

# Contexto actual y evolución hacia las redes de nueva generación

Helena Rifà Pous

PID\_00175637



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. Fundació 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> .....	5
<b>Objetivos</b> .....	7
<b>1. Contexto actual en las aplicaciones y usos de la redes</b> .....	9
1.1. Internet y la sociedad del conocimiento .....	9
1.2. Sistemas distribuidos .....	14
1.2.1. Computación en la nube ( <i>cloud computing</i> ) .....	14
1.2.2. Computación <i>grid</i> .....	15
1.3. Redes sociales .....	16
1.4. Evolución de los modelos de comunicaciones .....	18
1.4.1. Redes <i>ad hoc</i> .....	18
1.4.2. Redes de sensores .....	22
1.4.3. Redes de radio cognitiva .....	23
1.5. Internet de las cosas .....	26
1.5.1. Comunicaciones máquina-máquina (M2M) .....	29
1.5.2. <i>Smart cities</i> .....	30
<b>2. Redes de acceso de nueva generación</b> .....	33
2.1. Tecnologías cableadas .....	34
2.1.1. El par de cobre .....	34
2.1.2. Cable coaxial .....	36
2.1.3. Fibra óptica .....	37
2.1.4. Redes de potencia .....	38
2.2. Tecnologías inalámbricas .....	40
2.2.1. Redes de acceso de área personal (PAN) y doméstica (HAN) .....	40
2.2.2. Redes de acceso de área local (LAN) .....	42
2.2.3. Redes de acceso de área metropolitana (MAN) .....	43
2.2.4. Redes celulares .....	45
<b>Resumen</b> .....	49
<b>Actividades</b> .....	51
<b>Glosario</b> .....	52
<b>Bibliografía</b> .....	53



## 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 estas 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.

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 mediante el desarrollo 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 buscan una integración de redes de voz, datos y vídeo, que utilice una tecnología en modo de transporte de paquetes (como IP) para 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 actuales.
- 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.

Desde un punto de vista técnico, el término *NGN* engloba los siguientes elementos:

- Las redes de acceso de nueva generación, es decir, el desarrollo de tecnologías en el bucle de abonado para proporcionar alta velocidad y garantizar la entrega de los nuevos servicios.
- El núcleo de la red, que evoluciona como una infraestructura IP capaz de contener una multitud de servicios de vídeo, datos, etc.

En este módulo haremos una revisión del contexto sociotecnológico 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.** Tomar conciencia de los cambios sociales asociados a la evolución de las redes.
- 3.** Conocer las redes de acceso que pueden dar lugar a las NGN.



## **1. Contexto actual en las aplicaciones y usos de la 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 monopólico 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.

Con la entrada en el siglo XXI los cambios más relevantes son el paso de las conexiones de banda estrecha a banda ancha y la introducción de las redes de acceso de datos móviles. Surgen avances tecnológicos en el campo de la radiofrecuencia, en las modulaciones y en la optimización del uso de los recursos espectrales. Se empiezan a diseñar nuevos modelos de redes de acceso que permiten llegar más fácilmente a cualquier usuario y dispositivo de manera viable y eficiente. Las tecnologías ADSL y xDSL, los protocolos de redes WLAN y la evolución de las tecnologías 3G penetran de tal manera que el ancho de banda va reduciendo su coste al mismo tiempo que se incrementa su uso. Además, existe una convergencia en el tipo de servicios y funcionalidades que quieren dar las redes. Ya se trate de la red telefónica conmutada (RTC), de la red de TV por cable, de redes inalámbricas, etc., todas ellas quieren dar acceso a todo tipo de servicios multimedia.

En este apartado haremos un repaso a la situación actual de Internet, 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. Internet y la sociedad del conocimiento**

Internet se ha convertido en uno de los principales factores de cambio social y económico de la sociedad del siglo XXI. A pesar de que inicialmente nació como un proyecto académico y de investigación militar, poco a poco se convirtió en la red de redes global y hoy en día es una parte indispensable de la vida actual. La influencia de Internet ha hecho cambiar la manera como las personas interactuamos, la manera de hacer negocios, de aprender, de mantener las amistades, en definitiva, de proceder en el día a día.

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

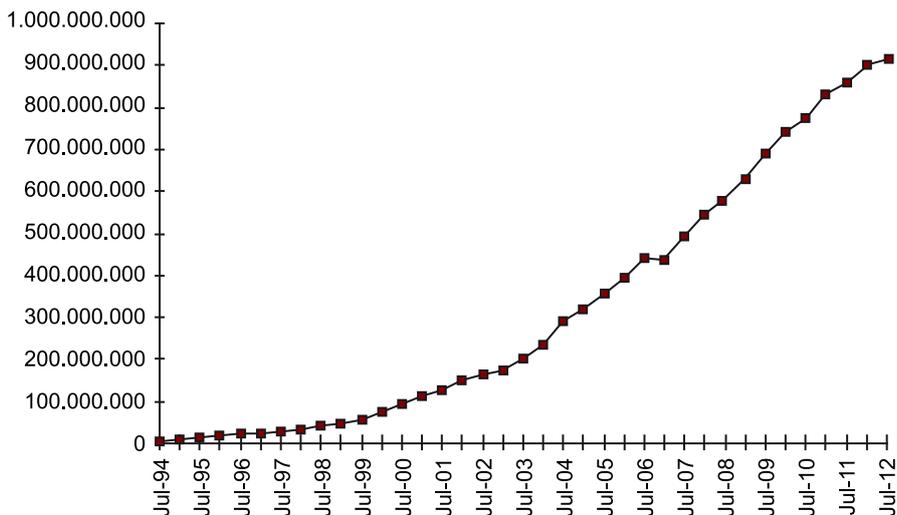
En términos tecnológicos, Internet ha evolucionado desde ser una red con el fin de unir un grupo de ordenadores para intercambiar información textual, con una política *best-effort*, a tener que soportar elevadas cantidades de datos a través de millones de servidores proporcionando al mismo tiempo una alta fiabilidad, seguridad y calidad de servicio. La arquitectura y los protocolos originales de Internet no estaban diseñados para soportar todos estos requisitos. La red se caracterizaba por su simplicidad, su infraestructura se limitaba a dar un servicio de transporte de información y su inteligencia residía en los terminales extremos, en los propios ordenadores de los usuarios.

A finales del siglo XX Internet se convirtió en una herramienta básica para compartir, transmitir y ejecutar grandes volúmenes de información textual. Se desarrollaron grandes buscadores textuales que permitían tener acceso a la información de las bases de datos conectadas. Los avances en el campo de la transmisión óptica y 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 creación de la World Wide Web (WWW) a principios y 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. Desde entonces el número de usuarios de Internet ha ido creciendo exponencialmente (figura 1).

Figura 1. Número de usuarios de Internet



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

En los últimos quince años el número de usuarios de Internet también ha crecido mucho gracias a la evolución de las tecnologías de acceso móvil. A finales de los años noventa se pusieron al alcance de los ciudadanos servicios de datos de baja velocidad utilizando la telefonía móvil. Esto permitió que el usuario estuviera permanentemente comunicado a Internet y abrió un camino hacia el concepto de red instantánea y ubicua.

Paralelamente al desarrollo de servicios de datos en la telefonía móvil, se empezaron a desplegar las redes de área local inalámbricas, que permitirían el transporte de datos a una velocidad tres órdenes de magnitud superior.

Con la introducción de Internet en los móviles se inicia una nueva etapa, en la que los proveedores de servicios ganan notoriedad, ofreciendo servicios *multicast* 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 nace un nuevo protocolo IP (IPv6), que permite expandir las capacidades de direccionamiento y encaminamiento del protocolo, simplifica el formato de la cabecera, mejora el soporte para incorporar nuevas opciones al protocolo y tiene 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).

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. Internet fue creada

para interconectar ordenadores, pero se ha producido un cambio y ahora el usuario es el elemento central, tanto por el diseño de nuevos servicios y aplicaciones como por su propio uso.

Las mejoras de Internet han impulsado la creación de nuevos servicios en los sectores de la educación, la salud, la industria o el ocio, entre otros, fundamentados en el transporte de todo tipo de información (audio, vídeo, datos) a velocidades cada vez más elevadas, la ubicuidad de las comunicaciones fruto de la movilidad, la instantaneidad de todo tipo de comunicación, la introducción de Internet en los objetos o en la propia naturaleza, o la heterogeneidad de dispositivos y contenidos.

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. Esto permite la oferta de servicios *triple-play* o *cuádruple-play*, es decir, la prestación conjunta de tres o cuatro servicios (datos, televisión, servicios de voz fijo y servicios de voz móvil) que tradicionalmente se proporcionaban con diferentes redes.
- **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 o 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. Un ejemplo de ello es la voz sobre IP, que rompe con el modelo de los servicios tradicionales y empuja el negocio hacia la adopción de redes de nueva generación. Los proveedores de servicios de Internet empezaron a ofrecer VoIP como una manera barata de establecer comunicaciones. Los servicios se ofrecían en una política de *best-effort* para terceras entidades, sobre una conexión Internet cualquiera. En la actualidad el mercado ha evolucionado y han surgido servicios VoIP mejores, con operadores de acceso a la red que proporcionan VoIP como un reemplazo de los servicios de voz por RTC, a menudo garantizando acceso a servicios de emergencia y con una cierta calidad de servicio. Los proveedores de servicios de Internet continúan ofreciendo servicios de VoIP desde diferentes plataformas de cualquier lugar del mundo. La VoIP móvil también está emergiendo, como un servicio proporcionado por el operador de red o como una aplicación que se puede descargar en cualquier móvil que tenga WiFi. Este tipo de iniciativas ponen presión a los actuales operadores móviles para que cobren tarifas planas en los móviles, de modo que se aumente el número de personas que acceden a Internet mediante el móvil en lugar de a través de conexiones fijas.

En cuanto a los servicios de contenidos, todavía no se ha explotado totalmente su potencial. En la mayoría de los casos el acceso al contenido se ofrece de una manera parecida a las redes de difusión tradicionales, con unos horarios y una distribución geográfica, con esquemas de *copyright* muy rígidos y con poco grado de interactividad y un esquema de cobro tradicional. Poco a poco, los operadores están empezando a ofrecer programación más flexible con vídeo bajo demanda y distribución de contenidos de vídeo de los sitios más populares. Los cambios a menudo suceden porque los usuarios han empezado a intercambiar su propio contenido en multiplicidad de dispositivos, que implican un cambio en los modelos de consumo y distribución.

### **¿Qué se espera de las redes de nueva generación?**

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.

Finalmente, desde el punto de vista de los operadores, el hecho de tener una sola plataforma multiservicios de alta velocidad 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. 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.

## **1.2. 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.

### **1.2.1. 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 en disco duros, 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.

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.

La computación en la nube puede trabajar en cuatro modalidades:

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.

### 1.2.2. 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 subtarefas 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.

#### **Ejemplo**

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.

### **1.3. 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.

Las redes sociales se pueden clasificar según varias relaciones:

a) Según su objetivo y temática:

- Redes horizontales, dirigidas a todo tipos de usuarios y sin una temática definida. Ejemplos: Facebook, Twitter, Orkut o Identi.ca.
- Redes verticales, concebidas sobre un eje temático agregador. Ejemplos: Viadeo, Xing y LinkedIn para generar relaciones profesionales; Wipley, Minube Dogster, Last.FM y Moterus para temas de ocio.

b) Según el sujeto principal de la relación:

- Redes sociales humanas, que centran su atención en fomentar las relaciones entre personas uniendo individuos según su perfil social y sus gustos y aficiones. Ejemplos: Koornk, Dopplr, Youare y Tuenti.
- Redes sociales de contenidos, que desarrollan las relaciones uniendo perfiles mediante contenido publicado o los archivos que el usuario tiene en su ordenador. Ejemplos: Scribd, Flickr, Bebo o Friendster.

c) Según la localización geográfica:

- Redes sociales sedentarias, que mutan según las relaciones entre las personas, los contenidos compartidos o los sucesos creados. Ejemplos: Rejaw, Blogger, Kwippy, Plaxo, Bitacoras.com y Plurk.
- Redes sociales nómadas, que mutan según los mismos factores que las redes sedentarias y además tienen un nuevo factor, que es la localización del sujeto. Estas redes se reconstruyen según las personas que se encuentren geográficamente cerca del lugar en el que se encuentre el sujeto, los lugares que ha visitado o los que tiene pensado ver. Ejemplos: Latitud, Brighkite, Fire Eagle y Scout.

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.

## 1.4. Evolución de los modelos de comunicaciones

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.

### 1.4.1. Redes *ad hoc*

Las redes *ad hoc* y las redes de sensores (que veremos en el siguiente punto) son dos tipos relativamente nuevos de redes inalámbricas con arquitecturas y propiedades muy diferentes a las redes inalámbricas tradicionales, como las celulares o las redes WiFi.

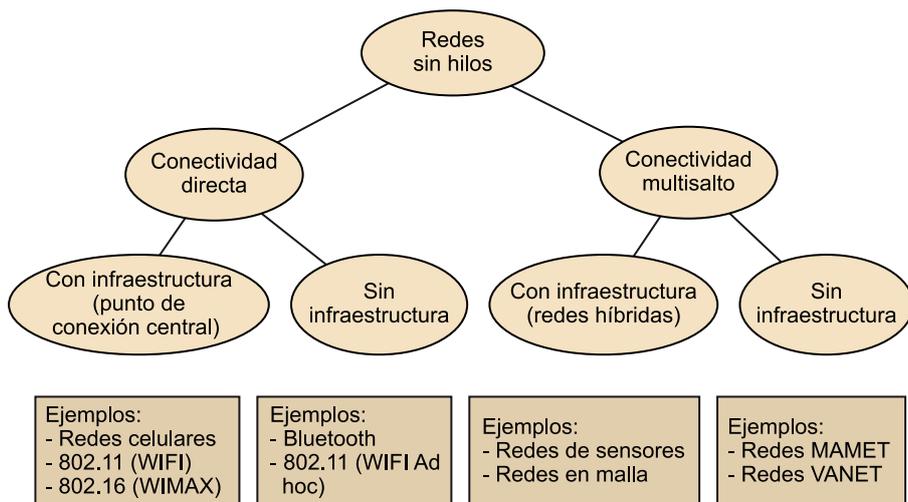
Las redes MANET (*mobile ad-hoc network*) son el tipo más usual de redes *ad hoc* en la que los nodos son móviles y tienen una conexión inalámbrica.

Una red *ad hoc* es una red inalámbrica descentralizada. Los nodos se comunican uno con el otro sin la existencia de una estructura preexistente. La red se forma de manera autónoma con los terminales finales de los usuarios (ordenadores portátiles, tabletas, teléfonos móviles, etc.), que tienen una naturaleza muy heterogénea y por lo tanto diferentes capacidades de procesamiento,

memoria o potencia. Cada nodo está preparado para reenviar datos a los demás y la decisión sobre qué nodos reenvían la información se toma de manera dinámica en función de la conectividad y los recursos de cada terminal.

Esto contrasta con las redes tradicionales, en las que los encaminadores llevan a cabo estas funciones. También difiere de las redes inalámbricas en las que hay un nodo central, el punto de acceso, que gestiona las comunicaciones con el resto de los nodos. La figura 2 muestra una clasificación de las redes inalámbricas e indica que las redes *ad hoc* son siempre redes sin infraestructura.

Figura 2. Topología de redes inalámbricas



Las redes *ad hoc* pioneras fueron las PRNET de los años setenta, promovidas por la agencia DARPA, del Departamento de Defensa de Estados Unidos. La naturaleza descentralizada de las redes *ad hoc* hace que sean muy adecuadas para situaciones en las que no se puede confiar en un nodo central. Por ejemplo, en situaciones de desastres naturales o en conflictos bélicos.

El objetivo de las redes *ad hoc* es que requieran muy poca configuración y que, por lo tanto, su despliegue pueda ser muy rápido. Además, los protocolos de encaminamiento que utilizan son dinámicos y permiten que la red sea operativa en un tiempo reducido.

Aplicaciones de las redes *ad hoc*:

- Redes de área personal (PAN): Interconexión de todos los equipos personales, como el teléfono móvil, el portátil, la agenda electrónica, los equipos domóticos de casa, etc.
- Entornos militares: soldados, aviones, tanques.
- Entornos ciudadanos: construcción de redes de taxis, conectividad en salas de reuniones, estadios deportivos, barcos, avionetas, etc.

- Operaciones de emergencia: operaciones de búsqueda y rescate de personas, conectividad de grupos, como la policía, bomberos, etc.
- Misiones de exploración espacial.

Las características de las redes *ad hoc* impiden que puedan utilizar los protocolos de encaminamiento diseñados para las redes tradicionales (ya sean cableadas o inalámbricas). Es necesario superar problemas como la topología dinámica y la limitación de recursos, el ancho de banda, la batería y la capacidad de procesamiento.

Uno de los problemas principales de las redes *ad hoc* es la autoconfiguración inicial de la red y el diseño de protocolos de encaminamiento que se adapten en todo momento a la topología cambiante de la red.

Según su diseño, los protocolos de encaminamiento se pueden dividir en dos grupos:

1) **Protocolos proactivos:** buscan rutas periódicamente para que cuando un nodo quiera mandar un mensaje la ruta esté a punto y se pueda enviar en tiempo real. Son útiles para redes muy sensibles a los retardos y en las que hay mucho tráfico de datos.

El protocolo que el IETF está estandarizando dentro de este grupo es el OLSR (*on-demand link state routing*).

2) **Protocolos reactivos:** buscan y mantienen las rutas solo si es necesario, es decir, cuando un nodo lo solicita porque quiere enviar algún mensaje. Estos protocolos son adecuados para redes que no necesitan tiempo real y que no tienen un tráfico alto y sostenido de paquetes entre los nodos. En este escenario, se trata de protocolos muy eficientes y que cargan poco el sistema.

El protocolo que el IETF está estandarizando dentro de este grupo es el AODV (*ad hoc on-demand distance vector*).

Dado que en las redes *ad hoc* no existe un nodo central que realiza las tareas de coordinación, es muy importante la cooperación de todos los nodos de la red para que esta funcione. Por un lado, es interesante la implementación de protocolos que permitan elegir un nodo que haga de coordinador del resto y que este nodo sea temporal y elegido según las características contextuales de la red en un determinado periodo de tiempo. Por otro lado, se deben encontrar mecanismos que fomenten la cooperación entre componentes y que permitan distribuir el control de la red entre todos los nodos que forman parte de ella.

Los principales modelos de redes *ad hoc* son dos: MANET y VANET.

## MANET

Las *mobile ad hoc networks* (MANET) son redes formadas por nodos móviles. Se comunican sin cables y lo hacen de manera *ad hoc*, es decir, se crea una topología espontánea de red que va cambiando dinámicamente a medida que entran y salen nodos de la red, y a medida que estos se mueven de posición y por lo tanto pierden y ganan conectividad con otros nodos.

A diferencia de las redes inalámbricas convencionales, en las MANET la comunicación entre nodos es multisalto. El objetivo de estas redes es encontrar una ruta entre dos nodos remotos y que esta se pueda establecer con la colaboración de los nodos intermedios implicados.

## VANET

Las *vehicular ad hoc networks* (VANET) pueden considerarse un caso particular de redes *ad hoc* en la que hay dos tipos de nodos: estáticos y móviles.

- Los nodos estáticos son elementos fijos emplazados a lo largo de las vías de transporte (carreteras, autopistas, vías férreas, etc.) y denominados RSU (*road-side unit*). Su función es enviar, recibir y retransmitir paquetes para aumentar el rango de cobertura de una red; pueden ofrecer también acceso a Internet.
- Los nodos móviles son vehículos equipados con un dispositivo electrónico denominado OBU (*on board unit*) para poder comunicarse con otros vehículos y con las RSU. Estos tipos de nodos tienen la capacidad para enviar, recibir y retransmitir mensajes entre sí (*vehicle-to-vehicle*, V2V) o sustentándose en nodos estáticos (*vehicle-to-infrastructure*, V2I).

Las VANET se diferencian de una MANET estándar en el hecho de que los nodos móviles se mueven muy rápidamente y de que la información que se envía a través de la red tiene unos requisitos *broadcast* (la información debe llegar a todo el mundo) y de inmediatez (las comunicaciones en tiempo real son un requisito importante) más estrictos. Por otro lado, la red puede estar soportada por elementos fijos y que formen parte de una infraestructura más amplia (por ejemplo, conexión a Internet), y los nodos móviles se desplazan mediante unas rutas limitadas y predecibles.

Estas diferencias provocan que los dos tipos de redes utilicen protocolos ligeramente diferentes.

### 1.4.2. Redes de sensores

Las redes de sensores son redes formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbricas que permiten formar redes *ad hoc* sin infraestructura física preestablecida ni administración central.

Una red de sensores típicamente consiste en una gran cantidad de dispositivos radio de baja potencia y bajo coste, que se dedican a funciones muy específicas, como la recogida de datos ambientales y el envío a nodos que hagan el proceso. Las redes de sensores se diferencian de las redes *ad hoc* en el hecho de que tienen una densidad mucho mayor, de que hay muchos más nodos (pueden ser redes de miles de nodos), de que los terminales tienen más limitaciones y en general de que no se trata de redes móviles. Como las redes *ad hoc*, se trata de redes dinámicas (la topología de la red va variando por la entrada y la salida de terminales a los que se les acaba la batería o que se estropean por algún motivo), se forman de manera autónoma y los nodos pueden tener diferentes características y limitaciones.

Las redes *ad hoc* y de sensores comparten muchas características. Aun así, hay algunas sutiles diferencias que las hacen únicas y que se deben tener en cuenta a la vez de diseñar protocolos para estas redes. Las diferencias las podemos clasificar en las siguientes categorías:

- **Cantidad:** El número de nodos en las redes de sensores puede estar algunos órdenes de magnitud por encima de las redes *ad hoc*. Además, la densidad de nodos en las redes de sensores también es mucho más elevada.
- **Topología:** Debido a las severas limitaciones de recursos en las redes de sensores y a las condiciones ambientales que deben soportar, la topología de estas redes puede cambiar muy frecuentemente.
- **Comunicaciones:** Las redes de sensores típicamente utilizan comunicaciones en *broadcast*, mientras que en las redes *ad hoc* las comunicaciones son punto a punto.
- **Nodos:** Los nodos de las redes de sensores son mucho más propensos a tener fallos. Adicionalmente, los sensores tienen más limitaciones de potencia, memoria y capacidad de cálculo que los terminales que se utilizan en redes *ad hoc*.

Las redes *ad hoc* y las redes de sensores están bien posicionadas para convertirse en uno de los principales motores de las redes ubicuas. Tienen los requisitos para poder funcionar en situaciones críticas como desastres naturales (en las que la infraestructura preexistente puede ser destruida). Otra área de gran interés son las aplicaciones militares, que requieren arquitecturas autónomas y dinámicas que se formen según se vayan desarrollando las acciones.

### 1.4.3. Redes de radio cognitiva

Actualmente, en la gran mayoría de los países, las redes y las aplicaciones inalámbricas están reguladas mediante una política de asignación del espectro fijo. El espectro está regulado por el estado, que administra y asigna la utilización de las diferentes bandas de frecuencia a diferentes empresas, usuarios y/o servicios mediante una autorización, permiso en licencia a largo plazo en amplias zonas geográficas. Cada país tiene un cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias, según lo acordado en las conferencias mundiales de radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). Solo una parte del espectro se puede usar libremente y estas bandas libres están cada día más sobrecargadas. Por el contrario, el uso de otras bandas frecuenciales no supera el 15%. Así pues, tal como han demostrado estudios recientes llevados a cabo por la FCC<sup>1</sup> (Federal Communications Commission), el reparto actual del espectro es ineficiente.

<sup>(1)</sup>FCC (nov. 2002). "Spectrum Policy Task Force Report". *ET Docket* (núm. 02-155).

Las redes de radio cognitiva (*cognitive radio networks*, CRN) están surgiendo como una tecnología clave para llevar a cabo una gestión óptima del ancho de banda disponible. Un dispositivo de radio cognitiva es un sistema de radiofrecuencia capaz de variar sus parámetros de comunicación basándose en su interacción con el entorno en el que opera. Las tres características principales de un dispositivo de este tipo son:

- 1) Capacidad de escuchar el uso que se hace del espectro (en inglés *sensing*), es decir, de capturar la información de su entorno en radiofrecuencia e identificar las partes del espectro que no están siendo utilizadas.
- 2) Capacidad de procesar la información capturada y tomar conciencia del entorno, así como de las propias capacidades y recursos.
- 3) Capacidad de variar de manera dinámica varios parámetros relacionados con la transmisión y la recepción (frecuencia, potencia, modulación, etc.), de acuerdo con su entorno.

A criterio de la FCC, un dispositivo de radio cognitiva debería poder reconfigurar los siguientes parámetros:

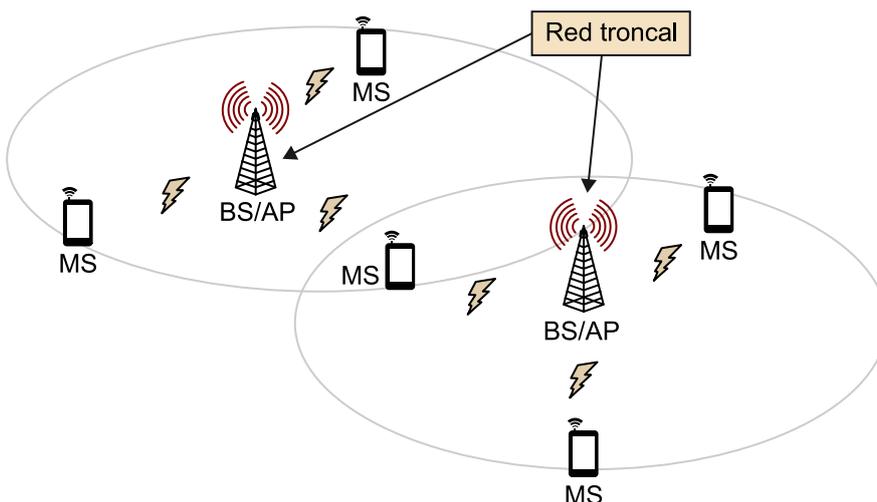
- Sistemas de comunicación: operar a través de diferentes sistemas.
- Modulación: seleccionar el tipo de modulación adecuada según las características del canal y los requisitos del usuario.
- Frecuencia de la portadora: seleccionar la frecuencia portadora más adecuada, basada en la información sobre el espectro radioeléctrico disponible y el tipo de transmisión que se va a realizar.
- Potencia transmitida: si las características del medio permiten una reducción de la potencia transmitida, el dispositivo debería reducirla hasta un cierto nivel, de modo que continuara manteniendo la calidad de la transmisión, pero a la vez permitiera aumentar el número de usuarios que comparten esta porción del espectro, reduciendo las interferencias entre sí.

Las CRN están formadas por dispositivos de radio cognitiva que operan con técnicas de compartición del espectro basadas en la oportunidad (*opportunistic spectrum sharing, OSS*). Esto permite a los usuarios compartir el espectro de manera más eficiente, evitando colisiones tanto con servicios licenciados –televisión, telefonía móvil, etc.–, como con otros usuarios sin licencia que quieran aprovechar el ancho de banda libre de la red. Las entidades y los usuarios que ofrecen o consumen servicios con licencia son denominados usuarios primarios, dado que tienen prioridad de uso de la red, mientras que los usuarios y entidades sin licencia se conocen como usuarios de radio cognitiva o usuarios secundarios, y solo pueden operar cuando se han asegurado totalmente de que no interferirán a ningún usuario primario.

Los componentes básicos de una CRN son las estaciones móviles (*mobile station, MS*), la estación base o punto de acceso (*base station/access point, BS/AP*) y las redes troncales. Según las funcionalidades de estos componentes, las CRN se pueden desplegar en una arquitectura centralizada y basada en infraestructura, *ad hoc* o en malla.

**a) Infraestructura.** Las estaciones móviles acceden a la estación base mediante una conexión directa, con un solo salto (figura 3). Las estaciones base que están en el rango de transmisión de la estación base se comunican entre sí mediante esta estación base. Las comunicaciones entre diferentes celdas se encaminan a través de las redes troncales. La estación base puede ser capaz de ejecutar uno o múltiples protocolos de comunicaciones para cubrir las necesidades de las estaciones móviles de su zona. Un terminal de radio cognitiva también puede acceder a diferentes sistemas de comunicaciones mediante su estación base.

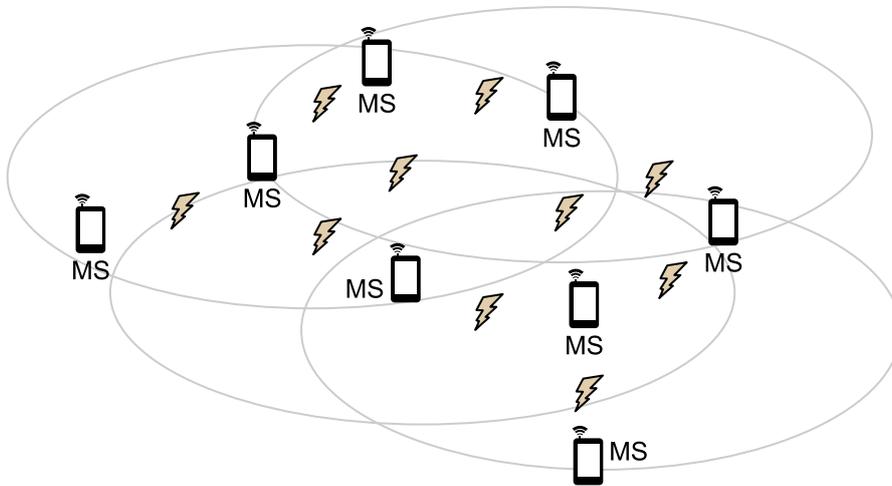
Figura 3. Arquitectura en infraestructura



**b) Ad hoc.** No existe una infraestructura de soporte, se trata de una arquitectura distribuida en la que no hay estaciones base (figura 4). Si una estación móvil reconoce que hay otras estaciones móviles a su alrededor y se pueden conectar mediante ciertos protocolos de comunicaciones, se puede establecer entre sí un enlace y de este modo formar una red *ad hoc*. Los enlaces entre

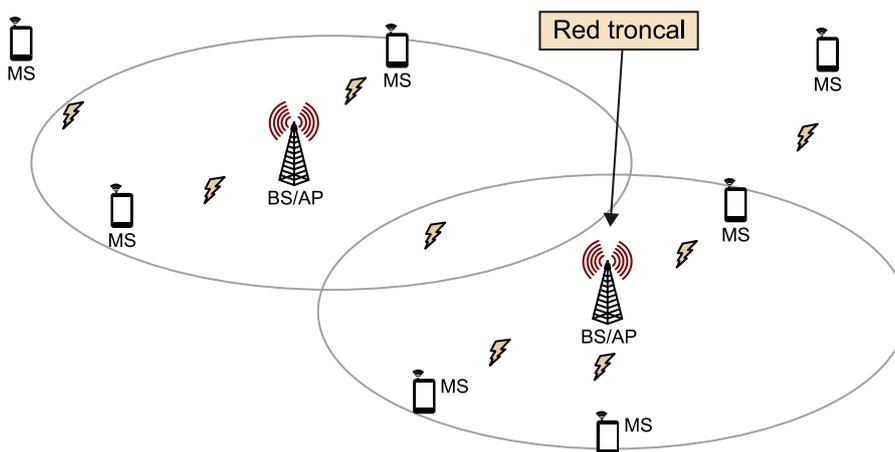
los nodos pueden pertenecer a diferentes tecnologías y protocolos de comunicaciones (WiFi, Bluetooth, etc.) e ir cambiando dinámicamente según los huecos del espectro.

Figura 4. Arquitectura *ad hoc*



c) **Malla.** Esta arquitectura es una combinación de las dos anteriores (figura 5). Las estaciones base trabajan como encaminadores y forman una red troncal inalámbrica. Se conectan a través de radio cognitiva. Las estaciones móviles pueden acceder directamente a las estaciones base o pueden conectarse mediante otras estaciones móviles. Algunas estaciones base pueden conectarse a una red troncal cableada y funcionar como pasarelas para dar acceso, por ejemplo, a Internet.

Figura 5. Arquitectura en malla



Actualmente, el estándar de radio cognitiva que se está desarrollando es el IEEE 802.22<sup>2</sup> WRAN, cuyo principal objetivo es proporcionar acceso a Internet utilizando el espectro asignado a las bandas UHF/VHF de sistemas de televisión (entre 54 y 862 MHz) y a sistemas de transmisión por micrófonos. Por este motivo muchos de los trabajos que están empezando a salir relacionados con

<sup>(2)</sup>El grupo de trabajo IEEE 802.22 se formó en el 2004.

la radio cognitiva se han centrado en el estudio de señales de TV digital cuyo ancho de banda es 6 MHz y en señales de modulación AM utilizada en los micrófonos inalámbricos con ancho de banda de 200 KHZ.

El estándar IEEE 802.22 especifica los umbrales para desocupar un canal ante la presencia de las señales siguientes:

- Televisión digital: -116 dBm sobre un canal de 6 MHz.
- Televisión analógica (NTSC): -94 dBm en el pico de la portadora.
- Micrófonos inalámbricos: -10 7dBm en un ancho de banda de 200 kHz.

El IEEE 802.22 especifica una arquitectura basada en infraestructura. Cada estación base es fija y controla su celda y los usuarios presentes en ella, y es la que se encarga de realizar el *sensing* del espectro y da instrucciones a las estaciones móviles para que tomen las medidas necesarias.

### 1.5. Internet de las cosas

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 y baratos, y otros 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:

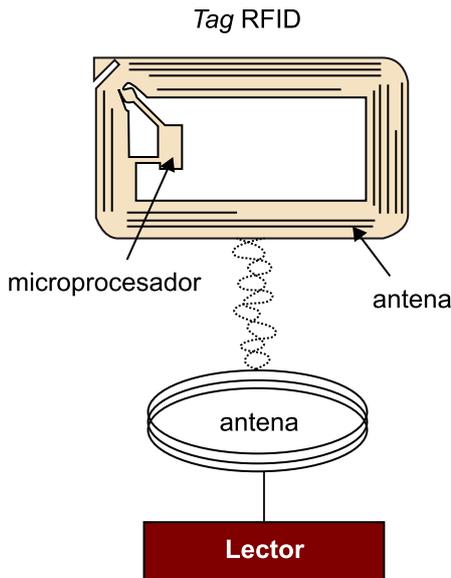
- El hardware es casi invisible y tiene una fracción muy pequeña de las funciones que puede tener el hardware tradicional de Internet (servidores, estaciones de trabajo, portátiles o móviles).
- Billones de nodos conectados en comparación a los mil millones que puede tener Internet.
- Los volúmenes de 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.

### **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 6. Sistema RFID



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.

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.

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

- Sistemas máquina-máquina (*machine to machine*, M2M). El ETSI (European Telecommunications Standards Institute) tiene un comité técnico para definir soluciones eficientes para las comunicaciones M2M basándose en los estándares de Internet y las tecnologías celulares.
- Ciudades inteligentes (*smart cities*).

### 1.5.1. 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 (ved VANET en el apartado 1.4.1).
- 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.

#### **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.

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.

#### **1.5.2. 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.

Otras aplicaciones de IoT relacionadas con las ciudades inteligentes son las 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.

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. Redes de acceso de nueva generación

Las redes de cobre han sido la base de las telecomunicaciones en los últimos cien años. En la actualidad estas redes se empiezan a sustituir por redes de fibra óptica, que permiten una drástica mejora en sus prestaciones, consiguiendo velocidades de acceso de más de 100 Mbps. Esto supone un efecto muy importante sobre la economía en su conjunto, fundamentalmente por cuatro razones.

**1) Nuevas aplicaciones.** El incremento del ancho de banda permite la aparición de nuevas aplicaciones en la industria del ocio y de los contenidos audiovisuales. Se abren posibilidades para todas las aplicaciones Internet (P2P, juegos en línea, etc.) y nuevos servicios multimedia, como HDTV bajo demanda. En el ámbito público, se fomentan las aplicaciones en el sector educativo (e-learning) y en el sanitario (e-salud, especialmente en telemedicina). En cuanto a la telemedicina, las redes de nueva generación abren la posibilidad de realizar consultas médicas, diagnósticos y monitoreo de los pacientes a distancia. Estas aplicaciones pueden ser especialmente relevantes para personas con movilidad reducida o que viven en zonas alejadas de los centros con tecnología punta.

**2) Impacto en la productividad y la capacidad de innovación.** Las redes de acceso de nueva generación fomentan el teletrabajo, la computación en la nube y las teleconferencias, reduciendo las barreras geográficas y los costes de transporte.

**3) Aumento de la actividad económica.** La inversión en infraestructuras de telecomunicaciones es comparativamente más atractiva que las inversiones en otros tipos de infraestructuras. Puede tener efectos marginales más fuertes en la oferta y la productividad de una zona que hacer mejoras en las redes de servicios públicos ya existentes (OCDE, 2009).

**4) Cambios en la estructura del sector de las comunicaciones.** Los operadores tradicionales de telecomunicaciones deberán saber adaptarse para mantener la posición de liderazgo en el mercado. Hay que tener en cuentas la descentralización y viabilidad de las redes pequeñas, la separación estructural, la intervención pública y el impacto de los mercados en línea.

La definición de redes de acceso de nueva generación normalmente va ligada a la inversión en fibra en el bucle de abonado. Aunque las redes de acceso de nueva generación tienden a referirse al despliegue de esta tecnología en concreto, hay otras muchas tecnologías que pueden competir y proporcionar algunos de los servicios que están previstos por las NGN. También hay otras tecnologías que quizá no pueden competir totalmente con las redes de acceso

de nueva generación en términos de capacidad y cantidad de servicios que las NGN pueden proporcionar, pero pueden funcionar perfectamente para usuarios que no necesitan una mayor capacidad de acceso. Las diferentes tecnologías disponibles incluyen las redes de cobre actualizadas en DSL, las redes de cable coaxial, las comunicaciones a través de la red eléctrica, las redes inalámbricas de alta velocidad o los despliegues híbridos de estas tecnologías. Aunque la fibra, en concreto el desarrollo de fibra punto a punto, se describe como la prueba más relevante de las tecnologías de redes del futuro para proporcionar acceso a la NGN, seguramente habrá un número de alternativas y de opciones complementarias.

## 2.1. 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.

No existe una definición única de las redes de acceso de nueva generación. La Comisión Europea las define así:

“Las redes de acceso cableadas consisten total o parcialmente en elementos ópticos que son capaces de prestar servicios de acceso de banda ancha con características mejoradas en comparación con los servicios prestados a través de las redes de cobre existentes”.

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

### 2.1.1. 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<sup>3</sup> (*Asymmetric DSL*), que permitía velocidades de 8 Mbps de bajada y 1 Mbps de subida. Posteriormente surgió la ADSL2, que mejoraba la eficiencia utilizando una nueva codificación y modulación de la señal. La ADSL permitía tasas máximas de 12 Mbps de bajada y 2 Mbps de subida.

El estándar ADSL2+ (ITU G.992.5) permite velocidades teóricas de 24 Mbps de bajada y 3 Mbps de subida. La principal diferencia con ADSL2 es que duplica el ancho de banda utilizado, pasando de 1,1 a 2,2 MHz. El ruido afecta de manera más significativa a ADSL2+ y solo supone una mejora en el ancho de banda para distancias de la central de hasta 3 km.

Otra variante de la ADSL es la tecnología RADSL, que permite que la transmisión busque de manera dinámica la máxima velocidad posible en la línea de conexión y la readapte continuamente, sin que se produzca ninguna desconexión. Permite llegar a velocidades descendentes de 600 Kbps a 7 Mbps, y velocidades ascendentes de 128 Kbps a 1 Mbps, para un bucle de 5,4 km de longitud máxima.

Complementando esta línea tecnológica también encontramos la tecnología VDSL<sup>4</sup> (*Veryhigh bit-rate DSL*). Es 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). Para poder conseguir el máximo rendimiento la distancia de la central debe ser menor de 300 m.

El VDSL ha evolucionado al VDSL2, que sigue las características marcadas por el estándar ITU-T G.993.2 y que permite una transmisión de datos de tipo simétrico y asimétrico de hasta 250 Mbps de salida de la central. La atenuación es muy grande respecto a la distancia. Para distancias mayores de 1,5 km, su rendimiento es equivalente a ADSL2+.

<sup>(3)</sup>ADSL2 utiliza codificación Trellis de 16 estados y modulación QAM con constelaciones de 1 bit.

#### DMT (*discret multi tone*)

La técnica de modulación más utilizada en xDSL es la DMT (*discret multi tone*) estandarizada por la ITU-T. Consiste en dividir las bandas de frecuencias en 256 subcanales denominados *bins* de 4,3125 KHz. Cada uno de estos subcanales es gestionado de manera independiente, de modo que si hay ruido en uno de ellos se deja de utilizar, pero se sigue aprovechando el resto. La capacidad exacta de datos por canal depende de la modulación.

<sup>(4)</sup>El estándar VDSL puede utilizar modulación QAM/CAP o DMT. Esta última es la más usada.

Tabla 1. Resumen principales tecnologías xDSL

Tecnología	Estándar	Pares de cobre	Modulación	Ancho de banda (Mbps)	Modo	Alcance (km)
ADSL	ITU 992.1/.2	1	DMT	8	Asimétrico	2,7-5
ADSL2	ITU 992.3/.4	1	QAM/DMT	12	Asimétrico	1,3-5
ADSL2+	ITU 992.5	1	QAM/DMT	24	Asimétrico	1-3

Tecnología	Estándar	Pares de cobre	Modulación	Ancho de banda (Mbps)	Modo	Alcance (km)
RADSL	ITU 992.3	1	DMT	7	Asimétrico	5,4-8,5
VDSL	ITU 993.1	1	QAM/DMT	26-52	Sim./Asim.	0,3-1
VDSL2	ITU 993.2	1	DMT	50-100	Sim./Asim.	1-2

### 2.1.2. 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.

#### 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).

Las señales de subida y bajada utilizan diferentes modulaciones debido a la diferencia de relación señal/ruido de las frecuencias que utilizan cada uno de estos canales en el cable. El medio de transmisión es asimétrico y poco fiable, por lo que se utilizan códigos de corrección de errores que suponen un 10% de sobrecarga.

La velocidad de datos que se obtiene depende de los anchos de banda asignados y de la modulación. Con canales de 6 MHz (estándar americano) y modulación 256-QAM, la velocidad puede llegar hasta los 38 Mbps, mientras que con canales de 8 MHz (estándar europeo) y la misma modulación se podría llegar a los 51 Mbps. En el caso de subida, con un canal de 3,2 MHz y 16-QAM habría disponibles 10 Mbps.

#### Modulación

DOCSIS especifica la utilización de una modulación 64-QAM o 256-QAM para el canal de bajada, y QPSL, 16-QAM o 64-QAM para el canal de subida.

El último 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 topología de una red HFC se divide en dos partes:

- la primera consiste en conectar el usuario a un nodo zonal (en la manzana de la vivienda) mediante cable coaxial, y
- la segunda interconecta los nodos zonales con fibra óptica.

En la cabecera de la red hay un equipo especial denominado *CMTS* (*cable model termination system*), y en las viviendas de los usuarios se instala el equipo *CM* (*cable modem*). Normalmente, la compañía configura el cable módem para que no supere el caudal contratado.

Cada CM solo puede comunicarse con el CMTS, que se comporta como un puente remoto. Todos los CM de un segmento comparten el medio físico y los canales de datos. Las emisiones del CMTS llegan a todos los CM del segmento; por lo tanto, la información debe viajar cifrada.

### 2.1.3. 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 (*passive optical networks, PON*), que no requieren alimentación externa para distribuir la información a través de la red.
- Redes ópticas activas (*active optical networks, AON*), 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 PONE*) 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.

#### **2.1.4. 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 (*broadband 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. Aun así, la respuesta del canal es todo lo contrario de

la ideal: varía en el tiempo dependiendo de la carga (del consumo de energía en cada momento) y tiene grandes fluctuaciones en frecuencia. Es decir, es hostil y muy ruidosa. En estas frecuencias de trabajo la señal tiene una gran atenuación con la distancia, y la función de transferencia del canal presenta desvanecimientos selectivos.

Por todo ello se hace imprescindible utilizar sistemas de modulación muy robustos. En la primera generación de la tecnología PLC se utilizaban modulaciones como *DSSSM* (*direct sequence spread spectrum modulation*) y *GMSK* (*gaussian minimum shift keying*). *DSSSM* se caracteriza por que puede operar con una baja densidad espectral de potencia. Es muy robusto pero tiene una pobre eficiencia espectral y es sensible al desvanecimiento selectivo de la frecuencia. *GMSK* optimiza el uso del ancho de banda. En la última generación de BPL la modulación más eficiente que comúnmente se utiliza es la *OFDM* (*orthogonal frequency division multiplex*). *OFDM* utiliza un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos. Se adapta bien y de manera dinámica a las condiciones del canal y es tolerante al ruido.

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. El objetivo del estándar es definir las capas física y de enlace de datos (MAC) del modelo de referencia OSI para poder desplegar redes con unas tasas de transmisión de hasta 500 Mbps a distancias de hasta 1,5 km, utilizando frecuencias de transmisión menores de 100 MHz.

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.

## 2.2. Tecnologías inalámbricas

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

- **Redes de acceso de área personal y doméstica.** 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.** 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.** 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.
- **Las redes celulares.** Son una evolución de la telefonía móvil como herramientas de conversación y comunicación para usos privados y comerciales.

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

A continuación se presentan cinco tecnologías de comunicaciones de corto alcance 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. Como hemos visto, 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, en la banda de 13,56 MHz, y está basada en los estándares ISO 14443, ISO 18092 y el FeliCa. Soporta tasas de 424 kbps hasta 10 cm de distancia. 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.

#### *Ultra wideband (UWB)*

La UWB es una tecnología basada en la transmisión de pulsos con unos tiempos de subida y bajada muy cortos (entre algunas decenas de picosegundos y pocos nanosegundos). La transmisión por pulsos se traduce en el dominio de la frecuencia en un espectro de gran ancho de banda. En el 2002 la FCC propuso la definición de los sistemas UWB como aquellos cuyo ancho de banda fuera, como mínimo, de 1,5 GHz. Gracias a este ancho de banda las señales UWB pueden ofrecer altas capacidades (entre 100 y 200 Mbps) a un gran número de usuarios simultáneos (al poder dividir todo el ancho de banda en diferentes subbandas), en distancias cortas (10 m) y emitiendo señales de baja potencia.

## 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. La versión 2.0 del estándar puede llegar a velocidades de 3 Mbps. El alcance de la red depende del tipo de dispositivo Bluetooth y puede ir desde 1 m (dispositivos con 1 mW de potencia) hasta los 100 m (100 mW de potencia).

## 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 en la banda de 2,4 GHz, en la que se definen hasta 16 canales con rangos de ancho de banda de 5 MHz. Utiliza modulación QPSK y permite velocidades de hasta 150 Kbps con un alcance de 75 m.

## 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

### Nota

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.

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.

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

A continuación haremos un breve resumen de la tecnología reina de las redes inalámbricas de área local (WiFi) y presentaremos dos tecnologías que permiten la convergencia de redes celulares y LAN.

#### WiFi

La tecnología WiFi 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). Actualmente, con los estándares 802.11a/b/g se puede conseguir una alta velocidad de datos (tabla 2). Sin embargo, 802.11n podrá llegar hasta los 600 Mbps, y junto con 802.11i (calidad de servicio), 802.11o (*roaming* con redes 3G) y 802.11i (seguridad) la tecnología podrá ofrecer unos buenos servicios avanzados al usuario final.

Tabla 2. Características de los protocolos IEEE 802.11 más utilizados

Protocolo	Banda ISM	Velocidad
802.11a	5,4 GHz	54 Mbps
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps
802.11n	2,4 y 5,4 GHz	600 Mbps

#### Red de acceso genérico (GAN)

Una red de acceso genérico (GAN), conocida inicialmente como *unlicensed mobile access* (UMA), es un estándar del 3GPP, que permite hacer un traspaso de llamada (*handover*) de una red celular a una red IP inalámbrica de espectro no licenciado, como Bluetooth o WiFi, sin cortes y de manera totalmente transparente para el usuario, tanto para la voz como para los datos. El objetivo es crear un terminal único que permita a los usuarios acceder a todo el abanico de servicios de las NGN, aprovechando las ventajas que ofrecen las diferentes redes fijas y móviles. La topología está formada por un punto de acceso (AP) inalámbrico que opera en las licencias libres del espectro (por ejemplo, WiFi y Bluetooth) y un controlador de red gestionado por el operador móvil. El terminal de usuario es dual (Bluetooth + GSM/UMTS, o (WiFi + GSM/UMTS) y el usuario puede realizar sus comunicaciones a unos costes adaptados al entorno desde el que se origina la llamada, así como acceder a todos los servicios que tiene contratados aprovechando la velocidad de la red a la que está conectado.

- 1) Cuando un usuario llega a un entorno que tiene cobertura mediante AP, detecta su presencia y se enlaza a ella automáticamente.
- 2) La AP está conectada a una red de banda ancha (por ejemplo mediante ADSL). A través de la AP el terminal contacta con un controlador de red para realizar el proceso de autenticación que permita acceder a los servicios móviles.
- 3) Si el proceso de autenticación es satisfactorio, el controlador actualiza la información de localización del usuario y desde este momento el tráfico móvil es encaminado mediante el controlador hasta la red de acceso IP.
- 4) Si durante el transcurso de una comunicación el terminal sale de la zona de cobertura de la AP, el terminal se conecta al controlador y este le facilita el traspaso (*handover*) a la red móvil convencional GSM/UMTS.

Las ventajas de utilizar GAN de cara al usuario son: reducción de costes, mayor ancho de banda de acceso a los servicios, mayor comodidad al tener todos los servicios centralizados en un único dispositivo. Las ventajas de cara al operador son fomentar los servicios de datos y ampliar el área de cobertura de las redes en interiores.

### Femtoceldas

Las femtoceldas son pequeñas radiobases celulares que se despliegan en los interiores de los edificios y se conectan a la red del operador móvil utilizando la red de banda ancha fija (por ejemplo, xDSL). Su función es el encaminamiento de las comunicaciones de los teléfonos móviles. Las motivaciones de esta tecnología son dos:

- El ahorro en sistemas de radiobases externas, con la consiguiente reducción de costes y precios.
- La mejora de la cobertura en interiores sin aumentar las inversiones en radiobases.

A diferencia de los sistemas GAN, las femtoceldas no requieren que el usuario disponga de ningún terminal especial con tecnología dual. Son compatibles con los móviles celulares estándar y permiten que el usuario disfrute de un mejor ancho de banda a un coste reducido, comparado con las prestaciones de las redes celulares.

El desarrollo de femtoceldas hoy en día es escaso, pero ha adquirido mucha notoriedad con el lanzamiento de la cuarta generación de telefonía celular LTE.

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

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

#### WiMAX

WiMAX (*worldwideinteroperability 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.

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

Entre otros, WiMAX provee:

- Alcance de hasta 30 km en línea de visión directa y unos 3-5 km en zonas urbanas.
- Tasa de transferencia de entre 32 y 134 Mbps, según la distancia y condiciones QoS.
- Movilidad del terminal de usuario de hasta 120 km/h (si se utiliza al menos 802.16i).
- *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:

1) **Entorno fijo.** Se establece un enlace radio entre la estación base y el usuario final. Las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son 134 Mbps con visión directa y modulación 64 QAM, o bien 75 Mbps sin visión directa y modulación OFDM (*orthogonal frequency - division multiplexing*).

2) **Entorno móvil.** Presenta movilidad completa, lo que permite el desplazamiento del usuario de una manera similar a la que se puede dar en GSM/UMTS. Presenta un alcance de hasta 80 km con antenas muy direccionales y de alta ganancia, y con velocidades de hasta 75 Mbps (la mitad de subida y la otra de bajada). Utiliza modulación *SOFDMA* (*scalable orthogonal frequency division multiple access*), que permite hasta 2.048 subportadoras con canal de ancho de banda de entre 1,25 y 20 MHz. Este entorno en operación WiMAX todavía no está del todo desarrollado.

#### Nota

En entornos experimentales de WiMAX en entorno fijo se han conseguido velocidades de 40 Mbbps, con radios de celda de hasta 10 km y un ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la celda.

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.

#### 2.2.4. Redes celulares

Las redes celulares que están pensadas para soportar NGN son las de cuarta generación. En este apartado haremos un breve resumen de la evolución de las redes celulares desde sus orígenes hasta explicar las características del 4G.

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 la modulación *GMSK (gaussian minimum shift keying)*, 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. Hay 8 *slots* y cada uno tiene una tasa de 14 Kbps. Normalmente se utilizan 4 para datos (3 de bajada y 1 de subida), con lo que se obtiene una velocidad de 56 Kbps.

#### 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.

*EDGE (enhanced data rates for GSM evolution)* es una evolución de GPRS. Utiliza una técnica de modulación mejorada, el 8-Phase Shift Keying (8-PSK), 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, es decir, ofrece aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. 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 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), se ejecuta sobre una portadora de 5 MHz de ancho y proporciona una transmisión de datos a altas velocidades, tanto por conmutación de paquetes (284 Kbps) como por conmutación de circuitos (2 Mbps).
- *CDMA2000 (code division multiple access 2000)*. Es un sistema de 3G basado en versiones anteriores de CDMA. Ofrece las capacidades de 2.5G dentro de un único canal de 1,25 MHz, duplicando la capacidad de voz de los sistemas CDMAOne de 2G y llegando a una velocidad de hasta 2 Mbps. Se ejecuta en un espectro entre los 800 MHz y 1,8-2,0 GHz. El CDMA2000 engloba los estándares CDMA20001x, CDMA2000 1xEV-DON (*1x evolution data-optimized*) y CDMA2000 1xEV-DV (*1x evolution voice/data*).
- *TD-CDMA (time division CDMA)*. Es un estándar 3G desarrollado en China. Se basa en CDMA pero utiliza TDMA. Además, utiliza TDD en lugar de FDD. El uso de TDMA reduce el número de usuarios que compiten por cada ranura de tiempo, lo que hace disminuir la complejidad técnica del sistema aunque a expensas de la cobertura y la movilidad. Las velocidades de datos asíncronos van desde los 1,2 Kbps hasta los 2 Mbps en las dos direcciones.

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**. HSDPA permite aumentar las tasas teóricas de bajada a 14,4 Mbps, aunque las implementaciones actuales compatibles están alrededor de 400-700 kbps, con ráfagas de hasta 3,6 Mbps durante cortos periodos de tiempo, utilizando una técnica de modulación adaptativa.

*HSUPA (high speed uplink packet access)*, calificado como generación 3.75, es una evolución de HSDPA que consiste en un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con una alta tasa de transferencia de subida de hasta 5,76 Mbps.

*HSPA+ (high speed packet access evolved)* es una combinación de HSDPA y HSUPA. Si la señal es buena, modula los datos con 64 QAM y permite velocidades pico de 28 Mbps de bajada y 11,5 Mbps de subida. La *release 8* de HSPA+ 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:

- 1) la evolución de la red hasta estar basada completamente en tecnología IP,
- 2) utilizar conmutación de paquetes, y
- 3) 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 de 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 (*multiple input multiple output*) para minimizar los errores de datos y mejorar la velocidad. El sistema radio está basado en OFDM (*orthogonal frequency division multiple*).

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 WiFi (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.

El futuro de la LTE es la LTE-Avance. Se trata de una tecnología totalmente compatible con LTE, que permite mejorar la tasa de transferencia de datos, consiguiendo tasas de 100 Mbps en alta movilidad y 1 Gbps a baja movilidad.

En la tabla 3 se muestra un resumen de las principales características de las tecnologías de telefonía celular.

Tabla 3. Telefonía móvil

	<b>1G</b>	<b>2G</b>	<b>2.5G</b>	<b>3G</b>	<b>3.5G</b>	<b>4G</b>
<b>Nuevos servicios que aporta</b>	Voz analógica	Voz digital	Voz + datos	Servicios multimedia	Servicios multimedia de banda ancha	Redes ubicuas
<b>Tecnologías</b>	NMT AMPS	GSM PDC IS-95A IS-136	GPRS HSCSD EDGE IS-95B	WCDMA CDMA2000	HSPA WiMAX UMT-LTE CDMA 2000 1xEV	LTE LTE-Advanced
<b>Características principales</b>	Modulación FM Conmutación de circuitos	Modulación digital Control de errores Compresión de datos Traspaso de llamadas ( <i>handover</i> ) Voz de alta calidad	Voz + datos Mayores tasas de transferencia que 2G	Soporte para servicios multimedia Transmisión para paquetes Capacidad mayor	Multimedia de banda ancha Tasas de transmisión de datos de alta velocidad Soporte de QoS en banda ancha	Redes heterogéneas Interfaz del aire adaptativa QoS garantizada Gran amplitud de banda real
<b>Modulación</b>	FDMA	TDMA/CDMA	TDMA/CDMA	WCDMA	WCDMA/OFDMA	OFDMA
<b>Velocidad de transmisión</b>	2,4 kbps	9,6-28,8 kbps	57-115 kbps	0,144--2 Mbps	~10's Mbps	~100's Mbps
<b>Periodo</b>	Años 70-años 80	Años 80-años 90	Años 90	Años 90-2000	Actual	2017

## 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 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. NGN trata 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.



## **Actividades**

1. Identificad qué aplicaciones y servicios de nueva generación se ofrecen en vuestra ciudad.
2. Enumerad las redes de acceso que utilizáis habitualmente y cuál es la velocidad que os proporcionan. ¿Es suficiente para los servicios a los que accedéis?

## Glosario

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

**RTC** Red telefónica conmutada.

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

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

**MANET** Mobile Ad hoc Network. Red móvil *ad hoc*.

**VANET** Vehicular Ad hoc Network. Red de vehículos *ad hoc*.

**CRN** Cognitive Radio Network. Red de radio cognitiva.

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

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

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

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

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

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

**VDSL** Very High Speed Digital Subscriber Line. Línea de subcriptor digital a muy alta velocidad.

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

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

**EDGE** Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Tecnología con tasas de datos mejorados por la evolución de GSM.

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

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

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

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

## Bibliografía

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

**Plevyak, Th.** (abril 2010). "Next Generation Telecommunications Networks, Services, and Management". *IEEE Press Series on Network Management*. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-57528-4.

