potencia) hasta aproximadamente 100 m (100 mW de potencia).

Las velocidades máximas alcanzan entre 2 y 3 Mbps dependiendo de la versión utilizada, aunque se pueden obtener velocidades aún mayores (hasta 24 Mbps) mediante la agregación de redes 802.11, previstas en la especificación 3.0. En la versión 4.0 se creó una nueva especificación para el BLE (*Bluetooth Low Energy*) destinada a los dispositivos de bajo consumo o aquellos que requieren una conexión continua. Actualmente, la última especificación es el Bluetooth 5.

## ZigBee

ZigBee es un conjunto de protocolos de comunicación inalámbricas basados en el estándar IEEE 802.15.4. Está dirigido a aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con una baja tasa de transmisión de datos y consumo energético. Puede utilizarse para realizar control industrial o para difundir los datos que recogen sensores en aplicaciones domóticas o médicas.

El estándar trabaja normalmente en la banda de 2,4 GHz, aunque en otras regiones operan en bandas de frecuencia más pequeñas. En la banda citada, se consiguen velocidades de hasta 250 Kbps. En aplicaciones *indoor* el alcance típico es de 10-20 m, aunque en *outdoor* se pueden alcanzar los 1.500 m. A diferencia del Bluetooth, permite contar con un mayor número de nodos conectados, además de ofrecer un consumo más reducido. Por el contrario, su velocidad de transferencia es menor.

### ZigBee

La gran ventaja de ZigBee es su bajo consumo energético, de manera que un dispositivo puede tener una autonomía de hasta cinco años. Para conseguirlo, la estrategia es hacer que los dispositivos estén en modo dormido durante la mayor parte del tiempo.

## 6LoWPAN

6LoWPAN es el acrónimo de *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*. Al igual que ZigBee, se trata de una tecnología basada en el estándar de nivel de enlace IEEE 802.15.4. El objetivo de esta tecnología es tener un protocolo de bajo consumo que sea compatible con los protocolos de internet (puede transmitir paquetes de tipo IPv6) para simplificar la interfaz entre las redes de sensores e internet. El reto es que el estándar IEEE 802.15.4 trabaja con paquetes de 128 bytes de datos, al contrario que IPv6, que lo hace con paquetes de 1280.

Así pues, 6LoWPAN requiere una fragmentación y reconstrucción de los paquetes. La especificación base RFC 4944 define los mecanismos de encapsulado y compresión de las cabeceras, que permiten enviar y recibir paquetes IPv6 a redes basadas en IEEE 802.15.4.

### 3.3.2. Redes de acceso de área local (LAN)

A continuación, haremos un breve resumen de la tecnología reina de las redes inalámbricas de área local (Wi-Fi).

## Wi-Fi

La tecnología Wi-Fi es la tecnología inalámbrica que tiene una difusión más amplia en el entorno doméstico. Está basada en el estándar IEEE 802.11 y opera en unas bandas de frecuencia libres (no requieren licencia), donde las más comunes son la banda de 2,4 GHz o en la de 5 GHz.



Existen diferentes estándares, que han ido evolucionando a lo largo de estos últimos años para ofrecer mayores velocidades de transferencia y dar respuesta así a la demanda del mercado. Los últimos estándares hacen uso de sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) para aumentar sus prestaciones y llegan a ofrecer tasas de Gbps.

En la siguiente tabla se detallan algunos de los principales estándares usados, así como su año de estandarización oficial por el IEEE, aunque en algunos casos ciertas empresas empezaron a implementarlos antes en sus productos comerciales a partir de los *drafts* de estas especificaciones. Existen también otros estándares que modifican los existentes para ofrecer un mayor alcance u otras especificidades.

Tabla 1. Evolución de los estándares Wi-Fi.

Estándar	Banda frecuencias	MIMO	Velocidad máxima	Año
802.11 ( <i>legacy</i> )	2,4 GHz	-	2 Mbps	1997
802.11a	5 GHz	-	54 Mbps	1999
802.11b	2,4 GHz	-	11 Mbps	1999
802.11g	2,4 GHz	-	54 Mbps	2003
802.11n	2,4 y 5 GHz	4 <i>streams</i>	600 Mbps	2009
802.11ac	5 GHz	8 <i>streams</i>	3,5 Gbps	2013

### 3.3.3. Redes de acceso de área metropolitana (MAN)

A continuación, se presenta una de las tecnologías MAN con más proyección, la WiMAX.

#### WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) son las siglas que identifican los productos que están conformes con el estándar de acceso inalámbrico IEEE 802.16. Este estándar se desarrolló para proporcionar una red inalámbrica fija de acceso metropolitano, constituyendo por lo tanto una alternativa al cable o DSL y siendo económicamente más atractivo para proporcionar acceso a zonas rurales o de difícil orografía.

Entre otros, WiMAX provee:

- Alcance de hasta 50 km en línea de visión directa y unos 3-5 km en zonas urbanas.
- Tasa de transferencia de hasta 70 Mbps, según la distancia y condiciones QoS.
- Movilidad del terminal de usuario de hasta 120 km/h.

#### WiMAX

WiMAX se presenta como la tecnología adecuada para dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cobre, cable fibra óptica presenta unos costes por usuario muy elevados debido a la baja densidad de población (zonas rurales).

- *Roaming* entre estaciones base a menos de 50 m.
- Servicios de seguridad (autenticación de los nodos, cifrado de la información, integridad y autenticación de los mensajes).

Actualmente se recogen dos variantes dentro del estándar 802.16:

- **Fijo.** Basado en el estándar 802.16d, se establece un enlace radio entre la estación base y el usuario final
- **Móvil.** Basado en el estándar 802.16e, presenta movilidad completa, lo que permite el desplazamiento del usuario de una manera similar a la que se puede dar con redes celulares.

Los nuevos desarrollos se centran en el estándar 802.16m (WiMAX release 2) que hace un uso de sistemas MIMO para aumentar las velocidades de transferencia hasta 365 Mbps, pudiendo llegar a 1 Gbps mediante agregación de canales. La movilidad del terminal de usuario se incrementa hasta los 350 km/h, compatible con los trenes de alta velocidad.

WiMAX establece diferentes opciones de capa física, permitiendo soluciones que requieren visión directa con la estación base y otras que no. Si bien el estándar permite su uso en un amplio rango de frecuencias (hasta los 66 GHz), los perfiles que existen actualmente en el mercado o que están en proceso de desarrollo para la certificación de equipos compatibles con WiMAX se limitan a las frecuencias de 2,5 y 3,5 GHz (con licencia) y a la frecuencia libre de licencia de 5,8 GHz, todos ellos para acceso fijo.

### 3.3.4. Redes celulares

El sistema de **primera generación**, o 1G, se empieza a desarrollar a finales de los años setenta y principios de los ochenta. Es un sistema analógico de frecuencia modulada (FM) que ofrece únicamente servicios de voz. La calidad de las llamadas es baja; la velocidad es de 2,4 Kbps.

La **segunda generación** nace en 1990. Estos sistemas introducen las comunicaciones digitales y se centran en mejorar la calidad de la voz, la cobertura y la capacidad. El estándar más representativo del 2G es el GSM (*Global System for Mobile phone communications*), que nació en 1992. Se basa en la transmisión de información mediante la conmutación de circuitos y utiliza una modulación digital de frecuencia. Introduce servicios nuevos, como la transmisión de mensajes cortos SMS (*Short Message Service*) o la posibilidad de utilizar el móvil para la conexión de datos a una velocidad de 9,6 Kbps.

La **tecnología 2.5G** es un paso entremedio de 2G y 3G. La red 2.5G corre a través del mismo espectro que la red 2G y son compatibles entre sí. Uno de los estándares más conocidos del 2.5G es el GPRS (*General Packet Radio System*).

Esta tecnología utiliza conmutación de paquetes y es más viable que GSM para la conexión a internet, dado que el establecimiento de conexión es muy rápido, inferior al segundo. Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que los recursos solo se ocupan cuando se transmite o recibe información y, por lo tanto, la tarificación ya no es por tiempo sino por datos. Esto permite que nazcan más aplicaciones adaptadas para el dispositivo móvil, por ejemplo, de descarga de archivos, creación de móviles con cámara digital, etc.

La velocidad de transferencia de GPRS es variable y depende del número de *slots* (intervalos de tiempos) que se utilicen para la transmisión de datos, pudiendo llegar a una velocidad de 56 Kbps usando los 8 disponibles.

La **tecnología 2.75G** es una evolución de la 2.5G, conocida como EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), que hace uso de una técnica de modulación mejorada, con una mayor eficiencia espectral, que permite conseguir velocidades promedio de 110-130 Kbps y una velocidad pico de 473 Kbps en canales de 200 kHz.

La **tercera generación** de telefonía móvil celular o 3G se caracteriza por la convergencia de voz y datos a través de servicios IP. Las velocidades de transferencia llegan hasta los 2 Mbps.

La familia de los sistemas de 3G se denomina mediante las recomendaciones hechas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), a través de su conjunto de estándares conocido como IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications - 2000*).

Se definen tres tipos de tecnologías según la zona geográfica:

- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Sistema europeo que se ve como una actualización lógica de GSM, aunque los dos no son compatibles. Utiliza CDMA (acceso múltiple por división de código).
- CDMA2000 (*Code Division Multiple Access 2000*). Es un sistema de 3G basado en versiones anteriores de CDMA usados principalmente por los norteamericanos.
- TD-CDMA (*Time Division CDMA*). Es un estándar 3G desarrollado en China, basado en CDMA, que utiliza TDD en lugar de FDD como método de acceso al medio.

#### Tecnología UMTS

El periodo de transición entre 2.5G y 3G estuvo marcado por la tecnología UMTS. UMTS presentaba una cobertura limitada y por ello durante la transición salieron diferentes alternativas utilizando el espectro de 2G.

Las redes UMTS se han mejorado mediante la especificación **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*), que a veces se califica como una **tecnología 3.5G**, que permite aumentar las tasas teóricas de bajada a 14,4 Mbps.

**HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*), calificado como **generación 3.75G**, es una evolución de HSDPA que consiste en un protocolo de acceso subida de hasta 5,76 Mbps.

**HSPA+** (*High Speed Packet Access Evolved*) es una combinación de HSDPA y HSUPA. En la *release 8* se utiliza MIMO para transmitir varias señales en paralelo, llegando hasta los 42 Mbps de bajada.

Finalmente, la **cuarta generación** de telefonía móvil viene definida por las recomendaciones hechas por la ITU mediante los estándares IMT-Advanced. El objetivo de la telefonía **4G** es la convergencia de la banda ancha fija y móvil mediante:

- la evolución de la red hasta estar basada completamente en tecnología IP,
- utilizar conmutación de paquetes, y
- la integración de los diferentes tipos de accesos (fijo-móvil) y una capa de servicios común para que todos los usuarios finales puedan hacer uso de los servicios multimedia en la red móvil.

Una de las principales tecnologías que ha permitido el paso a la 4G es la **LTE** (*Long Term Evolution*), tecnología que puede proporcionar velocidades de transmisión mayores a los 100 Mbps. LTE es una tecnología definida por el 3GPP (*3 Generation Partnership Project*), en la que participan los principales operadores y fabricantes. Del mismo modo que WiMAX, utiliza un sistema de múltiples antenas MIMO para minimizar los errores de datos y mejorar la velocidad. El sistema radio está basado en OFDM.

LTE permite utilizar anchos de banda variables (de 1 hasta 20 MHz) en varias bandas de frecuencia, según el tipo de servicios que se desee proporcionar y la zona. El amplio abanico de frecuencias con las que puede trabajar la convierte en una tecnología eficaz que puede usar frecuencias liberadas por el paso de la televisión analógica a digital.

La arquitectura LTE sigue los mismos parámetros de diseño que las redes antecesoras del 3GPP. La arquitectura está dividida en tres partes:

- Equipos de usuario. Dispositivos (teléfonos inteligentes, tabletas, etc.) que tienen un módulo identificador denominado *USIM* (*Universal Subscriber Identity Module*), que es utilizado para identificar y autenticar al usuario mediante claves de seguridad.
- Acceso universal de radio terrestre evolucionado (E-UTRAN). Permite la conexión entre el núcleo de la red y el usuario. La gestión de los recursos

de radio se realiza mediante una asignación dinámica a los equipos de usuario.

- Núcleo de paquetes evolucionado (EPC). El núcleo de la red está basado en IP, lo que permite la coexistencia con otras tecnologías. Da soporte a la interconexión con GSM, UMTS, HSPA, WiMAX o Wi-Fi (entre otras).

La arquitectura LTE es muy simple: cada radio base se comunica directamente con el núcleo de red, lo que permite reducir el coste del desarrollo y mantenimiento de la red.

Sin embargo, según las especificaciones del IMT, el LTE no es acorde con las velocidades de la 4G, a pesar de que muchos fabricantes y operadores hayan etiquetado con estas siglas sus productos y servicios LTE. Se trata más bien de uso “tolerado” que obedece a razones de marketing.

La evolución de la LTE es la **LTE-Advanced**, que sí es conforme a las especificaciones de la 4G del IMT. Se trata de una tecnología totalmente compatible con LTE, pero que permite mejorar la tasa de transferencia de datos, consiguiendo tasas de 100 Mbps en alta movilidad y 1 Gbps a baja movilidad, velocidades que permiten calificarla realmente como 4G.

La 5G es la sucesora de la 4G, y aporta, además de un aumento en las velocidades de transmisión, mejoras significativas en los tiempos de latencia y la conexión de múltiples dispositivos, lo que ha abierto la puerta a todo tipo de nuevas aplicaciones donde un gran número de elementos están interconectados entre ellos.

### 3.3.5. Redes de satélites

A pesar de la aparente complejidad de las comunicaciones por satélite, el concepto intrínseco a estas es relativamente sencillo. Un satélite puede ser visto como un simple repetidor (excepto los llamados OBP) que replica a su salida lo que recibe a su entrada, lo que permite conectar dos terminales distantes sin necesidad de depender de una infraestructura local.

Esto es especialmente útil cuando debido a restricciones geográficas y/o económicas no se puede o no interesa instalar equipos terrestres fijos en una determinada ubicación (como una estación móvil) o estructuras cableadas (como fibra óptica).

#### **OBP (On board processing)**

Si bien la mayoría de los satélites actúan como “simples” repetidores, algunos de ellos son capaces de regenerar la señal, gracias a su capacidad de procesado. Es el caso de AmerHis, el primer sistema digital de comunicaciones de banda ancha por satélite de tipo regenerativo. Sin embargo, son poco frecuentes debido a su complejidad y la dificultad de actualizarse.

Las redes por satélite son, pues, especialmente flexibles, y pueden ser desplegadas según las necesidades específicas del entorno. Son también un sistema de *backup* muy eficaz, al no estar sujetas a cortes debidos a desastres medioambientales como terremotos.

Sin embargo, a diferencia de las redes cableadas, su ancho de banda es bastante más limitado, siendo este un bien que debe ser eficazmente aprovechado, aunque los últimos estándares usan sistemas de modulación y codificación muy eficientes para ofrecer altas velocidades de transferencia.

Además, uno de sus inconvenientes más grandes de las redes por satélite es el retardo (enlace de subida de terminal a satélite + enlace de bajada de satélite a terminal), especialmente cuando se hace uso de satélites geoestacionarios, lo que limita su uso en ciertas aplicaciones donde la latencia juega un papel determinante.

Por último, el coste del lanzamiento de los satélites, así como el coste de sus componentes a prueba de fallos (debido a la dificultad de su mantenimiento una vez en órbita) encarece este tipo de comunicaciones y limita su uso a casos específicos.

En función de la topología de red usada, podemos distinguir los siguientes tipos de redes satélite:

- **Point-to-point** (Punto a punto). Es la configuración más sencilla, donde un terminal se comunica con otro usando un satélite como punto de conexión. El enlace puede ser unidireccional o bidireccional (*full duplex*). Solo se necesita, pues, un salto para establecer una comunicación. Su punto fuerte, su simplicidad; su punto débil, el coste de escalabilidad.
- **Star** (estrella o punto a multipunto). Cada uno de los terminales está conectado a un nodo central o *hub*, que establece las relaciones entre cada uno de estos, de modo que cualquier terminal se puede comunicar con cualquier otro. En este caso, se necesitan dos saltos para establecer una comunicación, uno de terminal y satélite y otro entre satélite y *hub*. Su punto fuerte, la posibilidad de añadir más terminales al nodo de forma sencilla; su punto débil, el hecho que todas las comunicaciones pasan por el *hub*, de modo que este es un potencial cuello de botella y un punto único de fallo, pues de “caer” el *hub* caería toda la red.
- **Mesh** (malla). Todos los terminales están conectados entre sí punto a punto, sin necesidad de nodo central o *hub*, lo que permite comunicarse con un solo salto (especialmente útil para comunicaciones de voz o videoconferencia, por ejemplo). Los terminales suelen necesitar de antenas más grandes que en el caso de la tipología de estrella. Para ahorrar ancho de banda, algunas redes incluyen una estación de control que permite asignarlo bajo demanda. Su punto fuerte, conectar múltiples terminales con

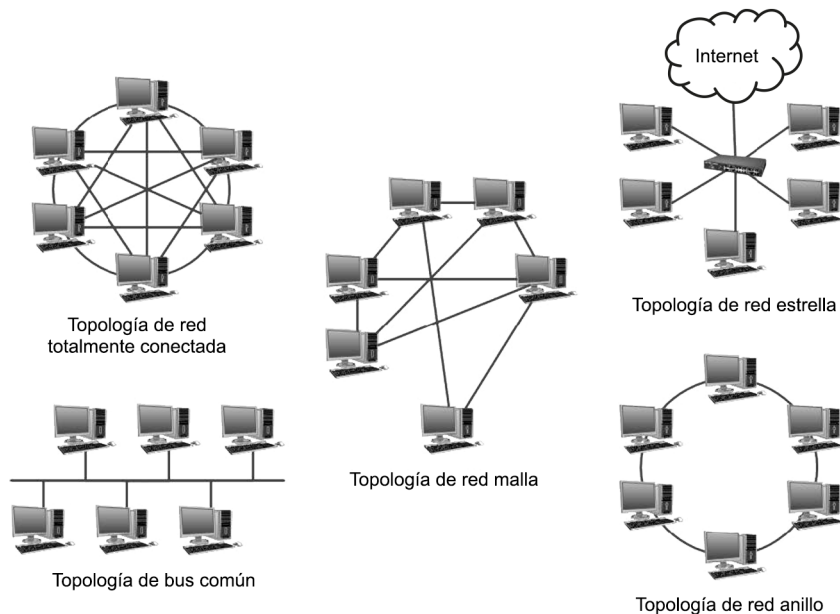
#### Redes de satélite como respaldo

A raíz de los fuertes terremotos acontecidos en la provincia de Sichuan (China), el gobierno estableció la obligatoriedad de usar las redes de satélite como sistema de comunicaciones de *backup* para bancos y otros organismos sensibles.

un único salto (menor retraso) y sin necesidad de *hub*; su punto débil, la necesidad de usar mayor potencia en los terminales, lo que incrementa el coste de la red al incrementar el número de terminales

- **Redes híbridas.** Son una mezcla de redes en estrella y malla. Permiten que un *hub* se comunique con los terminales, a la vez que estos se pueden comunicar directamente con el resto terminales de la red.

Figura 5. Algunas tipologías de red clásicas.



Fuente: Creative Commons.

Existen multitud de estándares de comunicación para las redes de satélite, que tratan de responder a las diferentes necesidades de cada una de estas redes. A medida que los módems y los algoritmos de comunicaciones avanzan, surgen nuevos estándares que permiten comunicarse con mayor velocidad y/o flexibilidad. Algunos de estos últimos son:

- **DVB-RCS2.** El DVB (*Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite*) es un estándar abierto de comunicaciones interactivas por satélite, creado en 1998, que dispone de una eficaz gestión del ancho de banda. Gracias a esta interactividad, es capaz de proporcionar una conexión a internet equivalente a la fibra/ADSL/cable pero sin necesidad de infraestructura terrestre local, aunque con velocidades menores. En el enlace de ida (*forward link*) se usa el estándar DVB-S2, mientras que en el enlace de retorno (*return link*) se usa MF-TDMA como tecnología de acceso al medio. En su segunda generación, el RCS2, publicada en 2009, su capa física ha sido actualizada para ofrecer mayores prestaciones y dispone de una mayor interoperabilidad con sistemas IP.
- **DVB-S2X.** Es el estándar sucesor del DVB-S2, la segunda generación del estándar DVB-S2 usado para los enlaces de ida (*forward*), y proporciona mayores velocidades de conexión (gracias al uso de modulaciones y codi-

ficaciones más eficientes), con el objetivo de adecuarse a las demandas de servicios IP de alta velocidad como la UHD TV.

Si bien las redes de satélites no se han llegado a integrar dentro de las redes de nueva generación, sí que se pretende integrarlas dentro del ámbito de redes de acceso compatibles con algunos servicios propuestos para la 5G.



## 4. Evolución de los modelos de comunicaciones y el uso de las redes

Las redes tradicionales basadas en un modelo centralizado ya no son indispensables. Los cambios tecnológicos han permitido liberalizar las telecomunicaciones y hacer que el operador dominante que antes tenía el control sobre el bucle de abonado ya no sea un operador imprescindible. Han aparecido nuevas tecnologías de acceso a internet que permiten reemplazar el acceso de cobre por otros sistemas y el mercado se ha abierto a un mayor número de agentes.

La aparición de nuevos servicios y aplicaciones, que ya no están basados únicamente en la difusión de información, sino que se basan en las aportaciones de una comunidad para crear esta información, ha hecho crear nuevos modelos de redes de comunicaciones.

Los propietarios y gestores de ciertos contenidos, que anteriormente debían negociar con los operadores de telecomunicaciones o de televisión para conseguir llegar a los consumidores finales, pueden hacerlo ahora mediante otras vías, como:

- un espacio web,
- las redes sociales,
- contenidos vía *streaming* que no necesitan intermediarios,
- las aplicaciones de mensajería instantánea, etc.

La relación entre creadores de contenidos y consumidores es mucho más directa, ágil, rápida y eficaz. Y esto también pide tener nuevos modelos para gestionar estas comunicaciones.

En los últimos años hemos vivido un creciente interés por disponer de una nueva generación de redes capaz de adaptarse a estos nuevos modelos y satisfacer la demanda de los usuarios, proveyendo todo tipo de servicios desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Los sistemas IMS están jugando un rol muy importante en este nuevo escenario, donde la posibilidad de ofrecer una QoS/QoE acorde al servicio prestado es determinante. Las últimas evoluciones de las redes celulares van en este sentido, al poder satisfacer estas exigencias de ubicuidad, además de ofrecer un alto ancho de banda y la capacidad de interactuar con núcleos IMS.

### QoE

Significa calidad de experiencia o *Quality of Experience*.

## 4.1. El camino hacia la 5G

Mientras se desarrolla, estandariza e implementa la futura 5G, los primeros pasos de su paulatina introducción pasan por la conocida como 4.5 G, pre5G o, haciendo uso del término oficial de la 3GPP, **LTE-Advanced Pro**.

En diciembre de 2017, el 3GPP aprobó un conjunto de especificaciones para las comunicaciones 5G, entre las que se encuentra la definición de la *5G New Radio* (NR) en NSO (*Non-Standalone Operation*), para permitir la implantación de estas usando la red 4G LTE existente. Se trata, pues, de los primeros pasos hacia una 5G completamente independiente (*Standalone*).

A pesar de que aún quedan muchos aspectos por definir para la futura 5G, existe ya un consenso bastante claro sobre cuales son los parámetros claves que servirán para evaluar las prestaciones, que se centran en tres ejes: **mayor ancho de banda, menor latencia y conexión masiva de dispositivos** (para IoT).

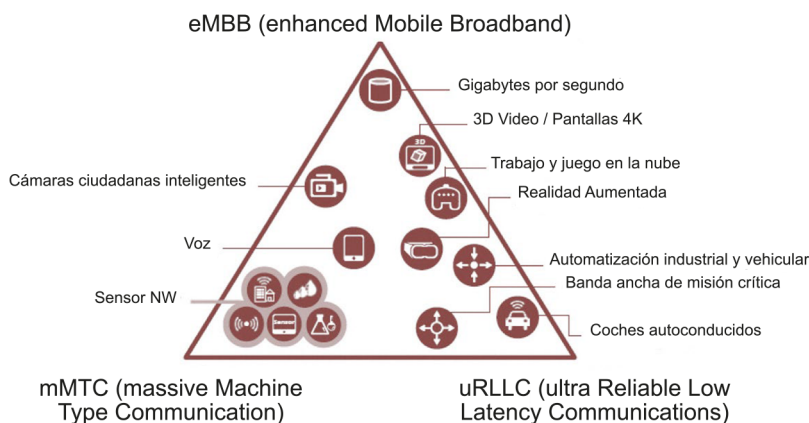
La 5G se centra en tres aspectos:

- **Mayor ancho de banda.** El uso de nuevas bandas de frecuencia (además de las ya existentes) que permitirán aumentar todavía más el ancho de banda ofrecido por la LTE-Advance, para llegar hasta 40 Gbps teóricos. Al igual que la 4G, se hará un uso todavía más intensivo del sistema MIMO para aumentar la eficiencia del sistema.
- **Reducción drástica de la latencia.** Una de las ventajas más importantes que debe traer la 5G es la reducción de la latencia, con valores que llegarían incluso a 1 ms (aunque queda por ver todavía la viabilidad técnica para llegar al 1 ms). Esto permitirá ofrecer servicios de alta fiabilidad para aplicaciones donde la latencia desempeña un papel clave –como la conducción autónoma o la cirugía a distancia– y abrirá la puerta al desarrollo de nuevos servicios difíciles de implementar con latencias superiores, como los conocidos como *edge computing* y *tactile internet*.
- **Incremento del número de dispositivos.** La 5G está diseñada también para ofrecer una solución a los sistemas IoT masivos, donde un gran número de dispositivos necesita conectarse a internet simultáneamente. La 4G necesita reservar los recursos correspondientes a cada uno de los dispositivos IoT en el momento de conectarse, lo que aumenta la saturación de la red; con la 5G, la conexión podrá establecerse sin dicha asignación de recursos.

En este sentido, la especificación de 5G gira alrededor de una serie de casos de uso definidos, de los cuales se derivan una serie de servicios básicos, que se pueden agrupar en tres grandes grupos:

- **eMBB** (*enhanced Mobile Broadband*). Las primeras fases del 5G NSA se enfocarán en este servicio, que proporcionará un mayor ancho de banda junto con una latencia moderada, usando 5G NR y las últimas evoluciones de 4G LTE. Permitirá implementar los UCs como las nuevas aplicaciones emergentes de AR/VR o *streaming* de video 360° y UHD. El segmento *mobile broadband* es uno de los más importantes debido a su gran rentabilidad.
- **uRLLC** (*Ultra Reliable Low Latency Communications*). Este servicio se centrará en ofrecer comunicaciones ultra fiables y de muy baja latencia, para poder llegar idealmente hasta 1 ms. Para ellos deberá esperar a la implementación del 5G Core.
- **mMTC** (*Massive Machine Type Communication*). Para la conectividad masiva de dispositivos, pues se espera que en los próximos años se produzca un aumento significativamente el número *end devices*. Es el ámbito en el que evolucionará IoT.

Figura 6. Servicios básicos de la 5G.



Fuente: ETRI, ITU-R IMT 2020 Requirements

El organismo de estandarización **5G-PPP**, que cuenta con entidades tanto públicas como privadas, contempla 6 familias de **casos de uso** (*use cases* o UCs), que permite definir los distintos KPIs para evaluar los servicios asociados:

- **Dense urban**. Para entornos urbanos de alta densidad, tanto *indoor* como *outdoor*.
- **Broadband everywhere**. Enfocado para entornos suburbanos y rurales, así como trenes de alta velocidad.
- **Connected vehicles**. Para vehículos V2V y/o V2X con mMTC y/o xMBB
- **Future smart offices**. Altas tasas de transferencia para entorno *indoor* y baja latencia
- **Low bandwidth IoT**. Gran número de objetos conectados
- **Tactile internet/automation**. Comunicaciones muy robustas para xMBB.

Los KPI que sirven para evaluarlos son:

#### KPI

Del inglés *Key Performance Indicator*, puede traducirse como un indicador clave de rendimiento y es una medida del nivel del rendimiento de un proceso.

- Densidad de dispositivos (*Device Density*)
- Movilidad (*Mobility*)
- Infraestructura (*Infrastructure*)
- Tipo de tráfico (*Traffic Type*)
- Tasa de datos de usuario (*User Data Rate*)
- Latencia (*Latency*)
- Fiabilidad (*Reliability*)
- Disponibilidad (*Availability*)
- Tipo de servicio 5G (*5G Service Type*): xMBB, uMTC (uRLLC), mMTC

Viendo la cantidad de casos de uso tan dispares a soportar, las redes 5G deberán ser muy flexibles para poder adaptarse a los requisitos tan dispares de calidad de servicio que cada servicio solicita, así como a las circunstancias de demanda de capacidad (soportar picos de demanda puntuales sin tener que provisionar una gran cantidad de recursos de antemano).

Sin duda 5G será una red multiservicio que se adaptará a los requisitos de dimensionamiento que el operador necesite y de este último punto surge el concepto de *network slicing* donde una misma red (de acceso o troncal) puede trocearse en N redes, pero de dimensiones más ajustadas y totalmente aisladas entre sí (ningún *slice* tiene efecto sobre otro).

## 4.2. Virtualización de la red

Las arquitecturas de red clásicas se caracterizan en general por su carácter estático, donde tanto los componentes *hardware* como *software* están predeterminados. Esto dificulta la capacidad de adaptar una red ya establecida a las necesidades concretas de los operadores, que normalmente varía en función de la demanda de sus usuarios.

Con el crecimiento de internet y el uso más intenso de las redes de comunicaciones, que exigía mayores velocidades de transferencia y gestionar volúmenes de datos más grandes, las limitaciones de estas arquitecturas se han hecho cada vez más patente. Para dar respuesta a esta necesidad de flexibilización de las redes, los diferentes proveedores de servicios han tendido que evolucionar hacia nuevos modelos, como los propuestos por el ETSI en 2012 a raíz del *white paper "Network Functions Virtualization"*.

La idea de virtualización es trabajar con elementos estandarizados que ejecutan una determinada función dentro de una red (*router, switch, firewall*), definiendo un conjunto de interfaces que permiten interconectarse entre ellos. Combinando estas funciones de red virtualizadas o VNF (*Virtualized Network Functions*) es posible implementar un segmento de red virtualizado, controlado por la NFV (*Network Function Virtualization*).

Gracias a ello, es posible implementar redes definidas por *software* o **SDN** (*Software Defined Network*) siguiendo un modelo centralizado donde se separan las capas de control y de datos, y donde los mencionados elementos de red pueden ser configurados por *software*, lo que permite adaptar la red a las demandas específicas de cada momento. En los próximos módulos se abordarán los detalles de la virtualización.

## Resumen

La evolución de las principales redes de telecomunicaciones públicas en los últimos años sigue una clara tendencia: la migración hacia IP como tecnología de red universal.

También se prevé que las redes de telefonía móviles sigan este camino, que requiere un esfuerzo significativo a causa de la dimensión y la complejidad de estas redes. Esta evolución se conoce como redes de nueva generación (NGN).

Las últimas evoluciones de las redes celulares, de hecho, van en este camino. La llamada 4.5G/LTE-Advance permite la integración con sistemas IMS, y prepara la llegada de la futura 5G, que ofrecerá nuevos servicios integrados de alto ancho de banda y latencia extremadamente reducidas.

Las redes de nueva generación representan una nueva filosofía en el diseño, la planificación y el mantenimiento de las redes de telecomunicaciones. Se trata de redes altamente escalables y pensadas para poder evolucionar y ofrecer nuevos servicios. Pueden soportar cualquier aplicación, cualquier dispositivo, cualquier tecnología de acceso cableada o inalámbrica. El objetivo es crear una plataforma eficiente y con bajos costes de operación gracias a contar con unos sistemas de comunicación unificados.

El proceso hacia la convergencia está basado en la evolución de las tecnologías y los modelos de negocios. Las NGN, así como su evolución a 5G, tratan de unificar todos los servicios (voz, datos, vídeo) sobre una misma red IP. La unificación como tal implica redes convergentes de servicios e infraestructura.

En este módulo hemos visto el contexto actual de las aplicaciones y servicios TIC que están llevando la red a modelos más descentralizados, abiertos, flexibles y rápidos, y donde el usuario cada vez adquiere más protagonismo.

Por otro lado, hemos hecho un repaso de las redes de acceso actuales, tanto cableadas como inalámbricas, que pueden soportar las NGN.

## Ejercicios de autoevaluación

1. Muchos operadores llaman 4G a servicios basados en el estándar LTE:

- a) ¿Por qué motivos es esto inexacto?
- b) ¿Qué requisitos debe cumplir la red para ser compatible con 4G según el IMT?
- c) ¿Existe alguna versión de LTE que cumpla con estos requisitos?

2. La reducción drástica de la latencia es una de las mejoras clave que busca ofrecer la futura 5G.

- a) Explica que tipo de aplicaciones pueden beneficiarse de este tipo de latencias.
- b) En este marco, ¿qué es el *edge computing*?
- c) ¿Y el *tactile internet*?

## Solucionario

### Ejercicios de autoevaluación

1.

a) Muchos operadores pasaron a etiquetar como 4G servicios basados en los estándares LTE pero que no cumplían propiamente con los requisitos definidos por la IMT para catalogarse como 4G.

b) La IMT define que para que un estándar pueda ser llamado de cuarta generación (4G) debe cumplir unos requisitos mínimos de velocidad: hasta 100 Mbps en entornos móviles y hasta 1 Gbps en entornos fijos o de baja movilidad. Los primeros sistemas basados en LTE ofrecían velocidades muy inferiores a estos requisitos, y aún así muchos fabricantes y operadores etiquetaron sus productos y servicios como 4G.

c) No fue hasta la estandarización del LTE-Advanced que se pudieron ofrecer estas velocidades, para ser reconocido como compatible 4G.

2.

a) Esta reducción permite ofrecer servicios de alta fiabilidad para aplicaciones donde el tiempo de respuesta del servicio es de vital importancia, como en aplicaciones de cirugía a distancia o los vehículos autónomos.

b) Se conoce como *edge computing* al hecho de llevar parte de una aplicación o servicio del núcleo hacia un extremo (*edge*), más cercano del mundo físico y de los usuarios, reduciendo así la latencia.

c) La ITU define el *tactile internet* como aquella red de internet que combina a latencia muy baja con una alta disponibilidad y fiabilidad, que permitirá implementar sistemas interactivos en tiempo real. A diferencia de los sistemas actuales de IoT, donde los dispositivos de entrada/salida realizan cierto procesamiento antes de enviar los datos hacia la red (internet), en el *tactile internet* los datos resultados de esta interacción son procesados directamente en la red, simplificando (o incluso eliminando) parte del procesamiento realizado en estos dispositivos. Es por este motivo que la red necesita de una latencia extremadamente baja (del entorno de 1 ms o menor) para proporcionar una interactividad equivalente.



## Glosario

**ADSL** *Asymmetric Digital Subscriber Line* . Línea de suscriptor digital asimétrica.

**DSL** *Digital Subscriber Line*. Línea de suscriptor digital.

**EDGE** *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* . Datos mejorados por la evolución de GSM.

**FH** *Frequency Hopping*. Tecnología basada en los saltos de frecuencia.

**FTT-x** *Fiber-To-The-x*. Red de fibra óptica.

**GPRS** *General Packet Radio Service* . Servicio general de paquetes vía radio.

**HFC** *Hybrid Fiber Coaxial*. Red híbrida de fibra y coaxial.

**HSPA** *High Speed Packet Access* . Acceso de paquetes de alta velocidad.

**IoT** *Internet of Things*. Internet de las cosas.

**M2M** *Machine to Machine*. Comunicaciones máquina a máquina.

**NFC** *Near Field Communication*. Comunicaciones inalámbricas de corto alcance.

**NFV** *Network Function Virtualization*. Virtualización de función de red.

**NGN** *Next Generation Network*. Red de nueva generación.

**PAN** *Personal Area Networks*. Red de área personal.

**RFID** *Radio Frequency Identification* . Identificador por radiofrecuencia.

**RTC** Red telefónica conmutada.

**SDN** *Software Designed Network*. Red definida por *software*.

**UMTS** *Universal Mobile Telephone System*. Sistema de telefonía móvil universal.

**VDSL** *Very High Speed Digital Subscriber Line*. DSL a muy alta velocidad.

**WLAN** *Wireless Local Area Network*. Red de área local inalámbrica.

## Bibliografía

**FCC** (noviembre 2002). *Spectrum Policy Task Force Report*. ET Docket (núm. 02-155).

**ITU-T Recomendación Y.2001** (diciembre 2004). *General overview of NGN*.

**ITU-T Recomendación Y.2011** (octubre 2004). *General principles and general reference model for Next Generation Networks*.

**ITU-T Recomendación Y.2012** (abril 2010). *Functional requirements and architecture of Next Generation Networks*.

**Plevyak, Th.** (abril 2010). *Next Generation Telecommunications Networks, Services, and Management*. IEEE Press Series on Network Management. John Wiley & Sons.

### Enlaces de interés:

5G PPP use cases and performance evaluation models: [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-use-cases-and-performance-evaluation-modeling\\_v1.0.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-use-cases-and-performance-evaluation-modeling_v1.0.pdf)