

longitud fija igual a  $B$  bits. Para el control de flujo se utiliza un protocolo de ventana deslizante adelante atrás  $N$ . Obtenga la expresión que da el tamaño del campo de numeración de secuencia mínimo necesario en función de  $R$ ,  $T$ ,  $B$  y  $L$  (considerando utilización máxima). Suponga que las tramas de confirmación tienen un tamaño despreciable, que no existen errores y que el procesamiento en los nodos es instantáneo.

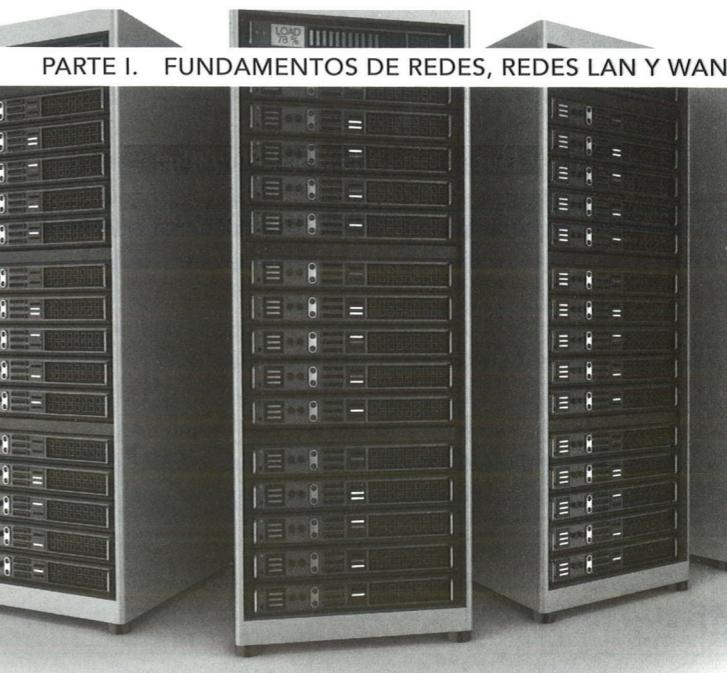
23. Se pretende diseñar un protocolo de nivel de enlace que implemente un servicio fiable de intercambio de tramas, con las siguientes especificaciones:
- Capacidad para operar en una red de difusión con hasta 60 equipos simultáneos.
  - Longitud máxima de la red de difusión: 10 km.
  - Cada nodo puede enviar datos a cualquier otro de forma asíncrona, es decir, espontáneamente y sin necesidad de esperar una pregunta de otro nodo.
  - Velocidad de transmisión: 5 Mbps.
  - Tamaño máximo de trama: 300 bytes.
  - Esquema de control de flujo: *repetición selectiva*.
  - En ausencia de errores se debe alcanzar una eficiencia ( $U$ ) del 100% en la transmisión.
  - El control de errores se realiza usando un código CRC obtenido con el siguiente polinomio generador:  $x^6 + x^3 + x + 1$ .

Responda a las siguientes cuestiones:

- Proponga un formato de trama que incluya todas las funcionalidades precisas para un nivel de enlace genérico con las características anteriormente precisadas. Para ello, especifique los campos que deben componer la trama, su uso y significado, y el tamaño en bits de cada uno de ellos.
- Indique si deben contemplarse varios tipos de tramas en este protocolo. En caso afirmativo, comente cuáles, su uso y cómo se distinguirían unas de otras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Duck, M.: *Data Communications and Computer Networks*, Prentice-Hall, 2003, 2.<sup>a</sup> edición.  
 Haykin, S.: *Communication Systems*. John Wiley & Sons, 2009, 5.<sup>a</sup> edición.  
 León-García, A.; Widjaja, I.: *Redes de Comunicación. Conceptos Fundamentales y Arquitecturas Básicas*. McGraw-Hill, 2001.  
 Proakis, J., Salehi, M.: *Digital Communications*. McGraw-Hill, 2008, 5.<sup>a</sup> edición.  
 Stallings, W.: *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Prentice-Hall, 2004. 7.<sup>a</sup> edición.  
 Sklar, B.: *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Pearson, 2013.  
 Shay, W.: *Understanding Data Communications and Networks*, Thomson, 2004, 3.<sup>a</sup> edición.  
 Tanenbaum, A. D.: *Computer Networks*. Prentice-Hall, 2011. 5.<sup>a</sup> edición.



PARTE I. FUNDAMENTOS DE REDES, REDES LAN Y WAN

CAPÍTULO

5

- 5.1. Introducción  
 5.2. Redes de área local  
 5.3. Redes PAN  
 5.4. Redes de acceso

# REDES DE ÁREA LOCAL Y DE ACCESO

## 5.1. Introducción

Una vez estudiadas las capas física y de enlace estamos en disposición de analizar aquellas redes en las que no son imprescindibles las funcionalidades de la capa de red y superiores para la comunicación entre los equipos que la componen. Este es el caso de las redes LAN, donde no existen nodos intermedios para establecer rutas origen-destino. Por tanto, están compuestas únicamente por nodos terminales (Figura 1.4 y Capítulo 6).

Por otra parte, este tipo de redes constituye el elemento básico sobre el que se construyen redes complejas en base a su interconexión con otras redes, aspecto que será abordado en capítulos posteriores.

En este contexto resultan de interés las denominadas redes SOHO («Small Office-Home Office»), ampliamente utilizadas en el ámbito residencial y de pequeñas empresas y compuestas por una red LAN, o un número reducido de ellas, a la que se proporciona acceso a Internet a través de una conexión de acceso. Dada su relevancia, y antes de proceder al estudio del nivel de red según el análisis en capas propuesto al comienzo de este texto, a lo largo de este capítulo estudiaremos los estándares LAN y las tecnologías más difundidas para la conexión de estas a Internet a fin de proporcionar la interconectividad global de sistemas y usuarios.

Abordaremos este estudio considerando primero las redes de área local, su arquitectura y los aspectos generales relativos a la capa física y la subcapa de control del enlace. A partir de estos se presentarán las dos tecnologías de redes LAN más utilizadas en la actualidad: Ethernet, para redes cableadas,

y WiFi, para redes inalámbricas. En ambos casos adoptaremos una aproximación de complejidad creciente, estudiando en primer lugar sus versiones básicas y, posteriormente, sus versiones avanzadas con mejores prestaciones.

Entre las redes que no necesitan nodos de interconexión también se pueden incluir las redes PAN, caracterizadas, según se estableció en el Capítulo 1, por su reducido alcance, lo que las hace especialmente útiles para la interconexión de los equipos personales del usuario como teléfonos móviles, dispositivos manos libres, altavoces, etc. Así, tras las redes LAN estudiaremos las tecnologías más habituales de redes PAN: Bluetooth, USB y ZigBee.

Seguidamente consideraremos las tecnologías que permiten la conexión de equipos personales de usuario o de redes LAN a Internet, tanto a través de enlaces cableados como inalámbricos. De entre todas ellas, estudiaremos las que mayor penetración presentan en la actualidad, esto es, ADSL («Asymmetric Digital Subscriber Line») y HFC («Hybrid Fiber-Coaxial»), para el acceso cableado; y GSM («Global System for Mobile communications»), UMTS («Universal Mobile Telecommunications System») y WiMAX («World wide Interoperability for Microwave Access») para el acceso inalámbrico.

## 5.2. Redes de área local

Como hemos mencionado en la introducción, una red de área local está compuesta por nodos terminales (*hosts*) conectados a un medio común que posibilita el intercambio directo de información entre dichos nodos. Su alcance es reducido y suelen permitir altas velocidades de transmisión, superiores a los 10 Mbps.

Para el estudio de las diferentes tecnologías de redes LAN existentes consideraremos, en primer lugar, la arquitectura de red asociada, a partir de la que iremos identificando los elementos más relevantes.

### 5.2.1. Arquitectura de redes LAN

El modelo en capas más extendido por lo que se refiere a redes LAN es el establecido por IEEE dentro de sus normas 802. Como se muestra en la Figura 5.1, este modelo presenta la siguiente estructura:

1. La capa física hace referencia a los aspectos de transmisión de datos ya estudiados en el Capítulo 2.
2. La capa de enlace, como se estableció en el Capítulo 3, se divide en dos subcapas:
  - Subcapa MAC, inferior y adyacente a la capa física, cuyas funciones se refieren al acceso al medio de las estaciones y equipos que forman parte del mismo.

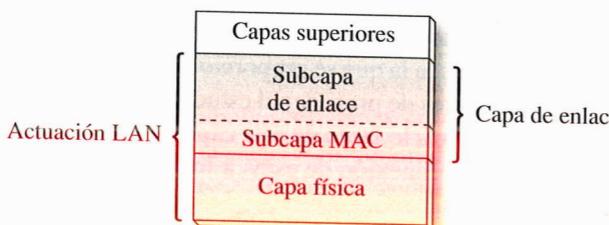


Figura 5.1. Modelo en capas IEEE 802 para redes LAN.

— Subcapa de enlace, superior, en la cual se implementa el protocolo LLC, ya presentado en el Apartado 4.6, para el control del enlace.

3. Por encima de la capa de enlace se encuentran las capas superiores de la arquitectura (TCP/IP por ejemplo). Estas capas se especifican como independientes de la tecnología subyacente, por lo que su estudio se encuentra fuera de los objetivos de este capítulo.

Aunque con características propias en la capa física, es la subcapa MAC la que diferencia básicamente los distintos estándares de redes LAN existentes, pudiéndose encontrar desde sistemas cuyo acceso al medio está basado en colisiones hasta otros basados en reserva mediante el paso de un testigo. Los estándares han sido desarrollados bajo el organismo de normalización IEEE, en concreto dentro de las normas conocidas como 802, siendo numerosas las variantes contempladas. A este respecto, algunas de las especificaciones IEEE 802 más destacables son:

- 802.1. Arquitectura general LAN y capas superiores.
- 802.2. LLC.
- 802.3. LAN Ethernet.
- 802.11. LAN inalámbricas.
- 802.14. LAN de cable, cable módem.
- 802.15. WPAN («Wireless PAN», Bluetooth 1.0, ZigBee y otros).
- 802.16. WiMAX.

Existen algunos estándares establecidos por IEEE 802 que, tras haber sido usados con cierta profusión, se encuentran actualmente obsoletos, como es el caso de 802.4 (*Token bus*) y 802.5 (*Token ring*). También existen otros que apenas llegaron a utilizarse, como 802.12, o que se encuentran actualmente en sus fases iniciales de despliegue, por lo que nos centraremos aquí en los más utilizados en la actualidad.

A continuación se comentan brevemente las diferentes posibilidades existentes para la capa física, tanto a nivel de topologías como de medios de transmisión y codificación de línea. El análisis de la subcapa MAC se realizará de forma particularizada para cada una de las tecnologías LAN consideradas.

### Capa física

Por lo que respecta al tipo de transmisión, hemos de diferenciar entre LAN cableadas e inalámbricas. En el caso de las cableadas, la mayor parte de ellas usan transmisión en banda base, aunque también existen estándares en los que se utiliza la transmisión en banda ancha. Los esquemas en banda base reciben el nombre XBASEY, aplicándose la nomenclatura XBROADY para las LAN en banda ancha. Respecto de las letras X e Y, la primera hace referencia a la velocidad de transmisión nominal expresada en Mbps, mientras que la Y está relacionada con alguna característica propia del medio de transmisión. Así, por ejemplo, 10BASE5 hace referencia a una transmisión a 10 Mbps en banda base y un máximo de 500 metros de longitud del cable; mientras que 100BASE-T corresponde a una transmisión a 100 Mbps en banda base mediante par trenzado. En las redes inalámbricas, evidentemente, se utiliza transmisión en banda ancha a frecuencias que dependen de la LAN y variante concreta.

En las redes LAN se pueden utilizar los siguientes medios de transmisión, todos ellos descritos en el Capítulo 2:

- Par trenzado, de diversas categorías, usado por ejemplo en el sistema 100BASE-T.
- Cable coaxial, usado en 10BASE5 y 10BASE2 o en las redes de cable.
- Fibra óptica, como es el caso del sistema 100BASE-FX.
- Radio, medio de transmisión característico de las LAN inalámbricas.

Aunque los estándares más utilizados permiten el uso del cable coaxial, es bastante más habitual en la actualidad utilizar par trenzado en el caso de medios cableados, quedando la utilización del cable coaxial prácticamente restringida a las redes de cable. En las redes de mayor velocidad se prefiere el uso de fibra óptica frente al par trenzado. Por otra parte, cada vez es más extendido el uso de canales de radio, esto es, de las LAN inalámbricas, dado que se evita la dependencia de un cableado físico y se posibilita la movilidad de los equipos conectados.

En cuanto al código de línea utilizado en las transmisiones en banda base podemos mencionar Manchester, en Ethernet; 4B5B/NRZI, en el sistema Ethernet de alta velocidad; o esquemas más complejos como 4D-PAM5 en Ethernet Gigabit. Por su parte, en las redes cuya transmisión es en banda ancha se utilizan las técnicas de modulación digital ya estudiadas como, por ejemplo, QPSK o QAM, junto con técnicas de multiplexación como OFDM («Orthogonal Frequency Division Multiplexing»).

Otro aspecto importante a tener en cuenta acerca de la capa física de las redes LAN es la topología, es decir, la disposición física de las estaciones en el medio y la forma de este. Cuatro son las topologías utilizadas en el caso de redes cableadas (Figura 5.2):

- **Bus.** Considerada la topología de difusión por autonomía, las estaciones se distribuyen en este caso linealmente a lo largo del medio. De esta forma, la transmisión efectuada por una estación se propagará sobre el medio en ambos sentidos y se recibirá en el resto de estaciones. Con objeto de evitar reflexiones de las señales transmitidas en los extremos del cable, este dispone de terminadores pasivos (óhmicos) cuya única misión es la de «absorber» las señales electromagnéticas para evitar la aparición de eco.
- **Árbol.** La topología en árbol consiste en varios buses con un punto común, conocido como punto raíz.
- **Anillo.** En este caso las estaciones se encuentran distribuidas a lo largo de un medio cableado cerrado sobre sí mismo, o sea, sin extremos. Como característica principal de las redes que presentan esta topología hemos de señalar el hecho de que las transmisiones efectuadas por

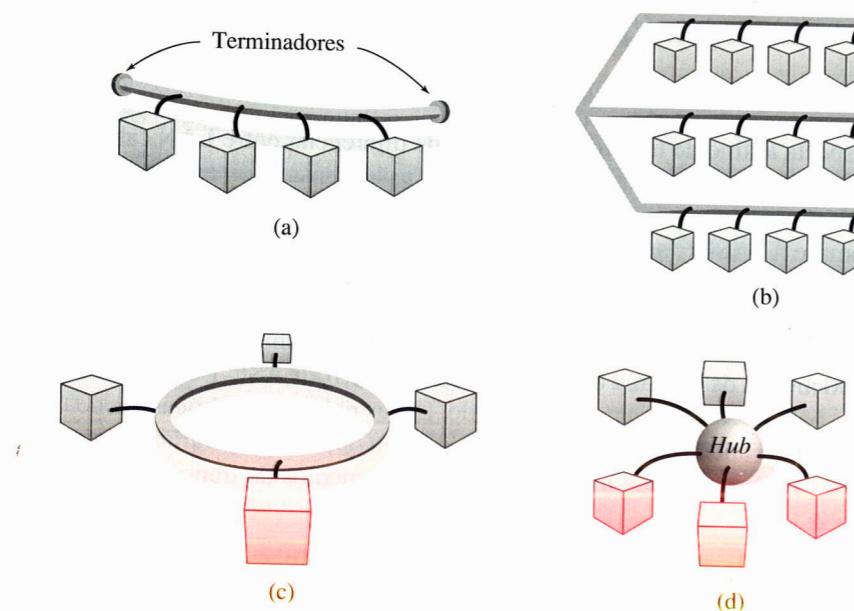


Figura 5.2. Topologías LAN: bus (a), árbol (b), anillo (c) y estrella (d).

una estación se propagan sobre el medio y son recibidas de nuevo por ella. Asimismo, se ha de indicar que el sentido de propagación de las señales en estas redes debe ser único, pues en caso contrario se producirían colisiones debido a la naturaleza cerrada del medio.

— **Estrella.** En la topología en estrella todas las estaciones se encuentran conectadas a un dispositivo central o *hub*, el cual es el encargado de realizar la retransmisión de los datos hacia el destino. En este sentido, existen dos modos de operación posibles, que utilizan *hubs* diferentes: de difusión, en el que se procede a la retransmisión de los datos recibidos por una línea sobre todas las líneas o puertos de salida; y de conmutación, en los que la retransmisión solo se efectúa sobre la línea asociada a la estación destinataria del envío. A los *hubs* utilizados en el modo de difusión se les denomina *concentradores*, siendo su funcionamiento relativamente simple y análogo al de un bus. Los utilizados en el modo de conmutación son denominados *comutadores* («switches») y, obviamente, requieren de cierta lógica y capacidad de almacenamiento. A pesar de su gran expansión hace unos años, los concentradores están siendo mayoritariamente reemplazados por comutadores debido a su rápido abaratamiento y a las mayores prestaciones que presentan.

De las cuatro topologías mencionadas, la de uso más extendido en la actualidad es la de estrella, generalmente formando una estructura jerárquica en árbol de *hubs*. Por el contrario, la topología en anillo ha quedado obsoleta para su aplicación en redes LAN.

Un último aspecto a mencionar acerca de la capa física de las redes LAN es el relativo a la interfaz de conexión de las estaciones al medio de transmisión. Dicha interfaz consiste en una tarjeta hardware conocida como *NIC* («Network Interface Card») —Figura 5.3—, que puede disponer de diversos conectores dependiendo del canal de transmisión usado. Entre las más utilizadas, por ser las correspondientes a las redes LAN más populares actualmente, se encuentran las que emplean conectores RJ-45 (Figura 5.3(c)), ya estudiados en el Apartado 2.4.3, y las inalámbricas (Figura 5.3(e)), que obviamente utilizan antenas. Aunque casi en desuso, también es posible encontrar tarjetas con conectores AUI («Attachment Unit Interface») —Figura 5.3(a)—, o BNC («Bayonet Neill Concelman»)

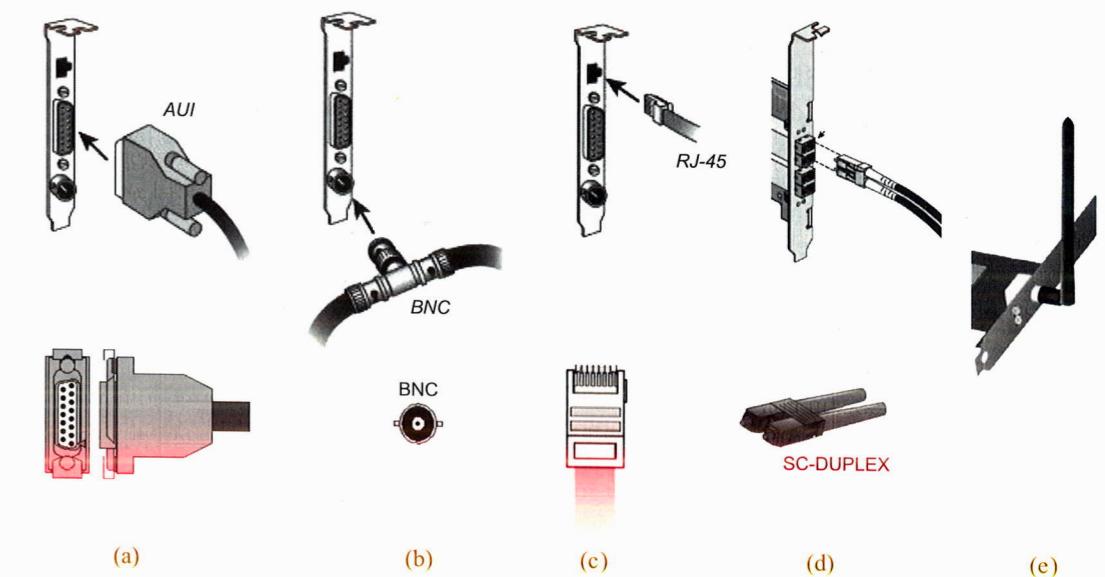


Figura 5.3. Ejemplos de NIC con diferentes conectores: AUI (a), BNC (b), RJ-45 (c), óptico de tipo SC-DUPLEX (d) e inalámbrico (e).







y enlace diferentes a las utilizadas en la red LAN, lo que implica que ya no es necesario utilizar costosos equipos y tecnologías de adaptación.

El estándar 10G Ethernet establece múltiples tipos de medios para su utilización en LAN y WAN, estando incluidos la fibra óptica, cables de cobre especiales y pares trenzados UTP de categorías 6 y 7, estos últimos a partir de la versión 802.3an, definida en 2007. En función del medio seleccionado, el alcance puede llegar a ser bastante reducido (del orden de pocas decenas de metros) o muy elevado, alcanzándose los 40 km sobre fibra monomodo. Una curiosidad de esta versión es que, a pesar de que el uso de conmutadores hacía innecesaria la utilización de CSMA/CD, no se declara oficialmente abandonado hasta esta versión.

En la actualidad, se está trabajando en la definición de versiones de la familia 802.3 capaces de operar a 40 y 100 Gbps. Existen ya algunos estándares definidos, como el 802.3ba, 802.3bg, 802.3bq, etc., que operan sobre fibra óptica e incluso sobre pares trenzados de categoría 8, aunque se encuentran aún en fase de prueba y prototipado.

### 5.3.3. Redes WLAN

Cada vez son más los usuarios y organismos que utilizan las redes LAN inalámbricas (WLAN, «Wireless LAN») en su entorno de trabajo, siendo bastante habitual su uso en las redes SOHO. Complemento importante de las redes cableadas, las LAN inalámbricas presentan las siguientes características destacables:

- Permiten de una forma fácil y cómoda la interconexión de edificios.
- Posibilitan la movilidad de las estaciones y, en definitiva, del usuario.
- Pueden constituirse ad hoc para satisfacer necesidades temporales puntuales.

En la Figura 5.8 se muestra la configuración típica de una LAN inalámbrica. En la misma, las distintas estaciones móviles (ME) se organizan en regiones de cobertura limitada denominadas *celdas*. Cada una de las celdas se gestiona por una estación base (BE) o *punto de acceso* (AP, «Access Point»), los cuales son los encargados de llevar a cabo la comunicación entre estaciones móviles localizadas en la misma o en distintas celdas. El último caso es posible gracias a la existencia de una red troncal, generalmente cableada, que interconecta las estaciones base correspondientes a cada celda y sirve de sistema de distribución.

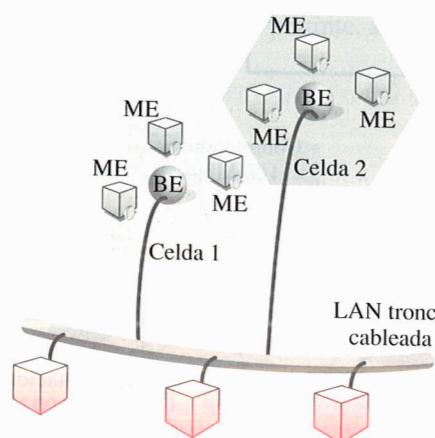


Figura 5.8. Estructura en celdas.

Las redes inalámbricas más usadas son las definidas en los estándares IEEE 802.11, existiendo diversas variantes que, al igual que en el caso de Ethernet, operan con diferentes características del medio físico, compartiendo la tecnología MAC y la estructura topológica. Antes de detallar los aspectos relativos a cada una de estas variantes consideraremos la arquitectura común definida en este estándar.

El elemento fundamental de la arquitectura 802.11 es el denominado conjunto de servicios básicos (BSS, «Basic Service Set»), correspondiente a una celda individual y compuesto por el conjunto de estaciones que compiten por el mismo medio de transmisión a nivel MAC. Puede utilizarse en dos configuraciones diferentes. En la primera, denominada independiente (iBSS), se considera una única celda en la que no existe punto de acceso (Figura 5.9(a)) y, consecuentemente, la comunicación entre los equipos se realiza de forma directa. Es pues una red *ad hoc*, ya que no depende de ninguna infraestructura preexistente, sino que son los propios equipos los que establecen las conexiones a demanda, siendo todos ellos iguales desde el punto de vista funcional.

La segunda forma de operación, bastante más habitual, es la denominada de *infraestructura*. En esta, el BSS se compone de un conjunto de ME que coordinan su acceso al medio de acuerdo al procedimiento establecido al efecto y en el que existe un AP encargado de varias operaciones relevantes, como puede ser la autorización para acceder a la red o la sincronización de los relojes de las ME. El área de cobertura geográfica de un BSS se llama *área básica de servicios* o BSA («Basic Service Area»), la cual puede corresponder típicamente a una zona con una extensión de unas decenas de metros.

En el modo de infraestructura, varios BSS pueden interconectarse a través de un *sistema de distribución* (Figura 5.9(b)) para dar lugar a lo que se conoce como *conjunto de servicios ampliado* (ESS, «Extended Service Set»). La conexión BSS-sistema de distribución se realiza a través de los AP, en concreto con una parte funcional de los mismos denominada en el estándar como *portal*.

Entre las funciones del AP se encuentran también las necesarias para posibilitar la incorporación de una estación móvil a un BSS y la posterior transmisión de datos. El proceso se inicia por parte de la ME, que debe contactar con el AP. Para ello debe descubrir previamente la BSS, para lo que debe conocer el SSID («Service Set IDentifier») y el canal en el que opera. El descubrimiento puede ser pasivo o activo. En el primer caso, el AP se encarga de difundir periódicamente tramas de sincronización anunciando su presencia («beaconing») y los datos necesarios. En el segundo, es la estación móvil la que debe enviar tramas especiales preguntando por la existencia de algún AP. Una vez identificada la BSS, la ME contacta con el AP y se procede a la autenticación, esto es, a la identificación tanto de la ME como del AP. A continuación se procederá a la asociación de la ME al AP y, consecuentemente, a la BSS, a partir de la especificación de sus respectivas capacidades. Tras este proceso, la ME puede llevar a cabo la transmisión de datos hacia otra ME en la misma o en distinta celda.

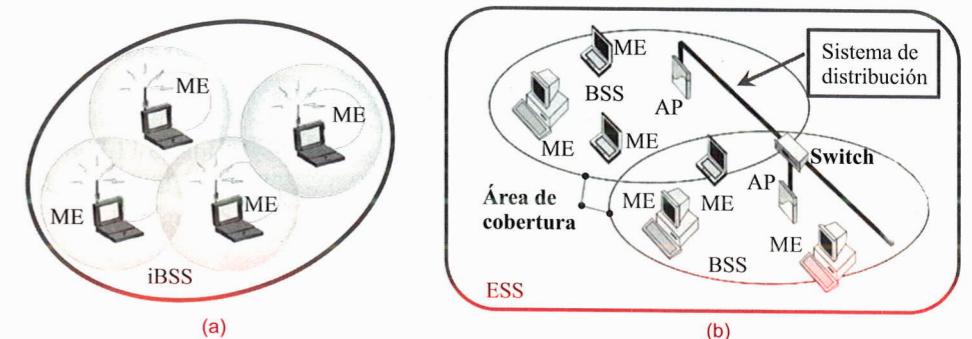


Figura 5.9. Arquitectura de red 802.11: en modo independiente (a) y de infraestructura (b).

El control de acceso al medio en 802.11 se realiza mediante el denominado MAC inalámbrico de principio distribuido (DFWMAC, «Distributed Foundation Wireless MAC») que utiliza contención junto con sondeo para posibilitar un acceso distribuido con un control central opcional. Para ello define dos protocolos (Figura 5.10): la función de coordinación distribuida (DCF, «Distributed Coordination Function») y la función de coordinación puntual (PCF, «Point Coordination Function»).

La primera de ellas, DCF, se implementa en todas las estaciones del medio y consiste en el esquema de acceso CSMA con prevención de colisión (CSMA/CA) o MACA descrito en el Apartado 3.3.4. En este, ante la observación de una trama RTS, CTS o de datos todas las estaciones deben permanecer en silencio durante un periodo de tiempo prefijado. Para ello, en 802.11 se establecen los llamados *espacios entre tramas* (IFS, «Inter Frame Space»), que pueden ser de cuatro tipos diferentes (Figura 5.11(a)), cada uno de ellos utilizados en distintas situaciones:

- Un IFS corto (SIFS, «Short IFS»), utilizado para transmisiones de alta prioridad: tramas ACK, CTS, respuesta a sondeos, etc.
- Un espacio entre tramas de duración intermedia llamado PIFS («PCF IFS»), usado para permitir la función de coordinación puntual que será detallada más adelante.
- Un IFS de mayor duración conocido como DIFS («DCF IFS»), el cual se utiliza en la función de coordinación distribuida para el envío de tramas de datos.
- Un cuarto IFS, de mayor duración que el resto, es el llamado IFS ampliado (EIFS, «Extended IFS»). Este es utilizado por una estación ante la recepción de un paquete que no comprende para así evitar colisiones con un futuro paquete correspondiente a la transmisión actual.

En la Figura 5.11(b) se muestra un diagrama de la utilización de los diversos IFS en una transmisión. Como se puede observar, las estaciones pueden sondear el canal mediante una trama RTS transcurrido un tiempo DIFS tras la finalización de la trama anterior. El destinatario debe enviar la trama CTS dentro del SIFS siguiente y el inicio de la transmisión de la trama debe también realizarse dentro

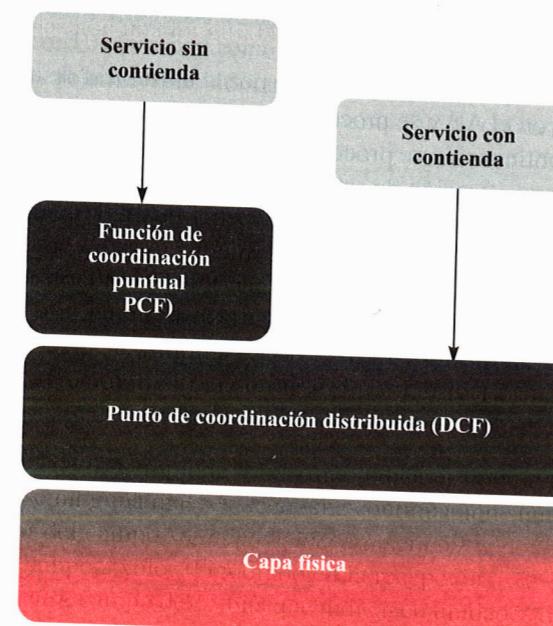


Figura 5.10. Protocolos MAC en 802.11.

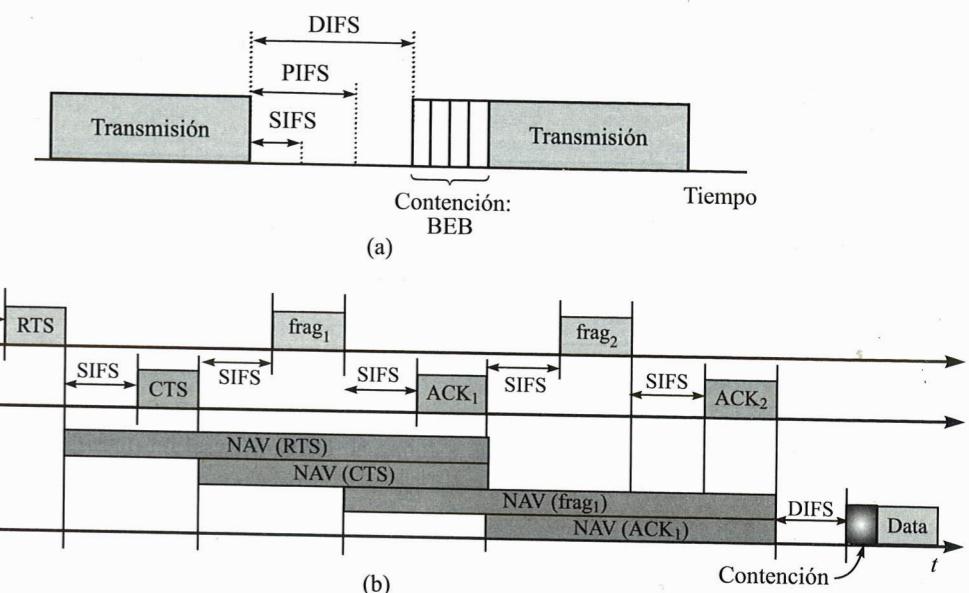


Figura 5.11. Espacios entre tramas (a) y utilización en una transmisión (b).

del SIFS siguiente. Tras finalizar la transmisión, el receptor debe confirmar la recepción correcta, usando también para ello el SIFS. En el ejemplo mostrado, el emisor envía una segunda trama usando SIFS, que es nuevamente confirmada. Tras finalizar la transmisión, una tercera estación puede iniciar un sondeo transcurrido un periodo DIFS. En el esquema mostrado se produce una colisión, por lo que generarán periodos de contención y se activará el procedimiento BEB. Pueden también observarse los periodos durante los que terceras estaciones deben permanecer en silencio ante la observación de las diversas tramas. Estos se denominan NAV («Network Allocation Vector») y su duración depende del tipo de trama que genera la no disponibilidad.

A diferencia de la función DCF, implementada en todas las estaciones, la función de coordinación puntual, PCF, se puede implementar únicamente en un AP que gestione un BSS. A través de PCF se lleva a cabo el sondeo o consulta de las distintas estaciones a fin de conocer su deseo de transmisión. En PCF, por tanto, las estaciones acceden al medio de acuerdo a una técnica de acceso planificada. Para evitar la sobrecarga del coordinador PCF se suelen alternar períodos (no prefijados) de transmisión basada en colisión DCF con intervalos de sondeo. La secuencia temporal de períodos de contención, llamados CP («Contention Period»), y de sondeo, CFP («Contention-Free Period»), recibe el nombre de *supertrama*. Para iniciar un CFP, el AP adquiere el control del canal utilizando el PIFS, esto es, antes de que cualquier estación pueda iniciar un sondeo.

Para finalizar con el análisis de la capa MAC consideraremos los formatos de trama utilizados. El sistema 802.11 establece tres tipos de trama: (a) de datos, para la transmisión de información, (b) de control, tales como RTS, CTS o ACK, y (c) de gestión. El formato general de las tramas 802.11 es el indicado en la Figura 5.12(a), cuyos campos son los siguientes:

— **Preámbulo:** a su vez se compone de dos campos:

- SYNC: 10 bytes donde se alternan bits 0 y 1 para sincronizar emisor y receptor.
- SFD («Start Frame Delimiter»): delimitador de comienzo de trama de valor 0000 1100 1011 1101.





- FTP («File Transfer Profile»), para la transferencia de archivos. Se basa en OBEX.
- DUN («Dial-Up Networking»), que proporciona un servicio de acceso a Internet sobre SPP.
- HID («Human Interface Device»), para la utilización de dispositivos de interfaz tales como ratones, joysticks y teclados.
- PBA («Phone Book Access»), que permite el intercambio de elementos de una agenda telefónica según un formato estándar.

Como se ha indicado con anterioridad, para que dos dispositivos puedan conectarse es necesario que estén emparejados. Muchos de los servicios proporcionados por Bluetooth pueden exponer datos privados o permitir el acceso a los datos almacenados en los dispositivos, por lo que se requiere la identificación y autorización de los dispositivos que pueden conectarse con uno dado. Sin embargo, resulta bastante útil que los dispositivos puedan establecer una conexión sin intervención del usuario. Para resolver este problema se define el emparejamiento de los equipos, que establece una asociación entre ellos que autoriza la conexión automática cada vez que sea requerida. El proceso de emparejamiento de dos dispositivos en Bluetooth se activa a petición del usuario o automáticamente cuando un dispositivo intenta acceder por primera vez a un servicio. Presenta algunas diferencias en función de la versión del estándar considerado, especialmente en lo que respecta a la gestión de la seguridad, requiriendo de la intervención del usuario y del uso opcional de algún tipo de clave. En las primeras versiones se requería la mera autorización del usuario mediante la aceptación de la conexión. En versiones posteriores se introdujo la utilización de un código numérico (PIN), así como el uso de un código de emparejamiento que se genera en uno de los dispositivos y, en función de las capacidades del dispositivo, debe ser introducido en el otro manualmente o simplemente mostrado y aceptado como válido. También se permite el uso de dispositivos de comunicación externos, como NFC («Near Field Communication»), para el intercambio de información de autenticación.

La arquitectura en capas de Bluetooth se muestra en la Figura 5.14. En esta se identifican las siguientes capas y funciones:

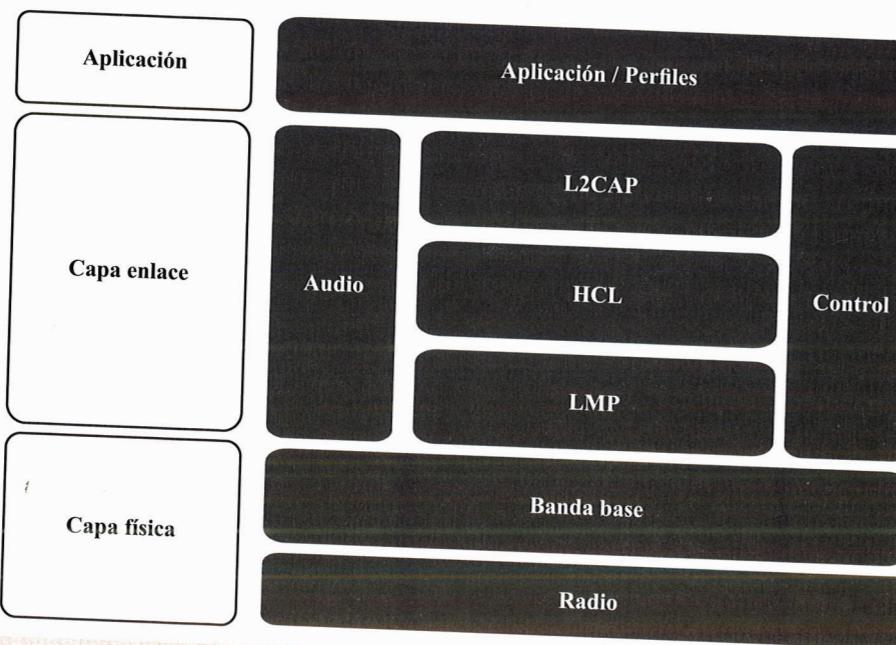


Figura 5.14. Capas de Bluetooth.

- *Radio*: encargada de la transmisión de los datos sobre el canal radio, usa el rango de frecuencias ISM 2,4 GHz. Se utiliza espectro expandido por salto de frecuencia adaptativo (AFH, «Adaptive Frequency Hoping»). La codificación de línea emplea técnicas como DPSK y DQPSK (PSK diferencial en cuadratura).
- *Banda base*: es una capa de control a través de la cual se especifican los saltos de frecuencia considerados en la capa de radio.
- *Gestión del enlace* (LMP, «Link Management Protocol»): realiza las funciones necesarias para la configuración del enlace, incluyendo las relacionadas de seguridad y de gestión de grupos de dispositivos o *piconet*.
- *Control de host* (HCL, «Host Control Layer»): esta capa actúa como interfaz entre el hardware Bluetooth y la capa L2CAP.
- *Control del enlace lógico y adaptación* (L2CAP, «Logical Link Control and Adaptation Protocol»): realiza las funciones de multiplexación, segmentación y ensamblado y gestión de calidad de servicio. También incorpora el control de flujo y del enlace para proporcionar un servicio fiable.
- *Aplicación/perfiles*: sobre las capas anteriores se pueden utilizar diversos protocolos asociados a los perfiles y/o aplicaciones existentes, como pueden ser el mencionado RFCOMM, TCP/IP, etc.

Para finalizar este apartado consideraremos el procedimiento seguido para establecer la conexión entre dos dispositivos que se encuentran emparejados, que consta de los siguientes pasos:

1. *Solicitud*, para buscar puntos de acceso en sus proximidades.
2. *Paginación*, a través del cual se permite la sincronización de los dispositivos con el punto de acceso más cercano.
3. *Establecimiento de enlace* entre el dispositivo y el punto de acceso a través de LMP.
4. *Descubrimiento de los servicios* ofrecidos por el punto de acceso.
5. Creación de canal L2CAP con el punto de acceso.
6. *Autenticación* para proporcionar seguridad en las comunicaciones.
7. Establecimiento de enlace PPP para la comunicación, posibilitándose así el control de acceso a través, por ejemplo, de palabras clave.
8. Emisión/recepción de datos de *protocolo de red* (IP, IPX, etc.) sobre el enlace.

### 5.3.2. USB

Como ya se indicó en el Apartado 2.4.2, USB surge como sustituto de las interfaces RS-232. Entre los objetivos de diseño más relevantes podemos mencionar:

- Capacidad de conexión de múltiples dispositivos.
- Conexión/desconexión de dispositivos «en caliente», esto es, sin necesidad de apagar los equipos.
- Altas velocidades de transferencia.
- Transmisión serie.

Para proporcionar las características deseadas se adoptó una solución basada en un modelo maestro/esclavo en el que se utilizan tramas para el intercambio de datos y el control de la interfaz. Aunque el estándar especifica también los conectores, el cableado y la señalización a nivel eléctrico (especificaciones mecánica y eléctrica de una interfaz, descritas en el Apartado 2.4.2) en este punto nos centraremos en las funcionalidades y arquitectura de USB.