

Tema 6

REDES DE COMUNICACIONES.
REDES DE CONMUTACIÓN
Y REDES DE DIFUSIÓN.
COMUNICACIONES MÓVILES
Y REDES INALÁMBRICAS.

Guion-resumen

1. Redes de comunicaciones

1.1. Tipos de redes de comunicaciones

2. Redes de conmutación y redes de difusión.

2.1. Redes de conmutación

2.2. Redes de difusión

3. Comunicaciones móviles

3.1. Evolución de las comunicaciones móviles. Generaciones

4. Redes inalámbricas

4.1. Tecnologías inalámbricas Wireless PAN (WPAN)

4.2. Tecnologías inalámbricas Wireless LAN (WLAN)

4.3. Tecnologías inalámbricas Wireless MAN (WMAN)



1. Redes de Comunicaciones

Se considera que una red de comunicación es un sistema de transmisión de datos que permite el intercambio de información entre sistemas. La transmisión de la información se produce a través de un medio de transmisión o combinación de distintos medios: cables de fibra óptica, tecnología inalámbrica, enlaces vía satélite, enlaces de microondas, etcétera.

La descripción de la estructura de las redes de comunicaciones precisa de la consideración de varios aspectos relevantes. Es más que conveniente analizar los diferentes elementos y equipos involucrados en las comunicaciones así como la topología, el esquema de las interconexiones entre dichos elementos.

De forma genérica, cada uno de los equipos que forma parte de una red y que cuenta con capacidad de comunicación se denomina nodo. Estos se conectan entre sí utilizando líneas de transmisión o enlaces de comunicaciones.

Otro de los aspectos fundamentales es el canal de comunicación, pues es el recurso necesario para dar soporte a las comunicaciones. Se podría considerar que sus dos principales propiedades son el tiempo durante el que se encuentra disponible para su uso y su ancho de banda, que limitará la cantidad de información disponible para transmitir.

Por tanto, es preciso articular mecanismos para compartir el canal entre los dispositivos en aquellos casos en los que todos transmiten sobre un mismo canal.

Las técnicas básicas se caracterizan por dividir tanto el tiempo como las frecuencias por la que transmite cada emisor que acceder al canal. La primera se denomina multiplexación por división en el tiempo y la segunda multiplexación por división en frecuencias. Sus características principales son:

- **Multiplexación por división en el tiempo** (en inglés *Time-Division Multiplexing, TDM*). Se transmite en turnos a lo largo del tiempo que los emisores utilizan el medio, eso sí, utilizando todo el ancho de banda completo. Cada uno de los intervalos asignados a una fuente en la trama se denomina ranura (en inglés, *slot*). Existirá, por tanto, una ranura por fuente en cada trama. La telefonía digital es un ejemplo de este tipo de división.
- **Multiplexación por división en frecuencias** (en inglés *Frequency-Division Multiplexing, FDM*). Todos los emisores transmiten en el tiempo de forma simultánea pero utilizando un rango de frecuencias distinto. A cada emisor se le asigna una frecuencia en base a los distintos procesos de modulación (*AM, FM, ASK, PSK, PM*, etcétera). La aplicación más habitual es la radiodifusión y constituye la base de los sistemas *DSL*.

Una variante óptica del esquema *FDM* (que es de naturaleza eléctrica) es la técnica de **multiplexación por división en la longitud de onda** (en inglés *Wavelength-Division Multiple Access, WDMA*). Se utiliza en transmisiones sobre fibra óptica, donde distintas fuentes acceden a la misma fibra utilizando longitudes de onda diferentes.



Estas técnicas reciben también el nombre de multicanalización, debido a que en ambas se reparte el uso del canal en otros múltiples.

Una transmisión en banda ancha permitirá varias comunicaciones sobre un mismo medio gracias a la asignación de rangos de frecuencia distintos. Sin embargo, una transmisión en banda base no alterará los componentes originales de frecuencia de la señal. Suele generalizarse la transmisión en banda base como la transmisión de una única señal sobre el canal en un instante dado. El caso más típico de transmisión de banda base es el que sucede en las redes *LAN*, por ejemplo 100Base-T.

1.1. Tipos de redes de comunicaciones

Existen diversos métodos para clasificar las redes de comunicaciones, atendiendo a los siguientes factores:

- Según la forma de **compartir recursos** o si existen una función predominante para cada nodo de la red:
 - **Redes entre iguales** (en inglés *peer-to-peer*). No existe una jerarquía en la red. Todos los nodos pueden actuar como clientes (accediendo a los recursos de otros puestos) o como servidores (ofreciendo recursos). Son las redes que se utilizan en entornos de tamaño reducido, como en pequeña oficinas, de no más de 10 ordenadores.
 - Basada en el **modelo cliente/servidor**. Los roles de cada nodo están bien definidos. Un conjunto de equipos actúan como servidores y el resto como clientes. Los servidores suelen coincidir con las máquinas con más prestaciones de la red. No se utilizan como puestos de trabajo de usuario. En ocasiones, ni siquiera tienen monitor puesto que se administran de forma remota: todos sus recursos están destinados a ofrecer algún servicio al resto de equipos que forman la red.
- Según el tipo de **medio físico** sobre el que operan:
 - **Par trenzado**. Utilizan hilo de cobre. Cuentan con la limitación de un reducido ancho de banda. Algunas de las tecnologías en este grupo serían las que usan el bucle de abonado de la red telefónica, por ejemplo el uso de módems telefónicos, el acceso mediante *RDSI* y las tecnologías *DSL*. También podrían incluirse las que utilizan los cables de suministro eléctrico (en inglés *Broadband over Power Lines, BPL*).
 - **Todo fibra**. Únicamente utiliza fibra óptica. Su tecnología más conocida es *FTTH (Fiber To The Home)*. Algunas redes que operan sobre este medio físico serían la Red Óptica Sincronizada (en inglés *Synchronous Optical Network, SONET*), la Jerarquía Digital Síncrona (en inglés *Synchronous Digital Hierarchy, SDH*) y la Red Óptica Pasiva (en inglés *Passive Optical Network, PON*), todas ellas



generadoras de grandes expectativas pero que, hasta la fecha, no han podido entrar en el mercado residencial.

- **Coaxial y fibra.** Tecnología conocida como cable-módem. Aquí se combinan los dos medios. La tecnología más conocida es *HFC (Hybrid Fibre Coaxial, Híbrido de Fibra Coaxial)*, sucesora de *CATV (Community Antenna Television, Televisión por cable)*.
- **Inalámbrico**, utilizan un canal de radio. Existen varias alternativas:
 - Acceso por satélite.
 - Tecnología *LDMS (Local Multipoint Distribution System)*.
 - Telefonía móvil, con todas sus generaciones (2G, 3G, 4G y *WiMAX*).

— En función de su **extensión geográfica**:

- **Redes de área local** (en inglés *Local Area Network, LAN*). Son las redes de corto alcance, que abarcan un área reducida, entendiendo como reducido el tamaño de una oficina o de un edificio, por ejemplo. Estas cortas distancias permiten transmisiones de información muy rápidas.
- **Redes de área metropolitana** (en inglés *Metropolitan Area Network, MAN*). Son redes que proporcionan cobertura en un área geográfica más extensa que las de área local, habitualmente en torno a las decenas de kilómetros. Es un concepto que muestra la evolución de las redes LAN a un ámbito mayor y utilizando tecnologías similares a ellas. También es posible encontrar redes MAN con cobertura regional e incluso nacional utilizando técnicas de interconexión de redes metropolitanas. Asimismo, también pueden considerarse redes MAN las redes de un campus universitario para unir sus distintas facultades y escuelas.
- **Redes de área amplia** (en inglés *Wide Area Network, WAN*). Se trata de redes utilizadas para transmitir datos a través de largas distancias, utilizando redes LAN y WAN así como otras arquitecturas para conectar infraestructuras de red que pueden no encontrarse en la misma ubicación física.

Esta división geográfica tenía su justificación en las diferentes tecnologías empleadas en cada una de ellas. Actualmente, no existen diferencias tecnológicas significativas entre las redes LAN y MAN. Es más habitual diferenciarlas en función de su **cobertura**:

- **PAN** (*Personal Area Network, Red de área personal*), son redes de corto alcance (apenas metros) utilizadas sobre todo para conectar equipos periféricos o dispositivos de usuario como teléfonos, auriculares, etcétera. La mayoría de redes PAN utilizan habitualmente tecnologías inalámbricas.



- **LAN.** Sus prestaciones pueden alcanzar hasta las centenas de metros o puede que algunos pocos kilómetros.
 - **WAN.** Pueden llegar a cubrir un territorio amplísimo, desde un país a un continente, por lo que prestan a servicio a miles de kilómetros.
- Según su **arquitectura**:
- **Redes conmutadas.** Son redes que precisan una conmutación entre los nodos para establecer las rutas adecuadas para la comunicación entre origen y destino. Existen varias técnicas de conmutación:
 - Conmutación de mensajes.
 - Conmutación de circuitos.
 - Conmutación de paquetes.
 - Conmutación basada en etiquetas.
 - **Redes de difusión.** En este tipo de redes únicamente existe un medio de transmisión que es compartido por todos los dispositivos. Algunos ejemplos de redes de difusión son:
 - Comunicaciones por radio.
 - Comunicaciones por satélite.
 - Las redes de área local (LAN).

Las redes LAN se caracterizan por utilizar una tecnología de transmisión basada en la difusión. Sin embargo, las redes WAN han de cubrir distancias superiores por lo que su tecnología de transmisión se basa en enlaces punto a punto y nodos de conmutación. Es muy habitual que las redes WAN se originen por la interconexión de redes LAN.

2. Redes de conmutación y redes de difusión

2.1. Redes de conmutación

Existen cuatro tipologías principales de redes que utilizan la conmutación:

- Redes de conmutación de mensajes.
- Redes de conmutación de circuitos.
- Redes de conmutación de paquetes.
- Redes de conmutación basadas en etiquetas.



2.1.1. Redes de conmutación de mensajes

Es el método más antiguo de conmutación. Inicialmente fue utilizado por los sistemas telegráficos. En esta transmisión el emisor envía el mensaje completo hacia un nodo intermedio que lo almacena hasta que le llegue su turno para reenviarlo al receptor. Los mensajes se transmiten de un nodo al siguiente, liberando nodos para que los ocupen los mensajes que esperan. Esto obliga a que los nodos intermedios cuenten con una gran capacidad de almacenamiento.

2.1.2. Redes de conmutación de circuitos

Se establece una conexión previa a la transferencia de información entre las estaciones origen y destino. Al establecerse, los datos que forman el mensaje se transmiten secuencialmente siguiendo el mismo circuito. Cuando concluye la comunicación se cierra la conexión. Las principales tecnologías basadas en la conmutación de circuitos son:

A) RDSI

La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) es un sistema digital de conmutación de circuitos. Es similar a la Red de Telefonía Básica (RTB) porque ambos son sistemas conmutados aunque se diferencian en que RTB es analógico y RDSI, digital.

RDSI utiliza **multiplexación por división en el tiempo** (TDM) para manejar varios canales simultáneamente. A cada canal se le asigna un segmento de tiempo (período) y se van alternando de forma circular.

Cuando se contrata una línea RDSI hay que indicar los canales que la van a constituir. Estos canales pueden ser de los siguientes tipos:

- Canal A. Canal analógico de voz (4 kHz).
- Canal B. Canal digital de 64 kbps utilizado para voz o datos.
- Canal C. Canal digital de 8 ó 16 kbps.
- Canal D. Canal digital de 16 kbps (acceso básico) o 64 kbps (acceso primario) para señalización fuera de banda.
- Canal E. Canal digital de 64 kbps para señalización de RDSI interna.
- Canal H. Canal digital de 384 kbps (H0), 1536 kbps (H11) o 1920 kbps (H12).

Existen una serie de combinaciones habituales de canales que reciben los nombres de acceso básico, acceso primario y acceso híbrido.

- **Acceso básico.** Consta de 2 canales B y de 1 canal D (2 B + 1 D). Es la combinación habitual cuando se contrata una línea RDSI para el hogar o la oficina. Permite la conexión de hasta 8 dispositivos dentro



del bus RDSI, como teléfonos, PCs, máquinas de fax o videoconferencia. Si se utiliza la línea RDSI para conexión a Internet o para transferencia de datos tendremos 64 kbps si utilizamos uno de los dos canales o bien, 128 kbps si utilizamos los dos canales simultáneamente. La utilización de los dos canales equivale, a efectos de facturación, a realizar dos llamadas telefónicas.

- **Acceso primario.** Consta de 30 canales B y 1 canal D (30 B + 1 D, que permiten lograr hasta 2 Mbps) en Europa o de 23 canales B y 1 canal D (23 B + 1 D, permitiendo lograr hasta los 1,5 Mbps) en EE.UU. y Japón. Es adecuado para empresas que requieran una gran cantidad de ancho de banda para interconectar sus distintas dependencias (repartidas quizás por toda la geografía nacional) con una oficina central.
- **Acceso híbrido.** Consta de 1 canal A y 1 canal C (1 A + 1 C).

El acceso primario también puede usar combinaciones de canales H:

- Estructuras del canal Ho. Ejemplos: 4 Ho (1,5 Mbps) y 5 Ho (1.920 kbps).
- Estructuras del canal H1. Ejemplos: 1 H11 (1,5 Mbps) y 1 H12 (1.920 kbps).
- Estructuras mezcla de canales B y Ho. Incluye cualquier combinación hasta el límite físico de la línea. Ejemplo: 3 Ho + 5 B + D (1,5 Mbps).

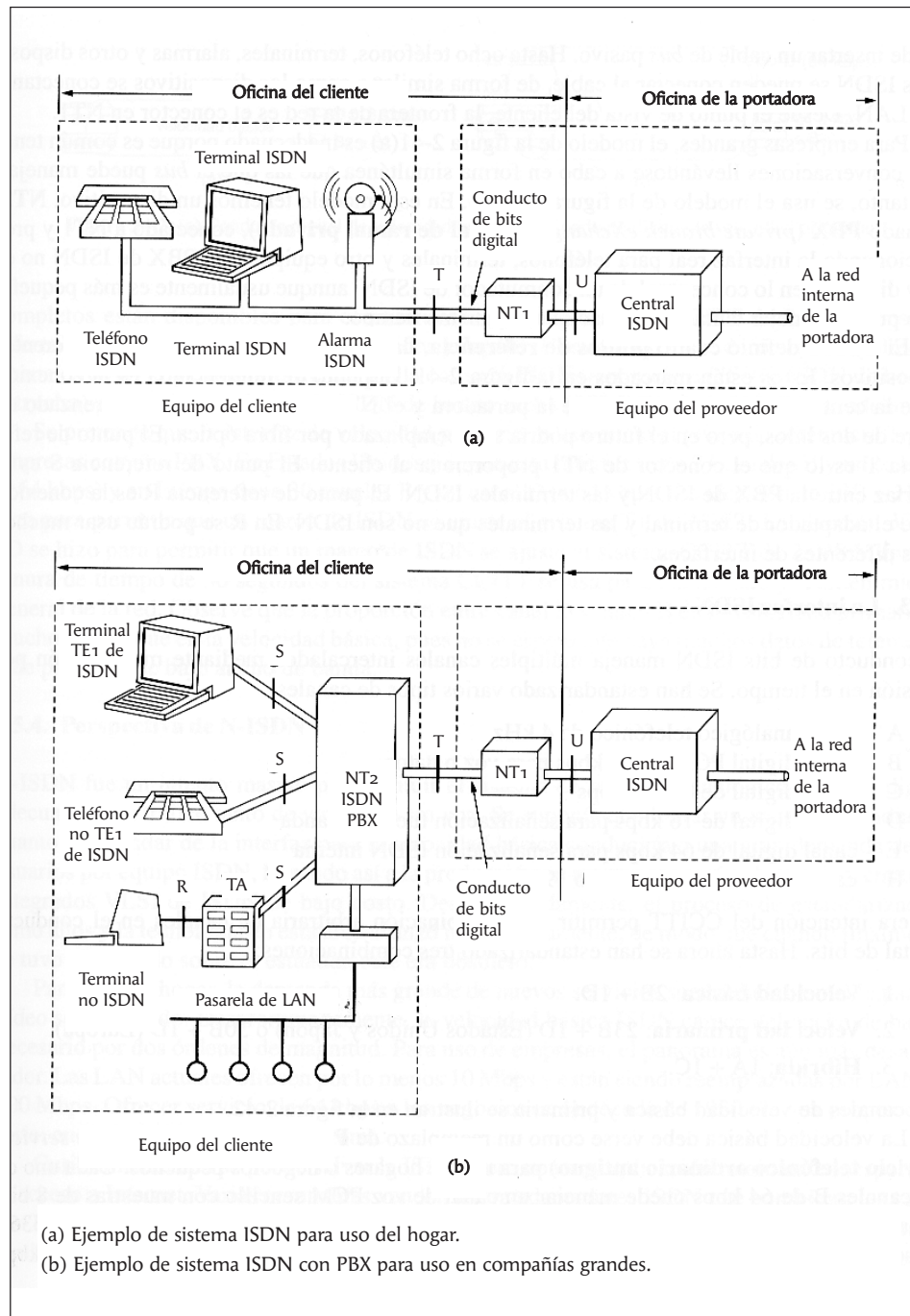
RDSI incluye una serie de servicios suplementarios como:

- Identificación de llamada entrante.
- Reenvío de llamada (incondicional o en ausencia de respuesta).
- Llamadas en espera, retención de llamadas.
- Cobro revertido.

Algunos de estos servicios ya se han incluido en la RTB, aunque originalmente solo estaban disponibles para RDSI.

En RDSI existe una nomenclatura para definir los distintos dispositivos y conexiones entre ellos, que debemos conocer:





(a) Ejemplo de sistema ISDN para uso del hogar.

(b) Ejemplo de sistema ISDN con PBX para uso en compañías grandes.

Equipos Terminales (ET) o Terminal Equipment, TE):

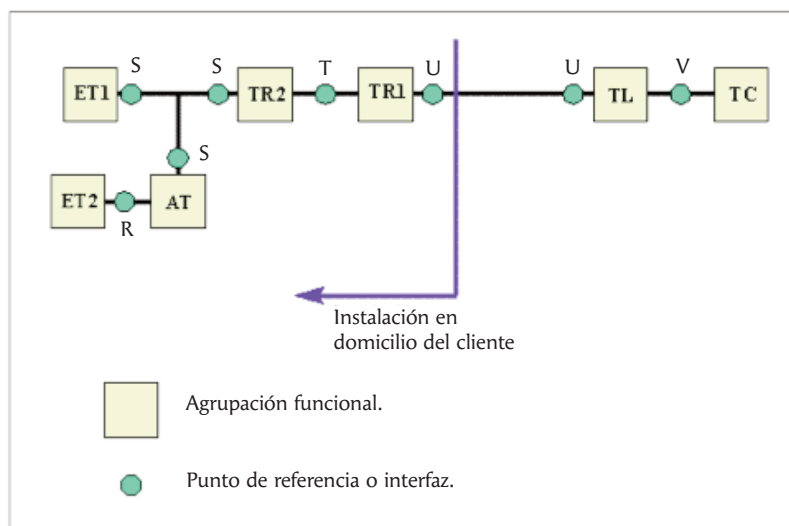
- **TE1 (ET1).** Equipo RDSI (por ejemplo, un ordenador con adaptador RDSI).
- **TE2 (ET2).** Equipo no RDSI (por ejemplo, una máquina de fax analógica).
- **TA (AT).** Adaptador de terminal. Permite la conexión de equipos no RDSI (analógicos).

Terminales de red (TR) o Network Terminal (NT):

- **NT1 (TR1).** Conecta la red del cliente con la del operador del servicio (se sitúa a la entrada de las dependencias del cliente).
- **NT2 (TR2).** Puede ser una centralita RDSI privada (PBX). Esta centralita sólo es necesaria en empresas que necesitan conectar más de 8 dispositivos. Se sitúa a continuación del NT1. Utiliza la interfaz T para conectarse al NT1 e interfaces S para conectarse a los distintos equipos RDSI.

Puntos de referencia:

- **U.** Interfaz con el operador. Se sitúa entre la central RDSI (en dependencias del proveedor del servicio) y el NT1 (dependencias del cliente).
- **S.** Interfaz para equipos RDSI.
- **R.** Interfaz para equipos no RDSI.
- **T.** Interfaz entre NT1 y equipos cliente. Si existe una NT2, esta interfaz se sitúa entre los terminales NT1 y NT2. Si no existe, T coincide con S.



B) Tecnologías DSL

DSL (Digital Subscriber Line) es el conjunto de tecnologías que aprovechan la región de frecuencias no utilizadas por la transmisión analógica de voz del par de cobre telefónico para la transmisión de datos a altas velocidades. Fueron diseñadas para operar con datos sobre líneas telefónicas convencionales y así ahorrar el despliegue de nuevo cableado.

Estas tecnologías pueden ofrecer:

- Una velocidad de bajada o descarga (*downlink*, desde la red al abonado) distinta a la de subida (*uplink*, desde el abonado hacia la red). Aquí se hablaría de tecnologías asimétricas.
- Una velocidad de bajada igual a la de subida de datos. En este caso se trataría de tecnologías simétricas.

Las tecnologías **asimétricas** de DSL incluyen: ADSL, G.lite ADSL (o simplemente G.lite), RADSL y VDSL.

- **ADSL**. Es la versión de DSL más difundida. Para distinguirla del resto de versiones asimétricas en ocasiones se utiliza el término inglés *Full Rate*, FR. Está definido en la recomendación de la ITU-T G.992.1 y el estándar ANSI T1.413-1998.
- **G.lite**. Versión de ADSL de bajo coste y menor velocidad (ITU G.992.2).
- **RADSL** (*Rate Adaptive DSL*, DSL de tasa adaptativa). Es una variante no estándar que adapta su velocidad dinámicamente según las condiciones de la línea.
- **VDSL** (*Very high bit rate DSL*, DSL de tasa muy alta). Puede alcanzar velocidades entre 13 y 52 Mbps de bajada y de 1,5 a 2,3 Mbps de subida. VDSL puede utilizarse para vídeo en tiempo real. También puede funcionar en modo simétrico. (ITU G.993.1).
- **VDSL2** Es la más rápida de las tecnologías DSL con una velocidad de bajada y subida de 100Mbps. (ITU G.993.2). También puede funcionar en modo simétrico.

Las tecnologías **simétricas** son: SDSL, SHDSL, HDSL-2 y IDSL. También pueden funcionar en modo simétrico las tecnologías VDSL y VDSL2. Esta simetría posibilita la interconexión de redes locales, videoconferencia y alojamiento de servidores. Sus principales características son:

- **SDSL** (*Symmetric DSL*, *DSL simétrico*). Funciona con un único par de cobre.
- **HDSL** (*High data rate DSL*, DSL de tasa alta). Puede utilizar 2 o 3 pares de cobre para alcanzar velocidades (en ambos sentidos) de 1,5 o 2 Mbps.
- **HDSL2** (HDSL de segunda generación). Es muy similar a HDSL aunque utilizando un único par de cobre con una velocidad de 1,5 Mbps.



- **SHDSL** (*Single pair high bit rate DSL*, DSL de tasa alta sobre un único par). Servicio simétrico de hasta 2,3 Mbps a una distancia de hasta 3 km.
- **IDSL** (*Integrated services digital network DSL*, o DSL RDSI). Tecnología similar a SDSL pero implementada en líneas RDSI. Permite velocidades de hasta 144 kbps.

El mayor problema para el desarrollo de comunicaciones a alta velocidad sobre el cable telefónico se encuentra en su reducido ancho de banda (4kHz). Pese a ello, es posible transmitir señales a una mayor frecuencia, siempre que lo permitan tanto la atenuación como el ruido.

Para afrontar estas dificultades se desarrollaron varias técnicas. La más utilizada es DMT (*Discrete MultiTone*, Multitono discreto). Combina cancelación de eco y técnicas avanzadas de codificación de línea.

• ADSL

Las líneas **ADSL** (*Asymmetric Digital Subscriber Line*, línea digital asimétrica de abonado) permiten el acceso a Internet utilizando el mismo par de cobre instalado para la línea telefónica. Utiliza una región de frecuencias diferente del cable por lo que no interfiere con las conversaciones de voz. Esto se consigue mediante tecnología de división de frecuencias (FDM, *Frequency Division Multiplexation*).

Aunque sea el mismo cable físico, el usuario percibe dos líneas completamente independientes. La conexión a Internet es permanente, sin necesidad de realizar llamada cuando el usuario tenga que conectarse. Las operadoras de ADSL actualmente cobran una cuota mensual fija independiente de la utilización que hagamos del mismo (tarifa plana). La otra opción sería facturar por tráfico transferido como hacen en la actualidad algunas operadoras de cable.

La “A” de ADSL significa asimétrico. En este caso, la velocidad de bajada es mayor que la de subida debido a que la práctica totalidad de las aplicaciones se caracterizan por un elevado flujo hacia el usuario. ADSL ha sido pensado para ofrecer servicios a clientes (navegación y descarga de archivos sobre todo). Al ser el ancho de banda de subida menor, hay que pensar seriamente si a la organización le conviene este tipo de conexión para utilizarla con servidores que transfieran datos hacia la red. Para ciertos casos, será más conveniente dotar a cierta parte de la infraestructura con una tecnología simétrica, donde no existan diferencias entre las velocidades de subida y de bajada.

Las velocidades típicas de los distintos contratos ADSL son expresadas en Kbps: 1.024/300, 2.048/300, 4.096/512, 6.144/512 y 8.192/1.024 (la primera es de bajada y la segunda, de subida). Estas velocidades superan notablemente los ya lejanos tiempos que ofrecían 56 kbps, obtenidos por un módem conectado a la red telefónica básica (RTB).

La velocidad máxima conseguida con la norma ADSL G.992.1 es 8/1 Mbps. Sin embargo, la ITU ha desarrollado nuevas recomendaciones que superan esta velocidad: **ADSL2** (G.992.3) hasta 12/2 Mbps y **ADSL2+** (G.992.5) hasta 24/2 Mbps.



La evolución del ADSL ha ocasionado variantes que utilizan más ancho de banda y esquemas de codificación más eficientes para lograr mayores velocidades. Habitualmente se logra reduciendo la distancia a la que se puede proporcionar el servicio. La tecnología que, actualmente, proporciona mayor velocidad es VDSL (*Very high bit-rate DSL*). Puede alcanzar hasta 52 Mbps en enlace descendente y 16 Mbps en el ascendente (o 26 Mbps en ascendente y descendente en su versión simétrica). Necesita utilizar cuatro bandas de frecuencia diferentes.

En el caso de utilizar ADSL con cancelación de eco (mediante la técnica DMT, sería posible utilizar todo el espectro asignado al servicio de datos en ambos sentidos. Así, no sería necesario separar los canales ascendentes y descendentes. Aumentaría el coste al ser necesaria una mayor complejidad en los módems necesarios.

Para proporcionar el acceso a varios usuarios, el proveedor del servicio utiliza multiplexores de acceso de línea digital de abonado (*DSLAM, Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). Se trata de equipos que cuenta con múltiples módems, cada uno de ellos proporcionando servicio a un abonado. Los DSLAM se basaban hasta hace poco en la tecnología ATM, pero actualmente utilizan MPLS y Gigabit Ethernet.

La instalación de ADSL en el domicilio del cliente es una tarea que apenas requiere infraestructura por parte de la compañía (se conserva el mismo cableado del teléfono). Al contrario que la conexión a Internet por cable que requiere la instalación de cableado nuevo de fibra óptica hasta los portales de los edificios y, desde cada portal, cables hasta los domicilios particulares, normalmente coaxiales. Sin embargo, el ADSL no funciona igual en todos los domicilios: tiene como requisito que el cable telefónico sea de buena calidad y no exceda el máximo de distancia permitido (unos 5,5 kms para alcanzar velocidades de 2 Mbps) entre el domicilio y la centralita ADSL. En zonas rurales con cableado antiguo y centralitas telefónicas lejanas puede no ser posible instalar ADSL.

C) Tecnología de Banda Ancha sobre líneas eléctricas

La tecnología BPL (*Broadband over Power Lines*) es una alternativa basada en cables de cobre y que utiliza los cables de suministro eléctrico como soporte (*PLC, Power Line Communications*). Es necesaria la existencia de un módem conectado a cualquier toma de energía eléctrica para que la comunicación se efectúe.

Utiliza medios guiados, como la banda ancha basada en cable coaxial o como cualquiera de las tecnologías DSL con el de cobre, lo que le permitiría casi una ubicuidad absoluta debido a la amplia infraestructura eléctrica desplegada a nivel mundial. Además, podría contarse con la facilidad de conexión de todo tipo de dispositivos electrónicos a la red, por ejemplo televisores o electrodomésticos.

Los módems PLC transmiten en las gamas de media y alta frecuencia y lo hacen de forma asimétrica, proporcionando entre 256 kbit/s y 2,7 Mbit/s. En los repetidores y en las estaciones de control de red estas velocidades aumentan y pueden facilitar entre 45 Mbit/s hasta los 134 Mbit/s.



La tecnología BPL no ha conseguido lograr un despliegue comercial masivo por lo que su uso se restringe al ámbito doméstico.

2.1.3. Redes de conmutación de paquetes

En esta técnica el mensaje no se transmite secuencialmente como una unidad, sino en partes denominadas paquetes. Estos se retransmiten nodo a nodo hasta llegar al destino. Esta técnica presenta dos variantes:

- Datagrama, no precisa de una conexión previa origen-destino.
- Circuitos virtuales, sí se establece una conexión previa a la transmisión.

Las principales tecnologías que utilizan este tipo de conmutación son: X.25, Frame Relay y ATM.

A) X.25

X.25 es un estándar desarrollado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), entonces llamada CCITT, en los años 70.

La comunicación se establece entre un equipo terminal de datos (*DTE, Data Terminal Equipment*) y un equipo de terminación de circuito de datos (*DCE o DCTE Data Circuit Terminating Equipment*). X.25 define la interfaz DTE-DCE para el acceso a redes públicas de conmutación de paquetes. Un ejemplo de red que utiliza X.25 es la conocida red Iberpac de Telefónica.

X.25 es un protocolo de conmutación de paquetes por circuitos virtuales (CVC y CVP) ofreciendo un servicio orientado a conexión, es decir, realiza un establecimiento de circuito, realiza la transferencia de datos y libera el canal. Además es fiable, es decir, no duplica, no pierde ni desordena los paquetes.

X.25 se ubica en los tres primeros niveles del modelo OSI:

- (3) Nivel de paquete.
- (2) Nivel de enlace. Utiliza LAPB, que es un subproducto del protocolo HDLC.
- (1) Nivel físico. Utiliza el estándar digital X.21 o el estándar analógico X.21 bis para acceso a redes telefónicas conmutadas, enlaces punto a punto.

Dentro de un mismo enlace físico DTE-DCE se pueden establecer hasta 4095 canales lógicos (circuitos virtuales). Esto es posible mediante una técnica realizada en la capa 3 conocida como multiplexación full-dúplex. El usuario tiene la sensación de que el enlace físico es exclusivo para él aunque, en realidad, está siendo compartido por otros usuarios. Los distintos circuitos virtuales que están funcionando dentro de un mismo enlace físico se identifican mediante un número



de canal lógico (LCN).

X.25 incorpora control de flujo y errores en las capas 2 y 3. Para el control de errores se usa ARQ adelante-atrás-N: si un nodo recibe una confirmación negativa de un paquete, se volverá a enviar ese paquete y los siguientes.

X.25 incluye dos **facilidades** para recuperar errores graves:

- **Reinicio.** Permite reiniciar un circuito virtual. Se ponen a cero sus números de secuencia.
- **Rearranque.** Se reinician todos los circuitos virtuales.

Las velocidades habituales son lentas: entre 1.2kbps y 64kbps. Además, el retardo (tiempo desde que se envía un paquete hasta que se recibe) es elevado. Estos inconvenientes son consecuencia de la elevada sobrecarga de procesamiento que se produce en los nodos intermedios, pero a cambio se logra como ventaja una gran fiabilidad.

X.25 es apropiado para:

- Construir una red WAN que interconecte sucursales u organizaciones. Cada una puede tener su propia LAN. La ventaja de X.25 es que soporta un número elevado de conexiones simultáneas entre pares de equipos de las oficinas conectadas.
- Transmisión de pocas cantidades de información aunque con conexiones de larga duración. No es apropiado para aplicaciones en tiempo real o la difusión de audio o vídeo.

Para interconectar redes públicas X.25 se utiliza el estándar X.75.

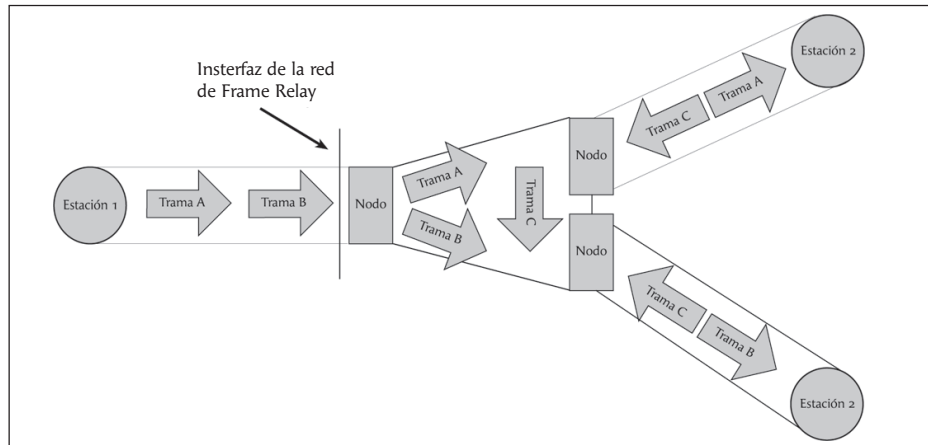
En la actualidad esta tecnología se encuentra en desuso, prácticamente su utilidad es académica.

B) Frame Relay

Según hemos visto en el apartado anterior, X.25 es un protocolo complejo que incluye control de flujo y corrección de errores. Debido a que es un protocolo antiguo fue pensado para líneas de baja calidad donde podía perderse o dañarse información.

Frame Relay (retransmisión de tramas) es justamente lo contrario. Es un protocolo muy sencillo que solo se preocupa de enviar tramas (de hasta 1.600 bytes) de un extremo a otro. Presupone, por tanto, que las líneas son de buena calidad. Y por este motivo no incluye control de flujo ni de errores, aunque se podría implementar en las capas superiores. La sencillez del protocolo es la causa de que Frame Relay sea más eficiente que X.25 en líneas de buena calidad.





La señalización de control se realiza por una conexión lógica distinta a los datos (al contrario que en X.25). Tanto en X.25 como en Frame Relay se preserva el orden de envío de las tramas.

La transmisión, a nivel físico, consiste en una línea punto a punto desde la ubicación del usuario hasta el primer nodo de la red de transmisión de datos y después la información pasa por los nodos de la operadora hasta el tramo final, del último nodo a la ubicación del usuario final.

La capa 3 del modelo OSI no está definida en Frame Relay. Las especificaciones de Frame Relay se ubican en la capa 2. Esta capa utiliza el protocolo LAPF e incluye una detección simple de errores (no corrección): si se encuentra un error, se descarta la trama.

Se puede considerar Frame Relay como una línea virtual alquilada. El ancho de banda que no usamos nosotros, lo pueden usar otros usuarios, al contrario que en una línea real. Frame Relay utiliza multiplexación estadística. Este tipo de multiplexación permite que se pueda compartir ancho de banda entre distintos usuarios de forma dinámica, es decir, no es necesaria una reserva previa de ancho de banda sino que se asigna en el momento en que se necesita.

Frame Relay puede alcanzar velocidades de hasta 45 Mbps. No está especialmente indicado para tráfico multimedia en tiempo real. No ofrece garantías sobre el retardo. Lo más importante en Frame Relay es la disponibilidad (un caudal garantizado).

Campos de las tramas y comprobación de estado

Los circuitos virtuales se identifican en Frame Relay mediante un número **DLCI** (*Data Link Connection Identifier*). Los DLCI tienen significado local, es decir, cada origen puede utilizar un número DLCI diferente para identificar un mismo destino. Los DLCI en las tramas ocupan 10 bits, por lo que podrían distinguir



hasta 1024 circuitos virtuales. Se utiliza el DLCI=0 para señalización que se realiza por canal común (SS7).

Las tramas además tienen otros campos destacables:

- **FECN** (*Forward Explicit Congestion Notification*, notificación de congestión explícita en el sentido de la transmisión).
- **BECN** (*Backward Explicit Congestion Notification*, notificación de congestión explícita en el sentido contrario a la transmisión).
- **DE** (*Discard Eligibility, elegido para descarte*). Las tramas que tienen este bit a 1 pueden ser descartadas en caso de congestión en la red. Se activa en aquellas que exceden del CIR contratado.

Los bits BECN y FECN se utilizan para avisar que hay congestión al origen y destino de la transmisión, respectivamente. Las capas superiores pueden responder a estas notificaciones disminuyendo la tasa de información enviada. Si no lo hacen, la red descartará las tramas con el bit DE activado.

Frame Relay utiliza el estándar **LMI** (*Local Management Interface*, interfaz de gestión local) para comprobar el estado de la red, mediante el intercambio de mensajes entre el lado del usuario (DTE, equipo del cliente) y el lado del operador (DCE, switch del nodo de acceso). Cada 10 segundos se comprueba que el enlace no esté caído (mensajes LIV de verificación de la integridad del enlace) y cada minuto se informa sobre los circuitos virtuales que están activos (mensajes FS, full status).

Conceptos y Contratación

CIR (*Committed Information Rate*, tasa de información comprometida) es la velocidad mínima garantizada acordada con el operador. Se puede expresar en bits por segundo o como un porcentaje sobre el límite físico de la línea (su velocidad máxima).

El CIR se puede configurar de forma independiente para cada circuito virtual y para cada sentido.

Por ejemplo, podemos contratar una línea Frame Relay de 2 Mbps con un CIR de 512 kbps (25% garantizado). Esto asegura que en las peores condiciones de la red, tendremos garantizados 512 kilobits por segundo. En condiciones óptimas podremos llegar hasta los 2 Mbps, que es el límite físico de la línea. Cuanto mayor sea el CIR que solicitemos, el coste de la línea aumentará sustancialmente (un CIR del 100% tiene un coste muy elevado).

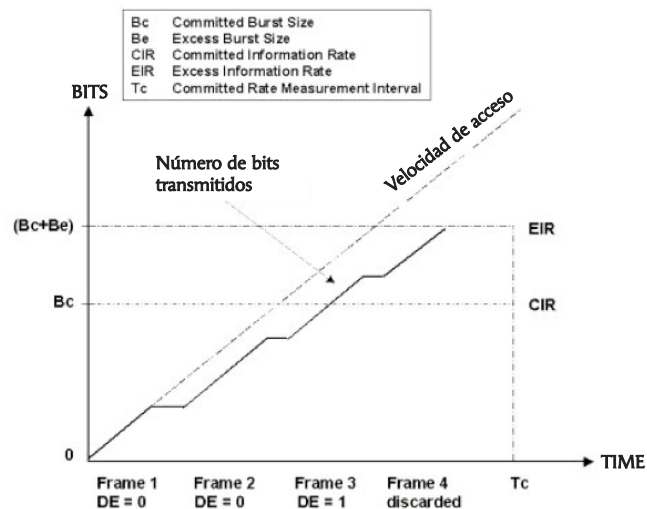
Obsérvese que el CIR es una salvaguarda para evitar que la velocidad de la red decaiga por debajo de lo aceptable. La velocidad habitual de la red estará comprendida entre el CIR y el límite físico de la línea.

- **Velocidad nominal (Vn)**: máxima velocidad que puedo conseguir entre todos los circuitos virtuales de la línea sometida a la capacidad física del medio de transmisión.



- **Volumen de información comprometida (Bc):** bits que la red se compromete a transmitir durante un intervalo de tiempo definido (T_c). ($B_c = CIR * T_c$).
- **Tasa de información restante (EIR):** ($EIR = V_n - (CIR)$). El valor de EIR es común para todos los circuitos virtuales, pudiendo ser utilizado por cualquiera de ellos.
- **Volumen de información en exceso (Be):** cantidad máxima de bits que pueden exceder B_c durante el intervalo T_c . La distribución de estos datos (Be) no está garantizada. Aquellos datos que superen $B_c + Be$ se descartan incondicionalmente.

En la figura se observa como la primera y segunda trama se envían correctamente pues están dentro del CIR, la tercera es susceptible de descarte en caso de congestión, de ahí que una vez ha superado el CIR, se le ponga el bit DE = 1 y la trama cuarta se descarte directamente pues supera además del CIR, el EIR. Este algoritmo descrito se denomina “leaky bucket”.



C) ATM

Para unificar los distintos servicios y redes se creó una nueva red con gran ancho de banda conocida como RDSI-BA (Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha). La tecnología que hace posible RDSI-BA es ATM (modo de transferencia asíncrono). La idea es transmitir toda la información en pequeños paquetes de tamaño fijo llamados celdas (*cells*, células).

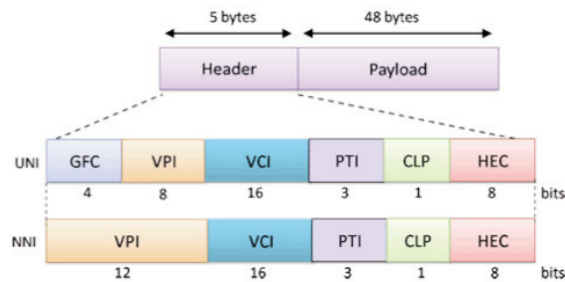
Formato Trama ATM.

Cada celda tiene un tamaño de 53 bytes y se divide en:

- Cabecera (5 bytes).
- Datos (48 bytes).



Campos de la cabecera:



- GFC: Generic Flow Control. No usado.
- VPI: Virtual Path Identifier. Hasta 256 caminos distintos para el interfaz de usuario (UNI-User Network Interface) o 4096 para el interfaz entre switches ATM (NNI-Network Network Interface).
- VCI: Virtual Channel Identifier. Hasta 65536 canales distintos.
- PTI: Payload Type Identifier. 3 bits. Tipo de carga.
- CLP: Cell Loss Priority. 1 bit.
- HEC: Es un CRC de toda la cabecera. 8 bits.

Protocolos ATM-Capas

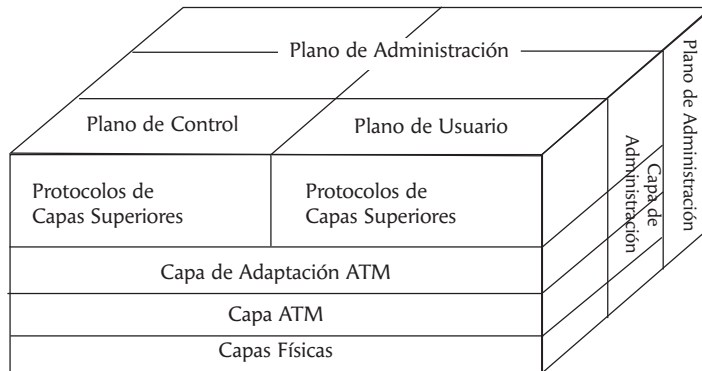
La tecnología ATM diferencia las siguientes capas:

- **Capa de adaptación ATM.** Fragmenta y reensambla la información en celdas. Según el tipo de servicio y la calidad del mismo existen varias capas de adaptación a ATM, que son: AAL1, AAL2, AAL3/4 y AAL5.
- **Capa ATM.** Envía celdas individuales. Establece y libera circuitos virtuales (se corresponde con las capas 2 y 3 de OSI). Controla la congestión.
- **Capa física.** ATM es independiente del medio de transmisión, aunque la tecnología más usada es **SONET/SDH** (*Synchronous Optical NETWORK/Synchronous Digital Hierarchy*, red óptica síncrona/jerarquía digital síncrona), que define un sistema de transmisión a altas velocidades a través de fibra óptica.

En las celdas ATM se utilizan los campos **VPI/VCI** para identificar el circuito virtual utilizado. VPI (*Virtual Path Identifier*, identificador de camino virtual) es un campo de 1 byte mientras que VCI (*Virtual Channel Identifier*, identificador de canal virtual) es de 2 bytes. Un posible VPI/VCI es 3/95.



Arquitectura ATM:



Nodos de la red ATM

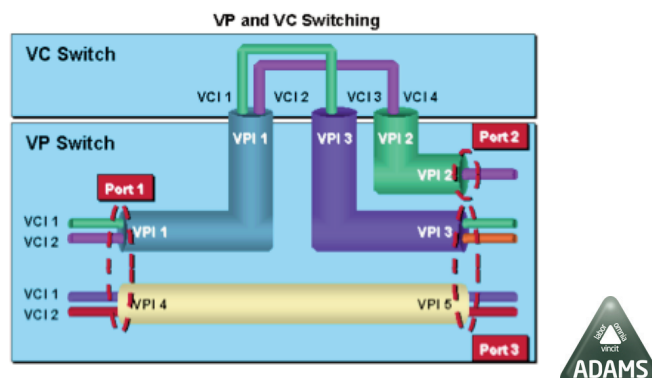
Los nodos de la red ATM son conmutadores que no realizan ninguna función de control de errores. Conmutan las células o celdas ATM a nivel físico/hardware de ahí su rapidez de conmutación. El periodo de conmutación depende de las características técnicas del conmutador y va a determinar la velocidad de la red.

No hay garantía de entrega, ya que no hay confirmaciones de las células enviadas a través de la red ATM.

ATM es un servicio orientado a conexión, lo que garantiza una entrega ordenada de células en base a la tupla formada por el VCI/VPI, es decir, la relación de circuito virtual o *Virtual Channel* (VC) / camino virtual o *Virtual Path* (VP) con identificadores VCI / VPI locales a cada conmutador, siendo esta tupla la que cambia salto a salto de conmutador según la información de encaminamiento del conmutador.

Cada canal virtual lleva el flujo de información de una comunicación. Un conmutador de canales virtuales se denomina VC-Switch.

Un camino virtual agrupa a varios canales virtuales. Un conmutador de caminos virtuales se denomina VP-Switch o Crossconnect (transconectores).



Niveles de Servicio

En ATM se pueden garantizar distintos niveles de servicio según la información a transmitir:

- **Flujo de bits constante (CBR).** Se fija el ancho de banda (ejemplo: par de cobre telefónico).
- **Flujo de bits variable (VBR).** Se optimiza el retardo pero pueden perderse datos (ejemplo: videoconferencia).
- **Flujo de bits disponibles (ABR).** Se garantiza cierto ancho de banda, pero no los picos (ejemplo: conexión de sucursales).
- **Flujo de bits no especificado (UBR).** No garantiza nada (ejemplo: Internet).

ATM es apropiado para difusión de audio y vídeo en tiempo real. Las velocidades habituales son:

- 155 Mbps (suficiente para soportar televisión de alta definición).
- 622 Mbps (4 canales de 155 Mbps).

2.1.4. Redes de conmutación basadas en etiquetas

La técnica de conmutación basada en etiquetas (en inglés *MultiProtocol Label Switching*, *MPLS*) surge para aumentar la velocidad de transferencia de la información. Está sustituyendo a esquemas como ATM y Frame Relay pues presenta un mejor rendimiento así como una mayor flexibilidad y fiabilidad para la transmisión de datos de alta velocidad.

MPLS asigna una etiqueta a cada paquete. De esta forma, las retransmisiones no necesitan inspeccionar el paquete completamente, únicamente la etiqueta asociada, ganando velocidad. Así, se crean circuitos extremo a extremo para grupos de paquetes en lugar de paquetes individuales a través de cualquier red, de forma independiente a la tecnología utilizada (por ejemplo Frame Relay, ATM, T1/E1, etcétera).

2.2. Redes de difusión

Este tipo de redes plantea problemas de escalabilidad, pues resulta muy complicada la existencia de un alto número de equipos o una extensión geográfica amplia. Una gran extensión geográfica podría plantear problemas de retardos así como una necesidad de gestión de las potencias de emisión y recepción. Estas redes necesitan que se establezcan enlaces punto a punto para conectar un número relativamente alto de equipos, que se permitan conexiones simultáneas y que cubran mayores distancias. Estas mejoras incrementan el coste de la infraestructura.

Otra de las situaciones relevantes es conocer quién tiene derecho a utilizar el canal en un momento dado. La existencia de un único medio provoca



que se compita por él. Se utilizan diversos protocolos para solucionar esta situación de contienda por acceso al medio.

Existen los siguientes tipos de redes de difusión:

- Redes de difusión inalámbricas.
- Redes de difusión por satélite.
- Redes de área local.

2.2.1. Redes de difusión inalámbricas

La comunicación por radio es el sistema utilizado por las redes inalámbricas. En ellas se aúnan las ventajas de transmisión ofrecidas por las redes de conmutación con las propias de la ausencia de instalación de líneas físicas de conexión entre los dispositivos.

Las redes inalámbricas comenzaron con la tecnología *radio packet*, impulsada por los radioaficionados y que se introdujo en varias universidades estadounidenses y en algunos países en vías de desarrollo por su bajo coste y alta flexibilidad. Su evolución se tradujo en la aparición de las Wireless LAN (WLAN). Es habitual encontrar dos configuraciones básicas:

- **Centralizada**, precisa dos canales de radio para la transmisión y un nodo central para transferir la información de una canal a otro. Los paquetes radiados por el nodo central son recibidos por todos los nodos individuales. Se trata, por tanto, de un sistema multipunto con una estación primaria y varias secundarias.
- **Distribuida**, únicamente precisa de un canal de radio que se utiliza para las transmisiones y es recibido por todos los nodos. Es muy similar al concepto de una red de área local.

Es preciso apuntar que este tipo de redes se basa en compartir el medio de transmisión, en este caso los canales de radio. Para ello se necesita establecer un procedimiento que regule qué nodo será encargado de transmitir. A este procedimiento se le denomina protocolo de acceso. Los más conocidos son:

- ALOHA.
- ALOHA ranurado.
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access).
- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

2.2.2. Redes de difusión por satélite

Las comunicaciones por satélite utilizan ondas electromagnéticas transmitidas gracias a la presencia de satélites ubicados en órbita alrededor de la



Tierra. El sistema de conexión es conocido como *LMDS* (Local Multipoint Distribution System) y utiliza una comunicación inalámbrica de punto a multipunto.

Los enlaces por satélite presentan las siguientes características:

- Un satélite geoestacionario puede ser accedido desde la cuarta parte de la superficie terrestre.
- Los costos de transmisión son casi independientes de la distancia.
- Es posible realizar enlaces punto a punto y de difusión.
- Se puede disponer de un ancho de banda considerable.
- La calidad del enlace es superior a la de los terrestres.
- El retardo de propagación tierra-satélite-tierra es aproximadamente de unos 250 milisegundos.

El típico satélite divide su ancho de banda en partes denominadas transpondedores. Es posible encontrar satélites con 12 o 24 de ellos funcionando a 36 MHz cada uno de ellos. Es muy habitual que los diseños de los satélites prevean la reutilización de frecuencia y a diferentes polarizaciones.

Las estaciones terrestres se clasifican en función de su capacidad de servicio:

- **Maestras**, se utilizan para servicios de comunicación públicos, sobre todo para comunicaciones internacionales. Para ello se necesitan antenas de más de 9 m de diámetro y amplificadores de más de 400 vatios de potencia.
- **De mediana capacidad**, se utilizan para organizaciones y redes privadas. El tamaño de la antena oscila entre los 4 y los 9 metros.
- **De pequeño diámetro**, también conocidas como *VSAT* (*Very Small Aperture Terminal*). Suelen prestar servicios de voz y datos para pocos usuarios. Cuentan con uno o dos canales de voz comprimida y hasta cuatro canales de datos de baja capacidad. Existen tres modalidades:
 - **Difusión** (punto a multipunto), una estación central transmite a todas las estaciones pequeñas.
 - **Punto a punto**, se transmiten los datos tanto unidireccional como bidireccionalmente entre dos estaciones remotas sin la intervención de una estación central.
 - **Sistemas interactivos bidireccionales**, proveen datos de forma bidireccional a *VSAT* inteligentes que se comunican entre ellos mediante una estación central.

En los satélites son muy importantes los métodos de acceso empleados para conectar estaciones terrestres con los propios satélites. Es común que



varias estaciones terrestres compartan los transpondedores del satélite así como su característica de radiodifusión o *broadcast*. Existen tres métodos fundamentales de acceso:

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), se aplica tanto a los sistemas analógicos como a los digitales.
- TDMA (*Time Division Multiple Access*).
- CDMA (*Code Division Multiple Access*).

2.2.3. Redes de área local (LAN)

Están compuestas por nodos terminales (hosts) conectados a un medio común que posibilita la transmisión de la información entre dichos nodos. Generalmente, son de alcance reducido y permiten altas velocidades de transmisión, siempre superiores a los 10 Mbps.

3. Comunicaciones móviles

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT define el servicio de comunicaciones móviles como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones fijas, o entre estaciones móviles únicamente. El estándar más utilizado es el Telecomunicaciones sin hilos mejoradas digitalmente (en inglés, *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*, DECT), que se utiliza para comunicaciones inalámbricas digitales, tanto en el ámbito doméstico como profesional, así como para transferencias inalámbricas de datos.

Las redes celulares se han convertido en la alternativa al despliegue de cables para el acceso a redes. Una red celular es una red inalámbrica distribuida que se organiza en unidades denominadas células o celdas, siendo gestionada cada una de ellas por una estación base. Esta proporcionará cobertura a las estaciones móviles en el ámbito geográfico de su alcance radio. Esto posibilita la comunicación entre usuarios o dispositivos independientemente de su ubicación en cada momento dado. La idea fundamental detrás de los sistemas móviles celulares es la reutilización de frecuencias mediante la división del terreno en celdas continuas. La reutilización de frecuencias no es posible en células contiguas, ya que se producirían interferencias, pero sí entre otras alejadas entre sí. De esta forma, se emplea el concepto de clúster para designar un conjunto de células adyacentes de manera que, entre todas, agrupan la práctica totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular.

Cuando el móvil cambia de celda, y para mantener la conexión, se hace necesario que su enlace con la red se reestablezca a través de una nueva estación base, dependiente de la misma central de conmutación. En caso de que cambiara de central de conmutación nos encontraríamos ante el concepto de Itinerancia (en inglés *Roaming*).

Es habitual que la comunicación entre las estaciones base se realice mediante una red de distribución, que suele ser de tipología cableada.



Inicialmente, este sistema recibió en España el nombre de Telefonía Móvil Automática y permitió a sus abonados móviles establecer comunicación de voz y datos con otros móviles o con abonados a las redes fijas.

En la actualidad suelen considerarse las siguientes redes celulares para proporcionar acceso tanto a usuarios finales como a redes: GSM, UMTS y WiMAX.

3.1. Evolución de las comunicaciones móviles. Generaciones

La evolución de las comunicaciones móviles puede verse reflejada en un histórico de sus generaciones:

3.1.1. 1G. Telefonía móvil analógica

La primera generación de sistemas de telefonía móvil la constituye la telefonía móvil analógica. En líneas generales, esta generación se caracteriza por utilización de señales analógicas para la transmisión de voz, mediante el empleo de modulación en frecuencia (FM) con reducida eficiencia espectral.

Los diversos sistemas definidos no son interoperables entre sí, por lo que es imposible la comunicación entre países.

Los principales estándares englobados en esta generación son:

- AMPS: primer sistema celular, americano (desplegado por primera vez en Chicago en 1983). Trabajaba en la banda de 800 MHz.
- NMT-450: europeo, sobre la banda de 450 MHz.
- NMT-900: Evolución del anterior sobre la banda de 900 MHz, con una mayor capacidad.
- TACS: versión europea del sistema AMPS en la banda de 900MHz.

3.1.2. 2G. Telefonía móvil digital

En la segunda generación se salta a la transmisión de señales digitales, tanto para la transmisión de voz como de datos, aunque estos a bastante baja velocidad (9,6 kbps).

Los estándares europeos pertenecientes a esta generación son el sistema GSM y el DCS-1800. En América se define también el PCS-1900.

GSM (*Global System for Mobile*) es un estándar de telefonía móvil inicialmente diseñado para las comunicaciones de voz. Sin embargo, su naturaleza digital permite el transporte de datos hacia y desde una estación base de manera análoga a la utilizada para el envío de señales de voz digitalizada.



Para la comunicación radio entre las estaciones base y las móviles es preciso utilizar técnicas de multiplexación *FDM* y *TDM*. Debido a la necesidad de transmisión entre estaciones fijas y móviles es preciso dividir el espectro en dos bandas de frecuencia. Esta técnica se denomina duplexación por división en frecuencias (en inglés *Frequency Division Duplex, FDD*).

De esta forma, se cuenta con un servicio de transporte de datos basado en conmutación de circuitos, con el mismo procedimiento de envío que las comunicaciones de voz y que utiliza los protocolos *CSD (Circuit Switched Data)* y *HSCSD (High-Speed Circuit Switched Data)* para permitir el envío y recepción de datos a 9,6 kbps y 57,6 kbps respectivamente.

GSM trabaja en la banda de los 900 MHz a una velocidad de datos 9,6 kbps para servicios WAP y conexión a Internet. Utiliza conmutación de circuitos de modo que cuando a un abonado se le asigna un canal de tráfico, este queda reservado en modo dedicado. Permite la transmisión de datos pero no de forma simultánea a una transmisión de voz. Introdujo la mensajería instantánea SMS (*Short Message Service*). Los identificadores son:

- **IMEI:** (“International Mobile Station Equipment Identity”) que es un número único para comprobar la validez del terminal y que no se repite en ningún otro terminal.
- **IMSI:** (“International Mobile Subscriber Identity”) identificativo único de cada abonado móvil integrado en la tarjeta SIM. Hasta 15 dígitos.
- **SIM:** (“Subscriber Identity Module”): Tarjeta.

Para proporcionar a los usuarios de las redes 2G aplicaciones reales de transmisión de datos, y en concreto el acceso a Internet, se desarrolló el protocolo WAP (*Wireless Application Protocol*) que es un protocolo de comunicaciones que permite acceder a Internet desde cualquier dispositivo inalámbrico. WAP se puede implantar en teléfonos móviles, PDAs (Asistentes Digitales Personales), portátiles, tabletas y en cualquier otro dispositivo que acceda a Internet sin conexión física. Cuenta con las siguientes capas:

- **Capa de aplicación** (*WAE, Wireless Application Environment*) es un entorno de aplicación de propósito general diseñado para permitir el desarrollo de aplicaciones sin estar ligados al dispositivo en el que se ejecuten (móvil, PDA, etcétera). Este entorno incluye un micro navegador que interpreta WML y WMLScript.
- **Capa de sesión** (*WSP, Wireless Session Protocol*) proporciona a la capa de aplicación una interfaz con dos servicios de sesión: un servicio orientado a conexión y otro no orientado a conexión, adaptados a aplicaciones basadas en la navegación Web.
- **Capa de transacciones** (*WTP, Wireless Transacción Protocol*) proporciona seguridad usuario-a-usuario opcional para confirmar cada mensaje que llega, así como la confirmación de múltiples datagramas para reducir el número de mensajes enviados. Equivale a HTTP en la arquitectura web.



- **Capa de seguridad** (WTLS, *Wireless Transport Layer Security*) es un protocolo basado en el estándar TLS, y ha sido especialmente diseñado para los protocolos de transporte de WAP y optimizado para ser utilizado en canales de comunicación de banda estrecha.
- **Capa de transporte** (WDP, *Wireless Datagram Protocol*) proporciona un servicio fiable a los protocolos de las capas superiores de WAP y permite la comunicación de forma transparente sobre los protocolos portadores soportados por los distintos tipos de redes inalámbricas. Debido a que este protocolo proporciona una interfaz común a los protocolos de las capas superiores, las de seguridad, sesión y aplicación pueden trabajar independientemente de la red inalámbrica que dé soporte al sistema. Equivale a TCP en la arquitectura web.

Para el diseño de contenidos orientados a dispositivos móviles, WAP ofrece el lenguaje de diseño de contenidos WML (*Wireless Markup Language*), basado en el estándar XML (*Extensible Markup Language*). La estructura de un archivo WML gira en torno a elementos denominados fichas (cards), que el usuario es capaz de visualizar en la pantalla de su terminal WAP.

Para aumentar la velocidad de transmisión de datos sobre GSM se desarrolló el servicio GPRS (*General Packet Radio Service*), basado en conmutación de paquetes.

3.1.3. 2.5G. Telefonía móvil multimedia (banda estrecha)

La generación 2.5 ofrecía la prestación de servicios de datos a velocidades más elevadas que las ofrecidas por GSM.

Se comenzó a ofertar mediante el estándar HSCSD, aunque el estándar principal de la generación es, sin duda, GPRS. También se incluye en esta generación el estándar EDGE, evolución de GPRS.

El estándar GPRS abandona la conmutación de circuitos para la transmisión de datos y se pasa a una red de conmutación de paquetes. En este tipo de técnica no se establece un canal dedicado para cada usuario, sino que la conexión se realiza en el momento de utilización del canal. Por lo tanto, se pierde el concepto de facturación por tiempo, pasando a ser por utilización del canal de emisión.

Al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP, ya que usa la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de Internet.

Es una tecnología que permite reaprovechar el interfaz aire de la red GSM, sin necesidad de invertir en nuevas antenas. Utiliza los canales TDM que no están siendo utilizados por el servicio de voz y proporciona un mejor servicio en el que la velocidad depende del número de usuarios que accedan de forma concurrente al canal. Además, la voz y los datos se multiplexan, permitiendo su recepción y envío de manera simultánea. La velocidad de conexión puede llegar a los 115 kbps, 12 veces más que la permitida por la red GSM (9,6 kbps).



Por su parte, el estándar EDGE, realiza una serie de modificaciones para evolucionar el anterior estándar de modo que alcance una velocidad de 384 Kbps.

3.1.4. 3G. Telefonía móvil multimedia (banda ancha)

La tercera generación en la telefonía móvil está marcada por el estándar internacional de la ITU denominado IMT-2000 (Internacional Mobile Telecommunication in the year 2000). En Europa el estándar desarrollado a partir de dichas especificaciones es UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

UMTS proporciona una mayor velocidad de acceso que sus predecesores. En su momento fue la respuesta a la gran demanda que comenzaba a observarse en cuanto a consumo de información, imágenes, vídeos y aplicaciones, al tiempo que les proporcionará acceso a los nuevos servicios basados en la información. Utiliza la banda de los 2GHz con una multiplexación WCDMA.

Su principal característica es el uso del esquema de acceso de espectro expandido (CDMA) en combinación con las técnicas FDD o TDD (*Time Division Duplex*, Técnica de duplexación temporal). En ésta se ranura el tiempo, de modo que pueden utilizarse parte de las ranuras para la transmisión en un sentido y el resto para la transmisión en el otro. Por tanto, en el sistema UMTS FDD, conocido como CDMA de banda ancha, WCDMA (*Wideband CDMA*), las estaciones acuden al canal en base a un código expansor y un par de frecuencias portadoras, una que transmite y otra que recibe. En el otro caso, el acceso múltiple en el sistema UMTS TDD se consigue mediante la asignación de un código expansor distinto para cada estación y dos ranuras temporales, una para transmitir y la otra para recibir.

La tasa de transmisión digital proporcionada por UMTS varía en función de la velocidad a la que se desplace el abonado y del tipo de celda en que se encuentre ubicado:

- Macrocelas: como mínimo 144 kbps con desplazamientos a gran velocidad (de hasta 500 km/h).
- Microcelas: tasas de 384 kbps, en espacios abiertos no urbanos, a una velocidad máxima de 120 km/h.
- Picoceladas: puede llegar hasta los 7.2 Mbps a velocidades inferiores a los 10 km/h.

3.1.5. 3.5G. Enlace descendente de alta velocidad

En la actualidad, la demanda de ancho de banda es cada día más elevada. Para dar respuesta a esta necesidad surge la tecnología HSDPA (*High Speed Download Packet Access*), incluida dentro de las especificaciones de UMTS, y que puede elevar la capacidad del enlace descendente hasta los 14,4 Mbps a través de un nuevo canal descendente cuyo uso puede ser compartido entre varios usuarios.



3.1.6. 3.75G. Incremento de la velocidad de la banda ancha

Dentro de esta generación se encuentra el estándar HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), especificado en la versión 6 de la 3GPP, y que consiste en una optimización de UMTS para proporcionar velocidades de hasta 5,76 Mbps en un enlace ascendente dedicado.

Más allá, se encuentra la propuesta HSOPA (*High Speed OFDM Packet Access*), también conocida como LTE, Long Term Evolution.

En esta propuesta se define un nuevo interfaz aire basado en la aplicación de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y antenas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) para conseguir hasta 42 Mbps en el enlace descendente.

3.1.7. 3.9G UTRAN LTE. Universal Terrestrial Radio Access Network Long Term Evolution

La generación 3.9G la conforma la especificación del 3GPP conocida como UTRAN LTE (*Universal Terrestrial Radio Access Network–Long Term Evolution*) o también Super 3G. Con este sistema se pretende conseguir una cobertura a nivel mundial mediante la modificación de las redes 3G actuales para permitir picos de transmisión de hasta 100 Mbps de bajada y 50 Mbps de subida.

3.1.8. 4G. LTE-Long Term Evolution

La principal diferencia con las generaciones predecesoras será la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

3.1.9. WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es una tecnología de red celular diseñada para proporcionar acceso a distancias hasta los 50 km. Se define tanto en el estándar IEEE 802.16 como en HyperMAN. Es la evolución de la tecnología LMDS, incorporando soporte para movilidad. Precisa de estaciones con enlaces punto-multipunto. Existen dos versiones:

- WiMAX fijo, recogido en el estándar 802.16-2004. Opera con velocidades de hasta 75 Mbps con un alcance de 10 km.
- WiMAX móvil, recogido en el estándar 802.16e. Alcanza velocidades de hasta 30 Mbps y un alcance de 3,5 km. Permite el desplazamiento del usuario de forma parecida a la existente en las modalidades GSM y UMTS. Está llamada a convertirse en la alternativa a



los operadores de telecomunicaciones que han apostado por desarrollar servicios de movilidad. Algunos dispositivos, como equipos portátiles y teléfonos móviles ya cuentan con esta conectividad.

4. Redes inalámbricas

Desde hace tiempo las redes inalámbricas forman parte de la infraestructura de todo tipo de organización, sobre todo de aquellas que responden al modelo SOHO (*Small Office, Home Office*). Habitualmente son utilizadas como un complemento de las redes cableadas. Suelen presentar las siguientes características:

- Permite la interconexión de edificios de forma sencilla.
- Posibilitan la movilidad, tanto de dispositivos como de usuarios.
- Pueden establecerse para responder a necesidades puntuales (por ejemplo la celebración de un curso de formación, de unas jornadas, un congreso, etcétera).

Las redes inalámbricas más utilizadas son las definidas en el estándar IEEE 802.11. Existen diversas variantes y podrían clasificarse de la siguiente forma:

- **Redes personales inalámbricas (WPAN)**, recogidas en el estándar IEEE 802.15.4.
- **Redes locales inalámbricas (WLAN, conocidas como Wi-Fi)**, recogidas en el estándar IEEE 802.11.
- **Redes metropolitanas inalámbricas (WMAN)**, recogidas en el estándar IEEE 802.16.
- **Redes de área extensa inalámbricas (WWAN)**. Se diferencian de las WLAN en la utilización de tecnologías de redes celulares de comunicaciones móviles. Aquí se pueden incluir los enlaces vía satélite, así como el conjunto de tecnologías de la red móvil: GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LMDS, WiMAX, etcétera.

4.1. Tecnologías inalámbricas Wireless PAN (WPAN)

4.1.1. BLUETOOTH

Es una tecnología creada en 1994 por la empresa Ericsson que utiliza enlaces de radio para reemplazar a los cables que conectan dispositivos electrónicos de sobremesa o portátiles. Posteriormente, ha sido desarrollado por la agrupación de más de 200 empresas y organizaciones del sector, así como estandarizado por el IEEE en la norma **802.15**.

Los dispositivos que soportan Bluetooth son en general de tamaño reducido, bajo consumo y corto alcance. Lo que antes se conectaba a través de la interfaz cableada USB (cámaras de fotos, teléfonos móviles, teclados, ratones, impresoras, mandos de consolas de videojuegos, enlaces inalámbricos entre siste-



mas de audio y los altavoces, etc.) es posible conectarlo mediante Bluetooth. Parte del éxito de esta tecnología reside en su ubicuidad, bajo consumo y bajo coste.

Las conexiones entre dispositivos se realizan en base a un emparejamiento, que opera en el modo maestro/esclavo. Cada dispositivo maestro puede conectarse con otros siete (esclavos) y formar una red denominada piconet. Es posible intercambiar los roles de maestro y esclavo en un emparejamiento si así lo acuerdan los dispositivos. Además, es posible la conexión entre varias piconets, formando las redes scatternet. En este caso existirán nodos que actúen como maestro en una piconet y esclavos en otra.

Los dispositivos esclavos intercambian los datos, obligatoriamente, con un maestro. Este seleccionará el dispositivo con quien intercambiar los datos en cada momento en base a un procedimiento rotatorio.

Con Bluetooth es muy importante el uso de perfiles pues en cada uno de ellos se definen tanto las aplicaciones como el uso específico de los dispositivos. Se incluyen los parámetros y ajustes precisos para realizar un control de la comunicación. Es una manera eficiente de simplificar el proceso de conexión y se reduce el intercambio de datos durante la fase de emparejamiento. Así, los perfiles permiten distinguir el tipo de dispositivo Bluetooth. Existen más de treinta perfiles pero los más habituales son:

A2DP (*Advanced Audio Distribution Profile*), se utiliza para transmitir audio en tiempo real, por ejemplo en los dispositivos manos libres.

- BPP (*Basic Printing Profile*), permite servicios de impresión básicos.
- OBEX (*Object EXchange*), permite el intercambio de archivos binarios.
- SPP (*Serial Port Profile*), permite emular un puerto serie de tipo RS-232.
- FTP (*File Transfer Profile*), permite transferir archivos.
- DUN (*Dial-Up Networking*), permite la conexión a Internet sobre *Sequence Packet Protocol*, SPP).
- HID (*Human Interface Device*), permite la utilización de dispositivos de interfaz de usuario, como ratones, teclados, mandos de consola, etc.
- PBA (*Phone Book Access*), permite intercambiar elementos de una agenda telefónica.

El procedimiento habitual para establecer una conexión mediante el uso de Bluetooth es:

- Solicitud, consiste en buscar puntos de acceso en las proximidades.
- Paginación, permite la sincronización de los dispositivos con el punto de acceso más próximo.
- Establecimiento del enlace, conecta el dispositivo con el punto de acceso.



- Descubrimiento de los servicios que ofrece el punto de acceso.
- Creación del canal con el punto de acceso.
- Autenticación para proporcionar seguridad en la comunicación.
- Establecimiento del enlace para la comunicación.
- Emisión y/o recepción de datos de protocolo de red sobre el enlace.

• Versiones de Bluetooth

Utiliza la **banda de 2,4 GHz**, la misma que las redes Wi-Fi 802.11b y 802.11g. Para reducir interferencias incorpora un sistema de saltos de frecuencias dentro de la banda, conocido como **FHSS** (*Frequency-hopping Spread Spectrum*, espectro disperso de salto de frecuencia).

La especificación inicial de Bluetooth contemplaba una velocidad de 1 Mbps, aunque estos límites han sido excedidos por los fabricantes en sucesivas versiones.

- Bluetooth v1.0 y v1.0b. (1999)
 - Solo conectaba 1 dispositivo simultáneamente.
 - Velocidad de 721 kbps.
- Bluetooth v1.1 (2002)
 - Ratificado como estándar IEEE 802.15.1-2002.
 - Se corrigen errores de las versiones anteriores.
 - Conecta hasta 7 dispositivos simultáneamente en topología en estrella (1 maestro-7 esclavos), conocido también como piconet.
 - Velocidad de 721 kbps.
 - Introdujo el control de flujo.
- Bluetooth v1.2 (2003)
 - Introdujo mejoras en el emparejamiento, en el control de flujo y en la retransmisión.
 - Velocidad de 721 kbps.
- Bluetooth v2.0 + EDR (2004)
 - Introdujo el sistema EDR (*Enhanced Data Rate*), que permitiría aumentar la velocidad teórica hasta 3 Mbps.
 - Velocidad real de 2,1 Mbps.



- Bluetooth v2.1 + EDR (2007)
 - Mejora la seguridad en el emparejamiento mediante la tecnología Secure Simple Pairing.
 - Velocidad de 2,1 Mbps.
- Bluetooth v3.0 + HS (2009)
 - La conexión Bluetooth nativa se utiliza para la negociación y el establecimiento del canal de conexión mientras que el tráfico de datos de alta velocidad se realiza mediante un enlace 802.11. Estos dispositivos se identifican con HS (High Speed).
 - Velocidad de 24 Mbps.
- Bluetooth v4.0 (2010)
 - Se introduce la opción BLE (*Bluetooth Low Energy*), con mejoras orientadas al ahorro energético.
 - Se revisa la pila de protocolos
 - Velocidad de 24Mbps.

Actualmente se trabaja en las especificaciones de la versión 4.1 pero la más utilizada es aún la 2.1 con la 3.0 expandiéndose rápidamente.

En la fase de emparejamiento resulta muy cómodo que los dispositivos se conecten sin la intervención del usuario. Sin embargo, es preciso conocer que muchos de los servicios proporcionados por Bluetooth pueden exponer datos privados o permitir el acceso a datos almacenados en los propios dispositivos, de ahí que pueda solicitarse una fase de identificación y autorización. Estas han ido cambiando con el tiempo. Inicialmente bastaba con una aceptación de la conexión por parte del usuario, posteriormente se hizo necesaria la introducción de un PIN o, incluso, la de un código de emparejamiento generado en alguno de los dispositivos. En arquitecturas más seguras existe la posibilidad de contar con dispositivos externos que realicen las tareas de intercambio de la información de autenticación. Se denominan dispositivos NFC (*Near Field Communication*).

4.1.2. ZigBee

Es una tecnología de red inalámbrica desarrollada para comunicaciones seguras entre dos o más dispositivos a baja velocidad y con un bajo consumo. Su aplicación es el despliegue de redes de sensores inalámbricos. Se basa en el estándar IEEE 802.15.4.

ZigBee fue promovida por la ZigBee Alliance en 2004. En 2006 se presentó una revisión menor que fue actualizada en 2007 y que no es compatible hacia atrás en algunos aspectos concretos de red. En 2012 se definió la revisión ZigBee 2012, que es la vigente en la actualidad.



Sus principales características son:

- Permite direccionar un elevado número de dispositivos.
- Opera en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y permite la operación en la banda de los 915 MHz (en América) y en la de 868 MHz (en Europa). Puede alcanzar tasas de transferencia de 250 kbits a distancias de 10 a 100 metros en un único salto.
- Incorpora mecanismo de ahorro de energía para todos los dispositivos, así como de gestión y generación de claves de seguridad.
- Posibilita varias opciones de transmisión, incluyendo operación en modo de difusión.
- Utiliza mecanismos de descubrimiento y emparejamiento.

Se definen tres tipos de dispositivos de acuerdo a su función en la red:

- Coordinadores (*ZigBee Coordinators, ZC*), al menos ha de existir uno por red. Gestiona la operación de la red, la del encaminamiento y la incorporación de nuevos dispositivos.
- Encaminadores (*ZigBee Routers, ZR*), reenvían los hacia otros ZR o hacia los dispositivos finales que dependen de él.
- Dispositivos finales (*ZigBee End Devices, ZED*), cuentan con la posibilidad de conectarse con el nodo del que dependen. Pueden permanecer inactivos parte del tiempo, comunicándose con su nodo de forma periódica para, si procede, activar el reenvío de datos que se hubiesen almacenado.

De forma similar al Bluetooth, los dispositivos ZigBee deben enlazarse con su nodo (qué podrá ser un ZR o un ZC) para que se le asigne una dirección de red y un perfil de dispositivo.

Actualmente existen hasta once perfiles de aplicación. Algunos ejemplos son:

- *Home Automation (HA)*, orientado al control domótico.
- *Smart Energy (SE)*, gestión energética del hogar.
- *Remote Control (RC)*, control remoto avanzado.

El objetivo de ZigBee es convertirse en el estándar dominante para las aplicaciones de control remoto (mandos de control remoto, automatización en el hogar, etcétera), que no requieren altas velocidades de transmisión, pero que, por otro lado, precisan un muy bajo consumo de potencia, bajo coste y facilidad de uso.



4.2. Tecnologías inalámbricas Wireless LAN (WLAN)

La norma 802.11 del IEEE, más conocida como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), define un estándar de redes **WLAN**. Ofrece un alcance de referencia **de 100 metros** en espacios abiertos y velocidades elevadas (54 Mbps en 802.11a y 802.11g), aunque esta velocidad disminuye a medida que aumenta la distancia o los obstáculos intermedios (paredes, por ejemplo). Una instalación de red Wi-Fi (utilizando un solo punto de acceso) puede dar cobertura a toda una vivienda u oficina.

Si Ethernet (IEEE 802.3) es el estándar para redes locales cableadas, Wi-Fi (IEEE 802.11) lo es para las redes locales inalámbricas.

Wi-Fi Alliance es una asociación sin ánimo de lucro, formada por más de 300 empresas, dedicada a la adopción de un único estándar de redes WLAN aceptado a nivel mundial (IEEE 802.11) y al fomento del mismo. Se encarga de la certificación de sus productos de acuerdo a las normas del IEEE, para garantizar así la interoperabilidad de dispositivos de distintos fabricantes.

4.2.1. Normas IEEE 802.11

La siguiente tabla resume los distintos tipos de redes Wi-Fi:

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Interfaz	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM	OFDM, MIMO
Banda	5GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 o 5 GHz
Velocidad teórica	24-54 Mbps	11 Mbps	36-54 Mbps	600 Mbps
Velocidad real	24-54 Mbps	5-6 Mbps	20 Mbps	80-100 Mbps
Nº de Portadoras simultáneas / AP (Access Point)	8	3	3	2
Alcance	100 m	100 m	100 m	200 m

Es preciso considerar los siguientes aspectos:

- Dos normas 802.11 son compatibles entre sí si operan en la misma banda de frecuencias. Se transmite a la velocidad del más lento. Esto significa que dispositivos 802.11b y 802.11g pueden comunicarse entre sí (a 11 Mbps), pero no pueden comunicarse con un dispositivo 802.11a.



- Las velocidades indicadas son velocidades máximas, las cuales van disminuyendo dinámicamente al aumentar la distancia o en presencia de obstáculos o interferencias. Por ejemplo, 802.11b dispone de modos de funcionamiento a 1, 2, 5.5 y 11 Mbps.
- Los canales son divisiones de una banda de frecuencia, para permitir varias transmisiones simultáneas en la misma banda. La banda de los 2,4 GHz se divide en canales de 5 MHz cada uno (canal 1: 2,412 GHz; canal 2: 2,417 GHz; canal 3: 2,422 GHz; etc.)
- Aunque los productos 802.11b y 802.11g permitan elegir entre un número elevado de canales, solo 3 de ellos se pueden utilizar simultáneamente sin que interfieran (solapen) entre sí. Los tres canales elegidos habitualmente son: canal 1 (2.412MHz), canal 6 (2.437MHz) y canal 11 (2.462MHz), que distan entre sí de 25 MHz (5 canales de 5MHz cada uno).
- La última norma de redes WLAN es **802.11n**, que se espera que llegue a 600 Mbps. Utiliza ambas bandas (2,4 GHz y 5 GHz), por lo que es compatible con todas las normas anteriores. El alcance se ve también incrementando a 200 metros. IEEE 802.11n utiliza una tecnología conocida como **MIMO** (*Multiple Inputs Multiple Outputs*, Múltiples Entradas/Múltiples Salidas) que se basa en el uso simultáneo de varias antenas.

Otras versiones del IEEE 802.11

- IEEE 802.11e. Introduce parámetros de calidad de servicio (QoS).
- IEEE 802.11h. Mejora de la potencia transmitida y la selección de canales en 802.11a.
- IEEE 802.11i. Mejora la seguridad y autenticidad (WPA2).
- IEEE 802.11j. Permite la coexistencia del 802.11a y el estándar europeo HiperLAN2 y 802.11 en Japón.
- 802.11k permite mejorar la gestión del recurso radio.
- IEEE 802.11p Será la base de las comunicaciones dedicadas de corto alcance especialmente indicado para automóviles.
- IEEE 802.11r También se conoce como *Fast Basic Service Set Transition*, y su principal característica es permitir a la red que establezca los protocolos de seguridad que identifican a un dispositivo en el nuevo punto de acceso antes de que abandone el actual y se pase a él. Permite que la transición entre nodos se demore menos de 50 milisegundos permitiendo mantener una comunicación vía VoIP.
- IEEE 802.11v servirá para permitir la configuración remota de los dispositivos cliente.



- IEEE 802.11aa-2012:
 - Indicado para el transporte de video en streaming.
 - Divide el espectro en canales 40MHz.
- IEEE 802.11ac:
 - Trabaja en la banda de los 5GHz.
 - Divide el espectro en canales de 20, 40, 80 y opcionalmente 160MHz.
 - Velocidad de hasta 3,47Gbps.
- IEEE 802.11ad:
 - Trabaja en la banda de los 60GHz.
 - Divide el espectro en canales de 2160MHz.
 - Velocidad de hasta 6,75Gbps (6.912 Mbps).
- IEEE 802.11ae.
- IEEE 802.11af:
 - Conocida como “White-Fi” y “Super Wi-Fi”.
 - Permite conectividad WLAN en los espectros de VHF y UHF que comprenden las bandas de entre los 54 y los 790 MHz.
 - Velocidades de hasta:
 - a) 426,7Mbps para canales de 6 y 7Mhz.
 - b) 568,9Mbps para canales de 8Mhz.
- Versiones en proceso:
 - IEEE 802.11ay: Next Generation 60GHz.
 - IEEE 802.11ax: High Efficiency WLAN.
 - IEEE 802.11ak: General Link.
 - IEEE 802.11aq: Preassociation Discovery.
 - IEEE Std P802.11aj: China Millimeter Wave.
 - IEEE 802.11ai: Fast Initial Link Setup.
 - IEEE Std P802.11ah: Sub 1GHz.



4.2.2. Configuración

Cada red Wi-Fi tiene un nombre que lo identifica conocido como **SSID** (*Service Set Identifier*, identificador de conjunto de servicios). Una red Wi-Fi se puede instalar en 2 modos:

- **Modo ad-hoc o IBSS** (*Independent Basic Service Set*). No requiere un punto de acceso. Cada estación se puede comunicar directamente con otras estaciones próximas.
- **Modo infraestructura o BSS** (*Basic Service Set*). Requiere un punto de acceso. El punto de acceso es el dispositivo que regula las comunicaciones dentro de la red Wi-Fi. Todas las comunicaciones entre las estaciones pasan a través del punto de acceso, que hace de intermediario.

Las redes Wi-Fi habitualmente funcionan en el modo infraestructura, pues permiten un mayor número de opciones. Los puntos de acceso que ofrecen los fabricantes son además puentes (bridges), para poder interconectar la red Wi-Fi a una red cableada (Ethernet).

En un punto de acceso se configura el nombre de la red (SSID), el número de canal (6, por ejemplo) y las opciones de seguridad. En las estaciones hay que indicar el SSID de la red a la que queremos conectarnos y, si la red está protegida con contraseña, las opciones de seguridad.

Si un solo punto de acceso es insuficiente para dar cobertura a toda una zona, se pueden instalar varios puntos de acceso. Todos ellos se configuran con el mismo SSID pero se eligen, si es posible, canales distintos. Las estaciones se conectarán a aquel punto de acceso que ofrezca mejor señal, pudiendo cambiar esta elección de forma transparente al usuario.

4.2.3. HiperLAN/2

Es un tipo de WLAN, concretamente la implementación de ETSI equivalente a IEEE 802.11a. Opera en la banda de 5 GHz transmitiendo a 54 Mbps. Para mejorar y unificar estos dos estándares, el fabricante de tarjetas de red inalámbricas Atheros propuso un tercero, conocido como 5-UP (5GHz Unified Protocol), que alcanza velocidades hasta 108 Mbps.

4.3. Tecnologías inalámbricas Wireless MAN (WMAN)

Son redes de ámbito metropolitano que permiten una mayor cobertura y ancho de banda que las redes Wi-Fi. Para ello utilizan tecnologías basadas en WiMAX o LMDS, por ejemplo.

4.3.1. LMDS

LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*, sistema de distribución local multipunto) ha sido muy utilizado para llevar Internet a núcleos urbanos donde no es rentable, para las operadoras, la instalación de ADSL u otros sistemas cableados. Permite ofrecer servicios de banda ancha (telefonía, televisión e Internet) por microondas (utiliza frecuencias entre 26 y 31 GHz). El sistema es multi-



punto porque se establecen enlaces punto a multipunto, entre la estación base y los distintos usuarios. Estos enlaces son locales porque requieren que exista línea de visión y una distancia máxima entre 3 y 5 km.

4.3.2. HiperMAN

HiperMAN (*High Performance Radio Metropolitan Area Network*) es el estándar europeo para el acceso fijo inalámbrico a redes desarrollado por ETSI. Permite operar en la banda comprendida entre 2 GHz y 11 GHz.

La parte de las especificaciones IEEE 802.16 que trabajan en dicha banda y ETSI HiperMAN comparten las mismas capas física (PHY) y de acceso al medio (MAC). El estándar 802.16 se diseñó desde un primer momento para ser compatible e interoperable con el estándar europeo.

4.3.3. WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) se clasifica dentro de las tecnologías conocidas como “de última milla” o bucle local de abonado. Es una red celular que permite la recepción de datos por microondas y la retransmisión utilizando ondas de radio. Esto permite que proporcione servicios de banda ancha a zonas donde los despliegues de cable resultarían muy costosos por su baja población.

Es la evolución de LMDS, proporciona acceso a distancias hasta los 50 km e incorpora soporte para movilidad. Se define en el estándar IEEE 802.16 e HyperMAN. El organismo que certifica el cumplimiento del estándar es el WiMAX Forum.

Su operación se basa en el uso de estaciones base con enlaces punto-multipunto. En función de la movilidad de las estaciones finales existen dos versiones:

- WiMAX fijo, recogido en el estándar 802.16-2004. Opera en la banda de 2-11 GHz (3,5 GHz en Europa) con velocidades de hasta 75 Mbps con un alcance de 10 km.
- WiMAX móvil, recogido en el estándar 802.16e. En este caso opera en la banda de 2-6 GHz, alcanzando velocidades de hasta 30 Mbps y un alcance de 3,5 km.

4.3.4. Redes inalámbricas móviles (MBWA)

La *Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)* es la especificación del estándar IEEE 802.20 para redes inalámbricas de banda ancha basadas en servicios IP móviles. Pretende ser una especificación de los sistemas móviles de 4ª generación. Tiene como misión la de desarrollar la especificación de la capa física (PHY) y la capa MAC de una interfaz aérea basada en conmutación de paquetes y optimizada para el transporte IP que opere en las bandas de trabajo licenciadas por debajo de 3,5 GHz, que trabaje con velocidades de pico por encima de 1 Mbps, que soporte movilidad en movimiento por encima de los 250 km/h y que cubra tamaños de celda que permitan coberturas continuas de áreas metropolitanas.



