

# Redes LAN inalámbricas

- 17.1. Visión general**
  - Aplicaciones de las redes LAN inalámbricas
  - Requisitos de las redes LAN inalámbricas
- 17.2. Tecnología LAN inalámbrica**
  - Redes LAN de infrarrojos
  - Redes LAN de espectro expandido
  - Redes LAN de microondas de banda estrecha
- 17.3. Arquitectura y servicios de IEEE 802.11**
  - Arquitectura de IEEE 802.11
  - Servicios de IEEE 802.11
- 17.4. Control de acceso al medio en IEEE 802.11**
  - Entrega fiable de datos
  - Control de acceso
  - Trama MAC
- 17.5. Capa física de IEEE 802.11**
  - Capa física original de IEEE 802.11
  - IEEE 802.11a
  - IEEE 802.11b
  - IEEE 802.11g
- 17.6. Lecturas y sitios web recomendados**
- 17.7. Términos clave y cuestiones de repaso**
  - Términos clave
  - Cuestiones de repaso



**CUESTIONES BÁSICAS**

- Las principales tecnologías usadas en redes LAN inalámbricas son los infrarrojos, el espectro expandido y las microondas de banda estrecha.
- El estándar IEEE 802.11 define un conjunto de servicios y diferentes opciones de medios de transmisión para redes LAN inalámbricas.
- Los servicios recogidos en IEEE 802.11 incluyen la gestión de las asociaciones, la entrega de datos y las cuestiones de seguridad.
- La capa física de IEEE 802.11 comprende el uso de infrarrojos y de espectro expandido y ofrece diversas velocidades de datos.



ad-hoc: para eso      red ad-hoc: de red inalámbrica descentralizada

En los últimos años las LAN inalámbricas han ocupado un importante lugar en el mercado de las redes de área local. Cada vez más, las organizaciones se han dado cuenta de que las LAN inalámbricas son un complemento indispensable a las redes cableadas a fin de satisfacer las necesidades de **movilidad, traslados, trabajo en red *ad hoc*** y cobertura de **lugares difíciles de cablear.**

Este capítulo examina las redes LAN inalámbricas, comenzando con una visión general de la motivación que ha conducido a ellas y resumiendo los distintos enfoques que se encuentran actualmente en uso. En la siguiente sección se exponen los tres tipos principales de redes LAN inalámbricas, clasificadas de acuerdo con la tecnología de transmisión que utilizan: **infrarrojos, espectro expandido y microondas de banda estrecha.**

3 Tecnologías Inalámbricas.

La especificación más notable de redes LAN inalámbricas fue desarrollada por el grupo de trabajo **IEEE 802.11.** Este estándar será tratado en los contenidos restantes del capítulo.

**17.1. VISIÓN GENERAL**

Como su propio nombre indica, una red LAN inalámbrica es aquella que hace uso de un **medio de transmisión inalámbrico.** Hasta hace relativamente poco tiempo, las redes LAN inalámbricas eran **poco usadas debido a su alto precio, la baja velocidad de transmisión, la existencia de problemas de seguridad y la necesidad de licencias.** A medida que estos **problemas se han ido solucionando, la popularidad de las LAN inalámbricas ha crecido rápidamente.**

En esta sección se examinan las aplicaciones clave de este tipo de redes, exponiéndose a continuación los requisitos necesarios y las ventajas de su uso.

**APLICACIONES DE LAS REDES LAN INALÁMBRICAS**

[PAHL95] enumera cuatro áreas de aplicación para las redes LAN inalámbricas: ampliación de redes LAN, interconexión de edificios, acceso nómada y redes *ad hoc*. A continuación se analizan todas ellas.

Tecnología Bluetooth. Protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo, pensado para WPAN. Trabajan en banda ISM 2.4. Desarrollado en 1998.  
 Tecnología UWB. ultra-wide-band, ultra-wide band, etc.; banda ultra ancha, usa un ancho de banda mayor de 500 MHz o del 25% de la frecuencia central, de acuerdo con la FCC (Federal Communications Commission). PAN  
 Tecnología 3g. Desarrollada para telefonos celulares. Permite llamadas y video llamadas. una red TD-CDMA (División de Tiempo - División de código de múltiple acceso) o una red W-CDMA (Amplia - División de código de múltiple acceso)

## Ampliación de redes LAN

Los primeros productos de LAN inalámbricas, aparecidos a finales de los años ochenta, eran ofrecidos como sustitutos de las redes LAN cableadas tradicionales. Una red LAN inalámbrica evita el coste de la instalación del cableado y facilita las tareas de traslado y otras modificaciones en la estructura de la red. Sin embargo, esta motivación de las LAN inalámbricas fue superada por los acontecimientos. En primer lugar, a medida que la necesidad de redes LAN se hizo cada vez más patente, los arquitectos incluyeron en el diseño de los nuevos edificios un extenso cableado para aplicaciones de datos. Además, con los avances en la tecnología de transmisión de datos se ha incrementado la dependencia con los pares trenzados para redes LAN, especialmente con los UTP de categoría 3 y categoría 5. Así, dado que la mayor parte de los edificios viejos estaban ya cableados con par trenzado de categoría 3, y muchos de los edificios de nueva construcción lo están con par trenzado de categoría 5, resulta escaso el uso de LAN inalámbricas como sustituto de las LAN cableadas.

comentar que esto no tiene que ver con el concepto de uso de redes WLAN para celulares, y otros dispositivos. Puede ser por el tiempo de la publicación

Sin embargo, el papel de una LAN inalámbrica como alternativa a las LAN cableadas es importante en un gran número de entornos. Algunos ejemplos son edificios que poseen una gran superficie, como plantas de fabricación, plantas comerciales y almacenes, edificios históricos con insuficiente cable de par trenzado y en los que está prohibido hacer más agujeros para introducir nuevo cableado, y pequeñas oficinas donde la instalación y el mantenimiento de una LAN cableada no resultan rentables. En todos estos casos, una LAN inalámbrica ofrece una alternativa efectiva y más atractiva. En la mayor parte de estas situaciones, una organización dispondrá también de una LAN cableada con servidores y algunas estaciones de trabajo estacionarias. Por ejemplo, una planta de manufacturación dispone, generalmente, de una oficina independiente de la propia planta, pero que debe estar interconectada con ella con el fin de proporcionar trabajo en red. Por tanto, una LAN inalámbrica está conectada en muchas ocasiones con una LAN cableada en el mismo recinto, denominándose este campo de aplicación ampliación o extensión de redes LAN.

Museos.  
Edificios Históricos.

Extensión de LAN

En la Figura 17.1 se muestra una configuración sencilla de una LAN inalámbrica típica en muchos entornos. Existe una LAN troncal cableada, como una Ethernet, que conecta varios servidores, estaciones de trabajo y uno o más puentes o dispositivos de encaminamiento para la comunicación con otras redes. Adicionalmente, existe un módulo de control (CM, *Control Module*) que funciona como interfaz con la LAN inalámbrica. El módulo de control incluye funciones propias de un puente o de un dispositivo de encaminamiento para conectar la LAN inalámbrica con la troncal. Además, se incluye algún tipo de lógica de control de acceso, como por ejemplo un esquema de sondeo o uno de paso de testigo, para regular el acceso de los sistemas finales. Hemos de destacar que algunos de los sistemas finales son dispositivos independientes, como estaciones de trabajo y servidores. Los concentradores (*hub*) u otros módulos de usuario (UM, *User Module*) que controlan varias estaciones fuera de una LAN cableada pueden también formar parte de la LAN inalámbrica.

La configuración de la Figura 17.1 se denomina LAN inalámbrica de celda única, ya que todos los sistemas finales inalámbricos se encuentran en el dominio de un único módulo de control. Otra configuración común, sugerida en la Figura 17.2, es una LAN inalámbrica de celdas múltiples. En este caso existen varios módulos de control interconectados por una LAN cableada. Cada módulo de control da servicio a varios sistemas finales inalámbricos dentro de su rango de transmisión. Por ejemplo, con una LAN de infrarrojos, la transmisión se encuentra limitada a una sola habitación, por lo que se necesita una celda en cada habitación de un edificio de oficinas que precise de soporte inalámbrico.

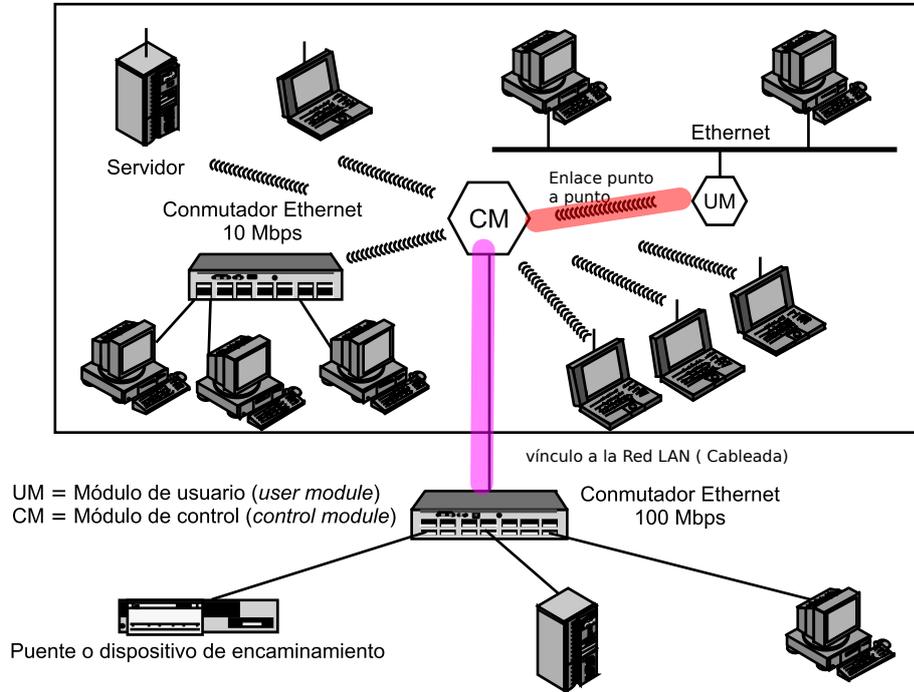


Figura 17.1. Ejemplo de configuración de una LAN inalámbrica de celda única.

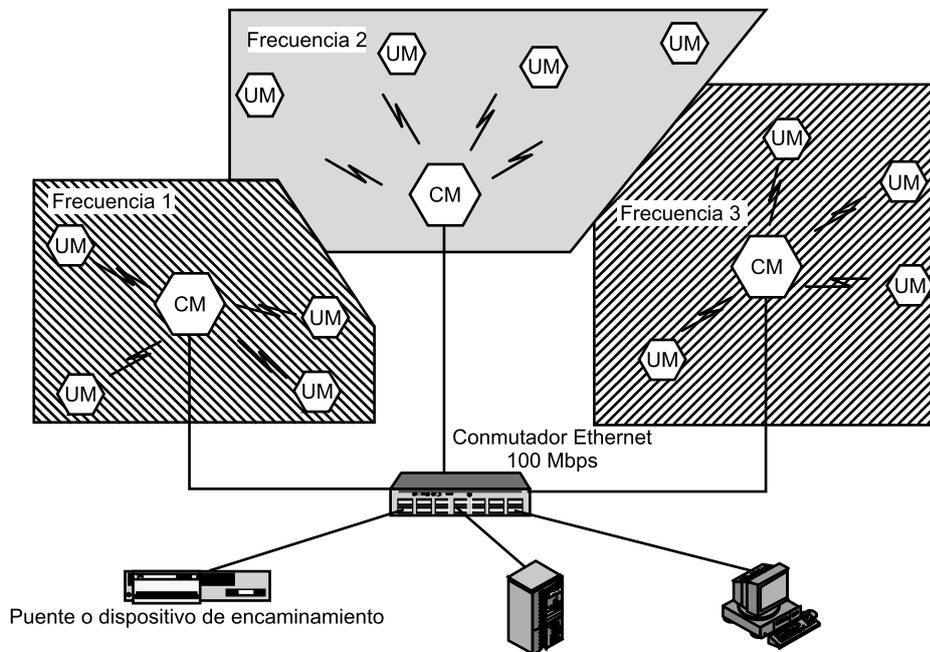
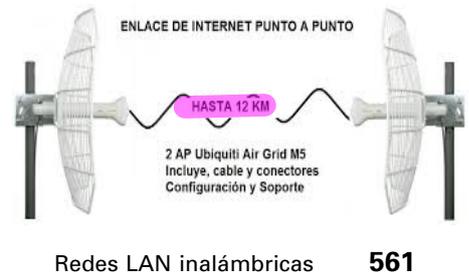
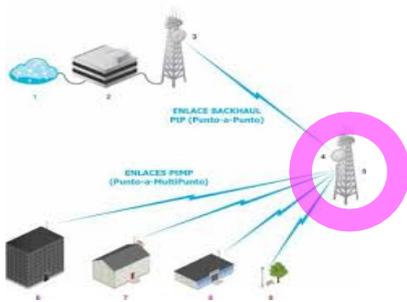


Figura 17.2. Ejemplo de configuración de una LAN inalámbrica de celdas múltiples.

Existen Varios AP, sería como lo que tenemos en la Facultad.  
 Analizar que complicaciones tiene este escenario?



Redes LAN inalámbricas **561**

### Interconexión de edificios

Otra aplicación de las LAN de tecnología inalámbrica es la conexión de redes LAN situadas en edificios vecinos, sean LAN cableadas o inalámbricas. En este caso se usa un enlace punto a punto inalámbrico entre los dos edificios. Los dispositivos así conectados son, generalmente, puentes o dispositivos de encaminamiento. Este enlace punto a punto no es en sí mismo una LAN, pero es usual la inclusión de esta aplicación en el contexto de redes LAN inalámbricas.

### Acceso nómada

El acceso nómada proporciona un enlace inalámbrico entre un concentrador de una LAN y un terminal de datos móvil equipado con una antena, como un computador portátil. Un ejemplo de la utilidad de este tipo de conexiones es posibilitar a un empleado que vuelve de un viaje la transferencia de datos desde un computador personal portátil a un servidor en la oficina. El acceso nómada resulta útil también en un entorno amplio, como un campus o un centro financiero situado lejos de un grupo de edificios. En ambos casos, los usuarios se pueden desplazar con sus computadores portátiles y pueden desear conectarse con los servidores de una LAN inalámbrica desde distintos lugares.

### Trabajo en red *ad hoc*

Una red *ad hoc* es una red entre iguales (sin servidor central) establecida temporalmente para satisfacer alguna necesidad inmediata. Por ejemplo, un grupo de empleados, cada uno con su computador, puede reunirse para una cita de negocios o para una conferencia, conectando entre sí sus computadores en una red temporal sólo durante la reunión.

En la Figura 17.3 se sugieren las diferencias entre una LAN inalámbrica *ad hoc* y una LAN inalámbrica que proporciona ampliaciones de LAN y acceso nómada. En el segundo caso, la LAN inalámbrica presenta una infraestructura estacionaria consistente en una o más celdas con un módulo de control para cada una; dentro de cada celda pueden existir varios sistemas finales estacionarios. Las estaciones nómadas se pueden desplazar de una celda a otra. Por el contrario, en una red LAN *ad hoc* no existe infraestructura; más aún, un conjunto de estaciones localizadas en el mismo dominio se pueden autoconfigurar dinámicamente para formar una red temporalmente.

### REQUISITOS DE LAS REDES LAN INALÁMBRICAS

Una LAN inalámbrica debe cumplir los mismos requisitos típicos de cualquier otra red LAN, incluyendo alta capacidad, cobertura de pequeñas distancias, conectividad total entre las estaciones pertenecientes a la red y capacidad de difusión. Además de las mencionadas, existe un conjunto de necesidades específicas para entornos de LAN inalámbricas. Entre las más importantes se encuentran las siguientes:

- **Rendimiento:** el protocolo de control de acceso al medio debería hacer un uso tan eficiente como fuera posible del medio inalámbrico para maximizar la capacidad.
- **Número de nodos:** las LAN inalámbricas pueden necesitar dar soporte a cientos de nodos mediante el uso de varias celdas.
- **Conexión a la LAN troncal:** en la mayoría de los casos es necesaria la interconexión con estaciones situadas en una LAN troncal cableada. En el caso de LAN inalámbricas con in-

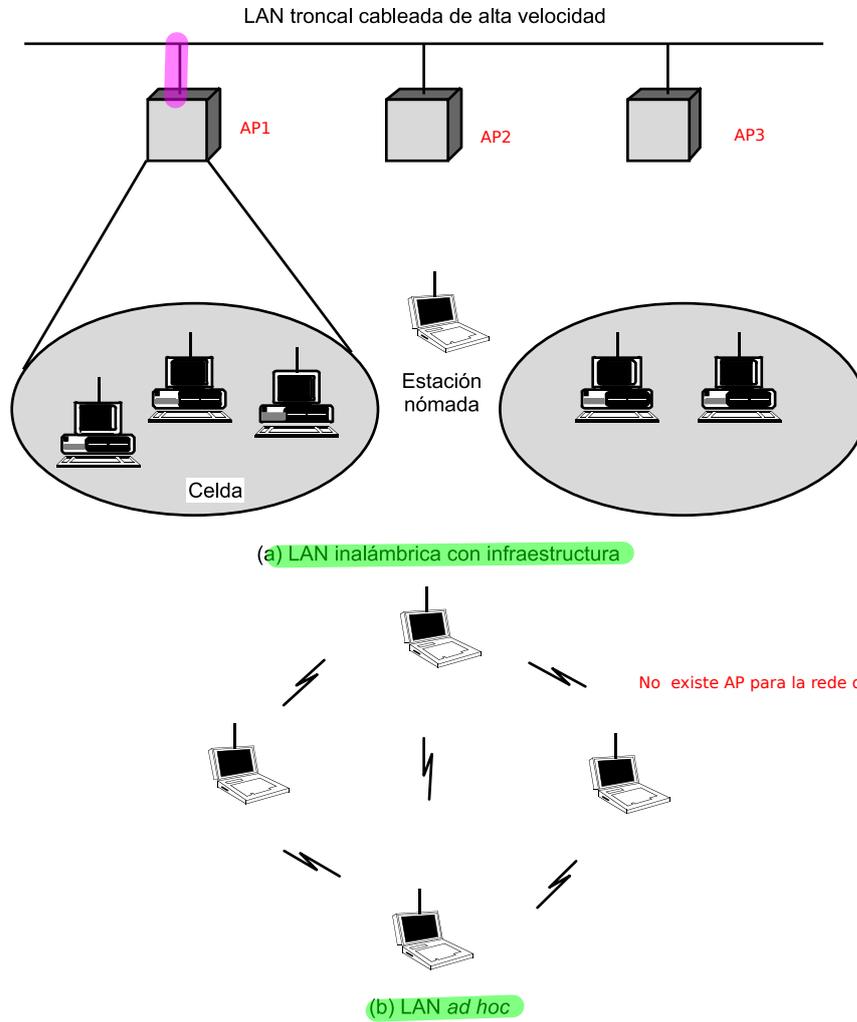
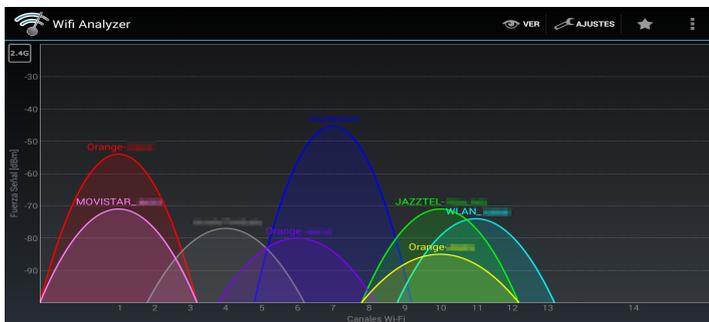


Figura 17.3. Configuraciones de redes LAN inalámbricas.

fraestructura, esto se consigue fácilmente a través del uso de módulos de control que conectan con ambos tipos de LAN. Puede ser también necesario dar soporte a usuarios móviles y redes inalámbricas *ad hoc*.

- **Área de servicio:** una zona de cobertura para una red LAN inalámbrica tiene un **diámetro** típico de entre **100 y 300 metros**. Observación: Mucha gente no tiene noción de esto.
- **Consumo de energía:** los usuarios móviles utilizan **estaciones de trabajo con batería** que necesitan tener una larga vida cuando se usan con adaptadores sin cable. Esto sugiere que **resulta inapropiado un protocolo MAC que requiera que los nodos móviles supervisen constantemente los puntos de acceso** o realicen comunicaciones frecuentes con una estación base. Las implementaciones típicas de LAN inalámbricas poseen características propias para **reducir el consumo de potencia mientras no se esté usando la red, como un modo de descanso (sleep mode)**.



- **Robustez en la transmisión y seguridad:** a menos que exista un diseño apropiado, una LAN inalámbrica puede ser propensa a sufrir interferencias y escuchas. El diseño de una LAN inalámbrica debe permitir transmisiones fiables incluso en entornos ruidosos y debe ofrecer cierto nivel de seguridad contra escuchas.
- **Funcionamiento de redes adyacentes:** a medida que las LAN inalámbricas se están haciendo más populares, es probable que dos o más de estas redes operen en la misma zona o en alguna en la que sea posible la interferencia entre ellas. Estas interferencias pueden repercutir negativamente en el funcionamiento normal del algoritmo MAC y pueden permitir accesos no autorizados a una LAN particular.
- **Funcionamiento sin licencia:** los usuarios preferirían adquirir y trabajar sobre LAN inalámbricas que no precisen de una licencia para la banda de frecuencias usada por la red.
- **Trasposos (Handoff)/Itinerancia (Roaming):** el protocolo MAC usado en LAN inalámbricas debería permitir a las estaciones móviles desplazarse de una celda a otra.
- **Configuración dinámica:** los aspectos de direccionamiento MAC y de gestión de la red LAN deberían permitir la inserción, eliminación y traslado dinámicos y automáticos de sistemas finales sin afectar a otros usuarios.

Ver canales!!

hay esto en la facultad?

## 17.2. TECNOLOGÍA LAN INALÁMBRICA

Las redes LAN inalámbricas se clasifican, generalmente, de acuerdo con la técnica de transmisión usada. Todas las LAN inalámbricas actuales se encuentran dentro de una de las siguientes categorías:

- **LAN de infrarrojos (IR, Infrared):** una celda individual en una LAN IR está limitada a una sola habitación, dado que la luz infrarroja no es capaz de atravesar muros opacos.
- **LAN de espectro expandido:** este tipo de LAN hace uso de tecnologías de transmisión de espectro expandido. En la mayoría de los casos, estas LAN funcionan en las bandas ISM (industria, ciencia y medicina), de modo que no se necesita licencia FCC (Federal Communications Commission) para su utilización en los Estados Unidos.
- **Microondas de banda estrecha:** estas LAN operan en el rango de las microondas, pero no hacen uso de espectro expandido. Algunos de estos productos funcionan a frecuencias para las que es necesaria una licencia FCC, mientras que otras lo hacen en alguna de las bandas ISM.

En la Tabla 17.1 se resumen algunas de las principales características de estas tres tecnologías. A continuación, se proporcionan algunos detalles sobre ellas.

### REDES LAN DE INFRARROJOS

Las comunicaciones ópticas inalámbricas en la banda infrarroja del espectro son de uso común en muchos hogares, estando presentes para el control remoto de numerosos dispositivos. Más recientemente, ~~el interés se ha desplazado hacia el uso de la tecnología infrarroja para la construcción de redes LAN inalámbricas.~~ Antes de comentar los detalles de esta tecnología, comenzaremos esta sección con una comparación entre las características de las LAN infrarrojas frente a aquellas que hacen uso de radio.

es historia!

Tabla 17.1. Comparación de las tecnologías de redes LAN inalámbricas.

	Infrarrojos		Espectro expandido		Radio
	Infrarrojos difusos	Infrarrojos de haz directo	Salto de frecuencia	Secuencia directa	Microondas de banda estrecha
Velocidad (Mbps)	1-4	1-10	1-3	2-50	10-20
Movilidad	Estacionario/móvil	Estacionario con LOS	Móvil	Estacionario/móvil	
Alcance (m)	15-60	25	30-100	30-250	10-40
Detectabilidad	Despreciable		Pequeña		Alguna
Longitud de onda/frecuencia	$\lambda$ : 800-900 nm		902-928 MHz 2,4-2,4835 GHz 5,725-5,85 GHz		902-928 MHz 5,2-5,775 GHz 18,825-19,205 GHz
Técnica de modulación	ASK		FSK	QPSK	FS/QPSK
Potencia radiada	—		< 1 W		25 mW
Método de acceso	CSMA	Anillo con paso de testigo, CSMA	CSMA		Reserva, ALOHA, CSMA
Necesidad de licencia	No		No		Sí a menos que sea ISM

### Ventajas y desventajas

Los dos medios de transmisión por excelencia para las LAN inalámbricas son las microondas de radio, usando espectro expandido o bien transmisión en banda estrecha, e infrarrojos. El uso de infrarrojos presenta una serie de ventajas significativas frente a los enfoques basados en microondas de radio. En primer lugar, el espectro de los infrarrojos es virtualmente ilimitado, lo que ofrece la posibilidad de alcanzar velocidades de datos extremadamente altas. El espectro de los infrarrojos no se encuentra regulado internacionalmente, cuestión ésta que no es cierta para algunas porciones del espectro de microondas.

Además de lo anterior, los infrarrojos comparten algunas propiedades con la luz visible que los hacen atractivos para su uso en ciertos tipos de configuraciones LAN. La luz infrarroja se refleja difusamente por los objetos de color, siendo así posible utilizar la reflexión producida en el techo para proporcionar cobertura a toda una habitación. El hecho de que la luz infrarroja no atraviese muros u otros objetos opacos presenta dos ventajas. En primer lugar, las comunicaciones infrarrojas pueden ser aseguradas contra escuchas de forma más sencilla que las de microondas. Por otro lado, en cada habitación de un edificio puede funcionar una instalación de infrarrojos aislada sin interferencias, posibilitando así la construcción de redes LAN infrarrojas muy grandes.

Otro hecho a favor de la tecnología de infrarrojos es que los equipos son relativamente baratos y simples. Generalmente, la transmisión por infrarrojos usa modulación en intensidad, de manera que los receptores IR únicamente necesitan detectar la amplitud de las señales ópticas. Por el contrario, la mayoría de los receptores de microondas precisan de la detección de la frecuencia o la fase.

El medio infrarrojo, por otro lado, exhibe asimismo **algunas desventajas**. Muchos entornos de interior sufren una **radiación infrarroja de fondo debida tanto a la luz solar como a la artificial**. Esta radiación ambiental, que se manifiesta en **forma de ruido en el receptor**, obliga a utilizar transmisores de alta potencia que limitan el alcance de la señal. Sin embargo, los incrementos en la potencia de la señal se han de limitar por **dos factores: posibles daños a los ojos y consumo excesivo de potencia**.

### Técnicas de transmisión

Existen tres técnicas alternativas que se usan comúnmente para la transmisión IR de datos. La señal transmitida puede ser direccional (enfocada, como en el mando a distancia de la televisión), puede ser radiada omnidireccionalmente, o bien reflejada por el techo.

**Un haz IR dirigido puede utilizarse para crear enlaces punto a punto**. En este modo, el alcance depende de la potencia de emisión y el grado de enfoque. Un enlace de datos IR dirigido puede alcanzar **distancias hasta de kilómetros**. Aunque tales alcances no sean necesarios para la construcción de redes LAN inalámbricas localizadas en una habitación, un enlace de estas características puede utilizarse para la interconexión de edificios a través de puentes o dispositivos de encaminamiento entre los que haya una línea de visión.

Otro uso de enlaces **IR punto a punto restringidos a una habitación es en la construcción de una red LAN de paso de testigo en anillo**. Los transceptores IR se disponen de tal forma que los datos circulen alrededor de ellos en una configuración en anillo. Cada transceptor soporta una estación de trabajo o un concentrador de estaciones que efectúa las funciones de puente.

En la **configuración omnidireccional** existe una estación base aislada que se encuentra en la línea de visión del resto de estaciones que conforman la LAN. **Generalmente, esta estación se ubica en el techo y actúa como un repetidor multipunto**. El transmisor del techo difunde una señal omnidireccional que es recibida por el resto de transceptores IR en la zona. Por otro lado, cada transceptor emite un haz direccional apuntado hacia la unidad base localizada en el techo.

En una configuración de **difusión** todos los transmisores IR están enfocados hacia un punto en un techo reflectante. La radiación IR que alcanza el techo es reflejada omnidireccionalmente y recogida por todos los receptores en la zona.

### REDES LAN DE ESPECTRO EXPANDIDO

Actualmente, las redes LAN inalámbricas **más populares** son aquellas que utilizan técnicas de espectro expandido.

### Configuración

Exceptuando el caso de oficinas bastante reducidas, una LAN inalámbrica de espectro expandido hace uso de una disposición de celdas múltiples como la ilustrada en la Figura 17.2. Las celdas adyacentes utilizan diferentes frecuencias dentro de la misma banda para evitar interferencias.

Dentro de cada celda puede usarse una topología **basada en un concentrador o bien una entre iguales (peer to peer)**. En una topología basada en un concentrador, como la indicada en la Figura 17.2, éste suele ubicarse en el techo y conectarse a una LAN cableada troncal para proporcionar conectividad entre las estaciones conectadas a las diversas redes locales (cableadas o



Repetidores , Extensores de Rango, Expansores de Rango de Wifi



y redes de computadores

inalámbricas pertenecientes a otras celdas). El concentrador puede también controlar el acceso como en el caso de la función de coordinación puntual de 802.11, actuando como un repetidor multipunto, con una funcionalidad similar a la ofrecida por los repetidores multipunto Ethernet de 10 Mbps y 100 Mbps. En este caso, todas las estaciones en la celda transmiten únicamente hacia el concentrador y reciben exclusivamente de él. Alternativamente, y con independencia del mecanismo de control de acceso, cada estación puede difundir usando una antena omnidireccional, de tal forma que el resto de estaciones en la celda pueden recibir. Esto último se corresponde con una configuración lógica en bus.

Potencia de señal.

Otra función potencial de un concentrador es el traspaso automático de las estaciones móviles. En cualquier instante, una serie de estaciones se encuentran asignadas a un concentrador dado de acuerdo con un criterio de proximidad. En el momento en que el concentrador percibe que una señal se debilita, puede traspasar la estación automáticamente al concentrador adyacente más próximo.

En una topología entre iguales no existe concentrador alguno, utilizándose algoritmos MAC como CSMA para controlar el acceso. Esta topología es apropiada para redes LAN *ad-hoc*.

### Cuestiones de transmisión

Una característica deseable, aunque no necesaria, de una red LAN inalámbrica es que pueda ser utilizada sin requerir una licencia para la transmisión. Las regulaciones concernientes a las licencias difieren de un país a otro, lo que complica aún más este objetivo. En los Estados Unidos, la FCC ha autorizado dos aplicaciones dentro de la banda ISM que pueden operar sin licencia: sistemas basados en espectro expandido, que pueden funcionar hasta a 1 vatio, y sistemas de potencia reducida, que pueden funcionar hasta a 0,5 vatios. Dado que esta banda fue incorporada por la FCC, su uso para las redes LAN inalámbricas de espectro expandido se ha vuelto muy popular.



En los Estados Unidos se han reservado tres bandas de microondas para su uso sin licencia con espectro expandido: 902-928 MHz (banda de los 915 MHz), 2,4-2,4835 GHz (banda de los 2,4 GHz) y 5,725-5,825 GHz (banda de los 5,8 GHz). De todas ellas, la banda de los 2,4 GHz es utilizada también para este propósito en Europa y Japón. A medida que la frecuencia es más alta, el ancho de banda potencial es también mayor, de manera que las tres bandas anteriores se encuentran ordenadas por el atractivo que despiertan desde el punto de vista de la capacidad ofrecida. Por otra parte, se deben considerar las interferencias procedentes de otros dispositivos. Existen diversos dispositivos que funcionan alrededor de los 900 MHz, incluyendo teléfonos y micrófonos inalámbricos y radioaficionados. El número de dispositivos que operan en la banda de los 2,4 GHz es más reducido. Un ejemplo notable son los hornos microondas, que tienden a sufrir mayores pérdidas de radiación con la edad. Actualmente, la competición en la banda de los 5,8 GHz es escasa. Sin embargo, nótese que, en términos generales, el coste de los equipos es mayor a medida que funcionan a frecuencias más elevadas.

### REDES LAN DE MICROONDAS DE BANDA ESTRECHA

El término *microondas de banda estrecha* se refiere al uso de una banda de frecuencias de microondas de radio para la transmisión de la señal, siendo esta banda relativamente estrecha (el ancho suficiente para acomodar la señal). Hasta muy recientemente, todos los productos LAN basados en microondas de banda estrecha han utilizado una banda de microondas que requería licencia. Actualmente existe al menos un vendedor que ofrece un producto LAN en la banda ISM.





<https://www.enacom.gob.ar/>

El Enacom es un ente autárquico y descentralizado que funciona en el ámbito del Ministerio de Modernización de la Nación. Su objetivo es conducir el proceso de convergencia tecnológica y crear condiciones estables de mercado para garantizar el acceso de todos los argentinos a los servicios de internet, telefonía fija y móvil, radio, postales y televisión.

Redes LAN inalámbricas 567

### RF de banda estrecha con licencia

Las frecuencias de radio (RF) de microondas utilizables para la transmisión de voz, datos y vídeo se encuentran sujetas a licencias de uso y coordinadas dentro de cada zona geográfica para evitar posibles interferencias entre sistemas. Dentro de los Estados Unidos, las licencias se encuentran controladas por la FCC. Cada zona geográfica tiene un radio de 28 km y puede contener cinco licencias, cubriendo cada una de ellas dos frecuencias. Motorola posee 600 licencias (1.200 frecuencias) en el rango de los 18 GHz que cubre todas las áreas metropolitanas con población superior a los 30.000 habitantes.

Licencia = \$ !!

No interferencias!

Generalmente, un esquema de banda estrecha hace uso de una configuración en celdas como la ilustrada en la Figura 17.2. Las celdas adyacentes utilizan bandas de frecuencias no solapadas dentro de la banda global de los 18 GHz. En los Estados Unidos, puesto que Motorola controla la banda de frecuencias, se asegura que redes LAN independientes ubicadas en zonas geográficas próximas no interfieran entre sí. Las transmisiones son cifradas con objeto de proporcionar seguridad frente a escuchas.

Una ventaja de las LAN de banda estrecha con licencia es que garantizan una comunicación ausente de interferencias. Al contrario de lo que sucede con porciones del espectro no reguladas, como la banda ISM, la zona sujeta a licencias le proporciona un derecho legal al poseedor de la licencia de un canal de comunicaciones libre de interferencias. Los usuarios de una LAN en la banda ISM son susceptibles de sufrir interferencias en sus comunicaciones, careciendo de una solución legal para este problema.

### RF de banda estrecha sin licencia

RadioLAN se convirtió en 1995 en el primer proveedor en presentar una red LAN inalámbrica de banda estrecha que utilizaba la zona ISM del espectro. Esta banda puede ser utilizada para transmisiones de banda estrecha a baja potencia (0,5 vatios o menos). El producto de RadioLAN funciona a 10 Mbps en la banda de los 5,8 GHz, alcanzando distancias de 50 m en una oficina semiabierta y de 100 m en una completamente abierta.

Mas comunes conocidas por nosotros..

Este producto hace uso de una configuración entre iguales con una característica interesante. Como sustituto de un conmutador estacionario, el producto de RadioLAN elige automáticamente a un nodo como maestro dinámico, de acuerdo a parámetros como la localización, el nivel de interferencias y la potencia de la señal. La identidad del maestro puede cambiar dinámicamente a medida que las condiciones cambien. La red LAN incluye también una función de repetición dinámica que permite a cada estación actuar como un repetidor para mover datos entre estaciones que se encuentran entre sí fuera de la distancia máxima permitida.

## 17.3. ARQUITECTURA Y SERVICIOS DE IEEE 802.11

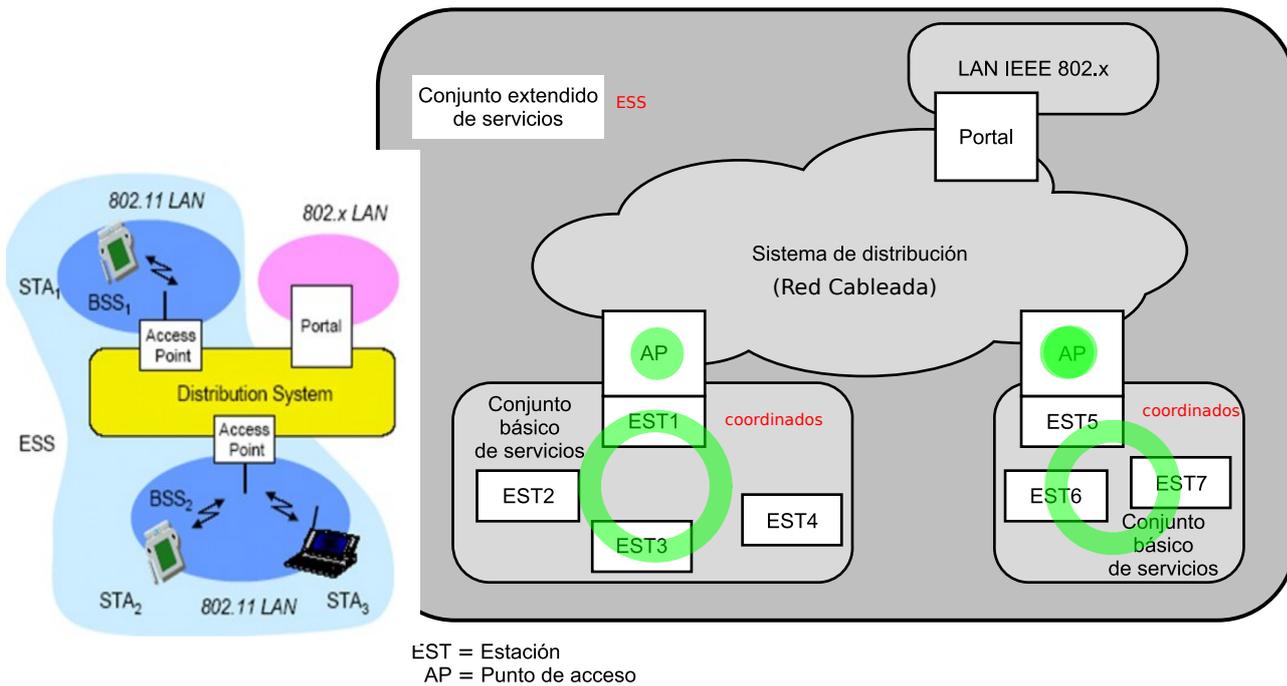
En 1990 se formó el comité IEEE 802.11 con el propósito de desarrollar un protocolo MAC y una especificación del medio físico para redes LAN inalámbricas. La Tabla 17.2 define brevemente los términos clave utilizados en el estándar IEEE 802.11.

### ARQUITECTURA DE IEEE 802.11

En la Figura 17.4 se ilustra el modelo desarrollado por el grupo de trabajo IEEE 802.11. El componente elemental de una red LAN inalámbrica es un conjunto básico de servicios (BSS, *Basic*

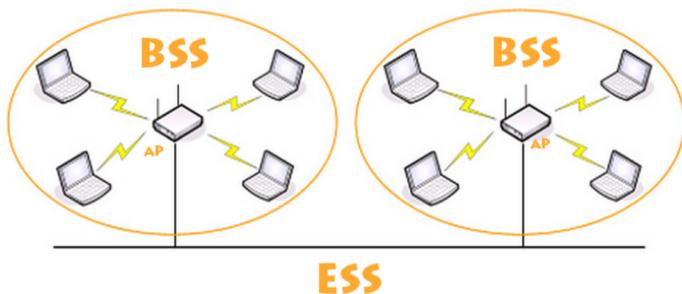
**Tabla 17.2.** Terminología IEEE 802.11.

<b>Punto de acceso (AP)</b>	Cualquier entidad que tenga la funcionalidad de una estación y proporcione acceso al sistema de distribución a través del medio inalámbrico a las estaciones asociadas.
<b>Conjunto básico de servicios (BSS)</b>	Conjunto de estaciones controladas por una sola función de coordinación.
<b>Función de coordinación</b>	Función lógica que determina cuándo una estación funcionando dentro de un BSS tiene permiso para transmitir y puede recibir PDU.
<b>Sistema de distribución (DS)</b>	Sistema utilizado para interconectar un conjunto de BSS y LAN integradas para crear un ESS.
<b>Conjunto extendido de servicios (ESS)</b>	Conjunto de uno o más BSS interconectados y LAN integradas que aparece como un único BSS en la capa LLC de cualquier estación asociada con uno de tales BSS.
<b>Unidad de datos del protocolo MAC (MPDU)</b>	Unidad de datos intercambiada entre entidades MAC paritarias usando los servicios de la capa física.
<b>Unidad de datos del servicio MAC (MSDU)</b>	Información entregada como una unidad entre usuarios MAC
<b>Estación</b>	Cualquier dispositivo que contenga capas físicas y MAC compatibles con IEEE 802.11



**Figura 17.4.** Arquitectura IEEE 802.11.

*Service Set*), consistente en un número de estaciones ejecutando el mismo protocolo MAC y compitiendo por el acceso al mismo medio inalámbrico compartido. Un BSS puede funcionar aisladamente o bien estar conectado a un sistema troncal de distribución (DS, *Distribution System*) a



La configuración ESS permite crear una red local inalámbrica con una extensa área de cobertura, no son solo Redes Inalámbricas independientes. Por eso debe existir una comunicación entre todos los BSS que forman el ESS (por ejemplo debe saber a que AP está conectado un dispositivo)

través de un punto de acceso (AP, *Access Point*) que efectúa las funciones de puente. El protocolo MAC puede ser completamente distribuido o bien estar controlado por una función central de coordinación ubicada en el punto de acceso. Generalmente, el BSS se corresponde con lo que en la bibliografía es referido como «celda». Por otro lado, el DS puede ser un conmutador, una red cableada tradicional u otra red inalámbrica.

La configuración más simple posible es la mostrada en la Figura 17.4, en la que cada estación pertenece a un BSS aislado; esto es, cada estación se encuentra dentro del rango de otras estaciones que pertenecen al mismo BSS. Es igualmente posible que exista un solapamiento geográfico entre dos BSS, de manera que una estación podría formar parte de más de un BSS. Además, la asociación entre una estación y un BSS es dinámica, puesto que una estación puede apagarse, salirse de la distancia máxima permitida o incorporarse de nuevo.

Un conjunto extendido de servicios (ESS, *Extended Service Set*) consiste en dos o más conjuntos básicos de servicios interconectados mediante un sistema de distribución. Este último es, por lo general, una LAN cableada troncal, aunque puede tratarse de cualquier red de comunicaciones. El conjunto extendido de servicios aparece a nivel de control de enlace lógico (LLC) como una única red LAN lógica.

En la Figura 17.4 se indica que un AP se implementa como parte de una estación. El AP constituye la lógica dentro de la estación que proporciona el acceso al DS a través de los servicios de distribución, además de servir como estación. La integración de una arquitectura 802.11 con una red LAN cableada tradicional se realiza a través de un portal. La lógica del portal se implementa en un elemento, como un puente o un dispositivo de encaminamiento, que forme parte de la LAN cableada y que se encuentre conectado al DS.

**SERVICIOS DE IEEE 802.11**

9

La normativa IEEE 802.11 define nueve servicios que deben ser proporcionados por una red inalámbrica para ofrecer una funcionalidad equivalente a la inherente a una LAN cableada tradicional. En la Tabla 17.3 se enumeran estos servicios y se indican dos formas de categorizarlos.

**Tabla 17.3.** Servicios de IEEE 802.11.

	Servicio	Proveedor	Usado para dar soporte a
1	Asociación	Sistema de distribución	Entrega de MSDU
2	Autenticación	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
3	Fin de la autenticación	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
4	Disociación	Sistema de distribución	Entrega de MSDU
5	Distribución	Sistema de distribución	Entrega de MSDU
6	Integración	Sistema de distribución	Entrega de MSDU
7	Entrega de MSDU	Estación	Entrega de MSDU
8	Privacidad	Estación	Acceso a la LAN y seguridad
9	Reasociación	Sistema de distribución	Entrega de MSDU

El estándar IEEE 802.11 define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura o modelo OSI (capa física y capa de enlace de datos), especificando las normas de funcionamiento de una red de área local inalámbrica (WLAN).

La Wi-Fi Alliance, en español «Alianza Wi-Fi», es una organización que promueve la tecnología Wi-Fi y certifica los productos Wi-Fi, si se ajustan a ciertas normas de interoperabilidad

Existe esto en la Facultad?

1. El proveedor de servicios puede ser tanto la estación como el DS. Los servicios de la estación son implementados en cada estación IEEE 802.11, incluyendo la estación que constituye el AP. Los servicios de distribución son proporcionados entre BSS diferentes y deben ser implementados en un AP o en cualquier otro dispositivo de propósito específico conectado al sistema de distribución.
2. Tres de los servicios enumerados se emplean para controlar el acceso a una LAN IEEE 802.11 y para proporcionar confidencialidad. Los seis servicios restantes dan soporte a la entrega de unidades de datos de servicio MAC (MSDU, *MAC Service Data Units*) entre estaciones. Una MSDU es un bloque de datos que el usuario MAC le pasa a la capa MAC, generalmente en la forma de una PDU LLC. Si una MSDU es demasiado grande para ser transmitida en una sola trama MAC, puede ser fragmentada y transmitida en una serie de tramas. La fragmentación se discutirá en la Sección 17.4.

Siguiendo el documento IEEE 802.11, a continuación discutiremos los servicios de acuerdo con un orden que clarifica el funcionamiento de una red ESS IEEE 802.11. La **entrega de MSDU**, que constituye el servicio básico, ya ha sido mencionada.

### Distribución de mensajes dentro de un DS

Los dos servicios implicados en la distribución de mensajes dentro de un DS son la distribución y la integración. La **distribución es el servicio primario utilizado por las estaciones para intercambiar tramas MAC cuando la trama debe atravesar el DS para pasar de una estación en un BSS a otra estación en un BSS diferente**. Por ejemplo, considerando la Figura 17.4, supongamos que una trama es transmitida desde la estación 2 (EST 2) hasta la estación 7 (EST 7). La trama se envía desde la estación EST 2 hasta la estación EST 1, que es el AP para este BSS. El AP entrega la trama a continuación al DS, que se encarga de encaminarla hasta el AP asociado con la estación EST 5 en el BSS de destino. La estación EST 5 recibe la trama y la retransmite a la estación EST 7. Las cuestiones acerca de cómo se transporta el mensaje a través del DS caen fuera del alcance del estándar IEEE 802.11.

Si las dos estaciones que establecen la comunicación se encuentran dentro del mismo BSS, entonces el servicio de distribución pasa, lógicamente, a través del AP de dicho BSS.

El servicio de **integración** permite la transferencia de datos entre una estación situada en una LAN IEEE 802.11 y otra estación en una LAN IEEE 802.x que se encuentre integrada con la primera. El término *integrada* hace referencia a una LAN cableada que esté físicamente conectada con el DS y cuyas estaciones puedan conectarse de forma lógica a una LAN IEEE 802.11 a través del servicio de integración. Este servicio es el encargado de llevar a cabo la traducción de direcciones y cualquier otra conversión lógica requerida para el intercambio de datos.

### Servicios relacionados con la asociación

MSDU : Mac Service Data Unit  
ESS : Extended Service Set

El principal objetivo de la capa MAC es la transferencia de MSDU entre entidades MAC. Esta tarea es desempeñada por el **servicio de distribución**. Para que este servicio pueda llevar a cabo sus funciones, necesita disponer de información acerca de las estaciones que se encuentran dentro del ESS. Esta información es la proporcionada por los servicios relacionados con la asociación. Antes de que el servicio de distribución pueda entregar o aceptar datos de una estación, ésta debe estar *asociada*. Antes de explorar la noción de asociación es necesario describir el concepto de movilidad. El estándar define tres tipos de transiciones basadas en la movilidad:

### Topologías:

- Independent Basic Service Sets (IBSSs) o Ad Hoc BSS
- Basic Service Sets (BSSs) o Infraestructure BSS
- Extended Service Sets (ESSs)

Explicar el recorrido de EST2 a EST7

De Est2 a Est4 no pasa por DS

## Topologías:

- Independent Basic Service Sets (IBSSs) o Ad Hoc BSS
- Basic Service Sets (BSSs) o Infraestructure BSS
- Extended Service Sets (ESSs)

- **Sin transición:** una estación de este tipo es estacionaria o se desplaza únicamente dentro del rango de comunicación directa de las estaciones conectadas a un solo BSS.
- **Transición BSS:** se define como el desplazamiento de una estación desde un BSS hasta otro BSS de destino ubicado en el mismo ESS. En este caso, la entrega de datos a la estación necesita que la función de direccionamiento sea capaz de reconocer la nueva localización de la estación.
- **Transición ESS:** se define como el desplazamiento de una estación desde un BSS ubicado en un determinado ESS hasta otro BSS perteneciente a un ESS diferente del primero. Esta situación se soporta únicamente debido a que la estación tiene libertad para moverse. Sin embargo, el mantenimiento de conexiones de capas altas sustentadas sobre 802.11 no puede garantizarse. De hecho, es probable que se produzca una interrupción del servicio.

Para entregar un mensaje dentro de un DS, el servicio de distribución necesita conocer dónde se encuentra ubicada la estación de destino. Específicamente, el DS necesita conocer la identidad del AP al que el mensaje deberá ser entregado con objeto de que tal mensaje alcance la estación de destino. Para satisfacer este requisito, una estación debe mantener una asociación con el AP dentro de su BSS actual. Existen tres servicios vinculados con este requisito:

- **Asociación:** establece una asociación inicial entre una estación y un AP. La identidad y dirección de una estación deben conocerse antes de que la misma pueda transmitir o recibir tramas en una LAN inalámbrica. Para ello, una estación debe establecer una asociación con un AP perteneciente a un BSS particular. A partir de entonces, el AP puede comunicar esta información a otros AP dentro del ESS con objeto de facilitar el encaminamiento y la entrega de tramas.
- **Reasociación:** permite que una asociación previamente establecida sea transferida desde un AP hasta otro, haciendo así posible que una estación móvil pueda desplazarse desde un BSS hasta otro.
- **Disociación:** constituye una notificación, bien de una estación o bien por parte de un AP, de que una asociación existente deja de tener validez. Una estación debería proporcionar este aviso antes de abandonar un ESS o apagarse. No obstante, las funciones de gestión MAC incluyen mecanismos para protegerse frente a estaciones que desaparezcan sin emitir esta notificación.

¿Estacion:AP?

¿DS BSS:AP:Estación?

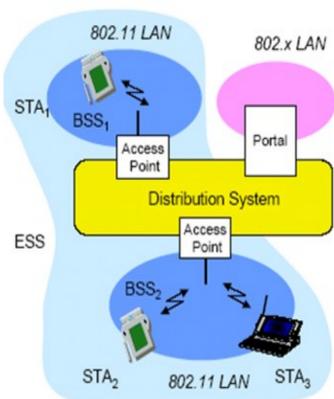
## Servicios de acceso y privacidad

Existen dos características de una LAN cableada que no son inherentes a una LAN inalámbrica:

1. Para poder transmitir sobre una LAN cableada, una estación debe estar físicamente conectada a la misma. Sin embargo, en el caso de una red inalámbrica, cualquier estación situada dentro de un rango similar al de otros dispositivos de la red puede transmitir. Existe, en cierto sentido, una forma de autenticación en el contexto de una red cableada: se precisa una acción positiva y presumiblemente observable para conectar una estación a una LAN cableada.
2. Análogamente, con objeto de recibir una transmisión desde una estación que forma parte de una LAN cableada, la estación receptora debe igualmente estar conectada al medio. Sin embargo, en el caso de una red inalámbrica cualquier estación dentro del rango apropiado puede recibir. De esta forma, una LAN cableada proporciona cierto grado de privacidad, limitando la recepción de datos únicamente a aquellas estaciones conectadas a la LAN.

Tx

Rx



### 3 Servicios para simular LAN cableada

El estándar IEEE 802.11 define tres servicios que proporcionan estas dos características a una LAN inalámbrica:

- **Autenticación:** es utilizada para que una estación pueda comunicar su identidad a otras estaciones. En una LAN cableada se asume, por lo general, que el acceso a una conexión física lleva aparejado la potestad para conectar a la LAN. Esta hipótesis no es válida en un entorno inalámbrico, en el que la conectividad se adquiere simplemente poseyendo una antena que se encuentre sintonizada adecuadamente. El servicio de autenticación es utilizado por las estaciones para establecer su identidad con otras con las que se desee comunicar. El estándar IEEE 802.11 da soporte a varios esquemas de autenticación y permite que la funcionalidad de los mismos pueda extenderse. El estándar no impone ningún esquema de autenticación concreto, que podría ir desde algún procedimiento relativamente inseguro hasta esquemas de cifrado de llave pública. Sin embargo, el estándar IEEE 802.11 precisa de una autenticación correcta y aceptada mutuamente antes de que una estación pueda establecer una asociación con un AP.
- **Fin de la autenticación:** este servicio es invocado siempre que se vaya a dar por finalizada una autenticación existente.
- **Privacidad:** se utiliza para asegurar que los contenidos de los mensajes no sean leídos por alguien diferente al receptor legítimo. El estándar incluye el uso opcional de mecanismos de cifrado para asegurar la privacidad.

#### 17.4. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO EN IEEE 802.11

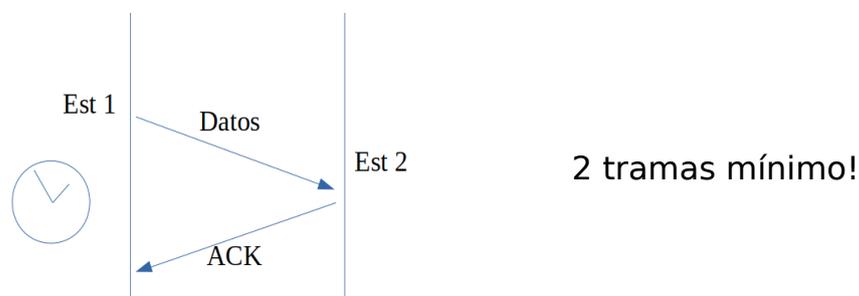
La capa MAC de IEEE 802.11 cubre tres aspectos funcionales: la entrega fiable de datos, el control de acceso y la seguridad. En esta sección se examinan los dos primeros, puesto que el área de la seguridad cae fuera de los objetivos de este texto.

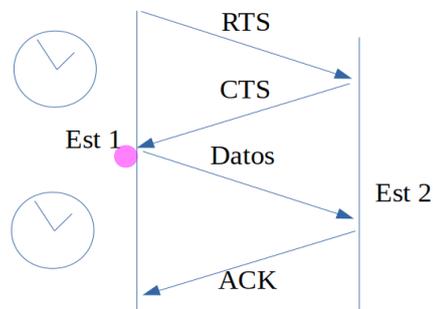
3 aspectos  
\*entrega  
\*acceso  
\*seguridad

#### ENTREGA FIABLE DE DATOS

Al igual que cualquier otra red inalámbrica, una LAN inalámbrica que utilice las capas física y MAC especificadas en el estándar IEEE 802.11 está sujeta a una considerable falta de fiabilidad. El ruido, las interferencias y otros efectos de propagación repercuten en la pérdida de un número significativo de tramas. Incluso disponiendo de códigos correctores de errores, es posible que muchas tramas MAC no sean recibidas apropiadamente. Se puede hacer frente a esta situación con mecanismos que proporcionen fiabilidad en capas más altas, como TCP. Sin embargo, los contadores de tiempo utilizados para la retransmisión en capas superiores son, por lo general, del orden de segundos. Es, por tanto, más eficiente abordar el problema de los errores en el nivel MAC. Con esta finalidad, el estándar IEEE 802.11 incluye un protocolo de intercambio de tramas. Cuando una estación recibe una trama de datos de otra estación, devuelve una trama de confirmación (ACK) a la estación de origen. Este intercambio es tratado como una unidad atómica, sin ser interrumpido por una transmisión procedente de cualquier otra estación. Si la fuente no recibe la confirmación en un intervalo corto de tiempo, bien porque la trama de datos resultó dañada, o bien porque lo fue la trama ACK de retorno, la fuente retransmite la trama.

De esta forma, el mecanismo básico de transferencia de datos en IEEE 802.11 implica un intercambio de dos tramas. Para mejorar más aún la fiabilidad, es posible utilizar un intercambio de cuatro tramas. En este esquema, la fuente emite inicialmente una trama de solicitud para enviar





Para mejorar  
4 tramas!!

(Pensar por que mejora)

(RTS, *Request to Send*) hacia el destino. La estación de destino responde con una trama de permiso para enviar (CTS, *Clear to Send*). Tras recibir la trama CTS, la fuente emite la trama de datos y el destino responde con una confirmación (ACK). La trama RTS alerta a todas las estaciones que se encuentran dentro del rango de recepción de la fuente de que una transmisión está en curso. El resto de estaciones se abstiene de transmitir con objeto de evitar que se produzca una colisión entre dos tramas transmitidas al mismo tiempo. Análogamente, la trama CTS alerta a todas las estaciones que están en el rango de recepción del destino de que se va a producir un intercambio. Aunque la parte RTS/CTS del protocolo de intercambio es una función requerida de la capa MAC, es posible deshabilitarla.

### CONTROL DE ACCESO

- 1 El grupo de trabajo 802.11 ha considerado dos tipos de propuestas para algoritmos MAC: protocolos de acceso distribuido, en los que, como en el caso de Ethernet, la decisión para transmitir se distribuye sobre todos los nodos usando un mecanismo de detección de portadora; y, por otro lado,
- 2 protocolos de acceso centralizado, que implican una regulación de la transmisión por una autoridad central de toma de decisiones. Un protocolo de acceso distribuido tiene sentido en el caso de una red *ad hoc* de estaciones paritarias, aunque puede ser también interesante en otras configuraciones de LAN inalámbricas que trabajen principalmente con tráfico a ráfagas. Un protocolo de acceso centralizado es más natural para configuraciones en las que una serie de estaciones inalámbricas se encuentran interconectadas entre sí y con algún tipo de estación base que actúa como pasarela hacia una LAN troncal cableada. También es especialmente útil cuando parte de los datos tiene algún requisito de tiempo real o alta prioridad. Round Robin o Sondeo Circular

Como sería el caso de la Facultad?

El resultado final en el caso de 802.11 es un algoritmo MAC denominado DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless MAC*) que proporciona un mecanismo de control de acceso distribuido sobre el que se ubica un control centralizado opcional. En la Figura 17.5 se ilustra esta arquitectura. La subcapa MAC inferior es la función de coordinación distribuida (DCF, *Distributed Coordination Function*). La DCF utiliza un algoritmo de contención para proporcionar acceso a la totalidad del tráfico. El tráfico asíncrono ordinario hace uso directamente de la DCF. La función de coordinación puntual (PCF, *Point Coordination Function*) es un algoritmo MAC centralizado usado para ofrecer un servicio libre de contención. La PCF se ubica justo por encima de la DCF y utiliza las características de ésta para asegurar el acceso a sus usuarios. A continuación, se estudian estas dos subcapas.

### Función de coordinación distribuida

La subcapa DCF hace uso de un sencillo algoritmo CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*, acceso múltiple con detección de portadora). Una estación escucha el medio cuando dispone de una trama para transmitir. Si el medio está libre, la estación puede transmitir; en otro caso, la estación debe esperar antes de transmitir hasta que se complete la transmisión en curso. La DCF no incluye una función de detección de colisiones (es decir, CSMA/CD) porque ésta no resulta práctica en una red inalámbrica. El rango dinámico de las señales en el medio es muy elevado, de tal forma que una estación que desee transmitir no puede distinguir de manera efectiva entre una señal entrante muy débil, y el ruido más los efectos de su propia transmisión.

Pensa por que?

Para asegurar un funcionamiento adecuado y equitativo de este algoritmo, la DCF incluye un conjunto de retardos que se ordenan de acuerdo con un esquema de prioridades. Comenzaremos considerando un retardo simple denominado espacio entre tramas (IFS, *Interframe Space*).

Mecanismos  
\*Retardos (IFS)  
\*Prioridades.

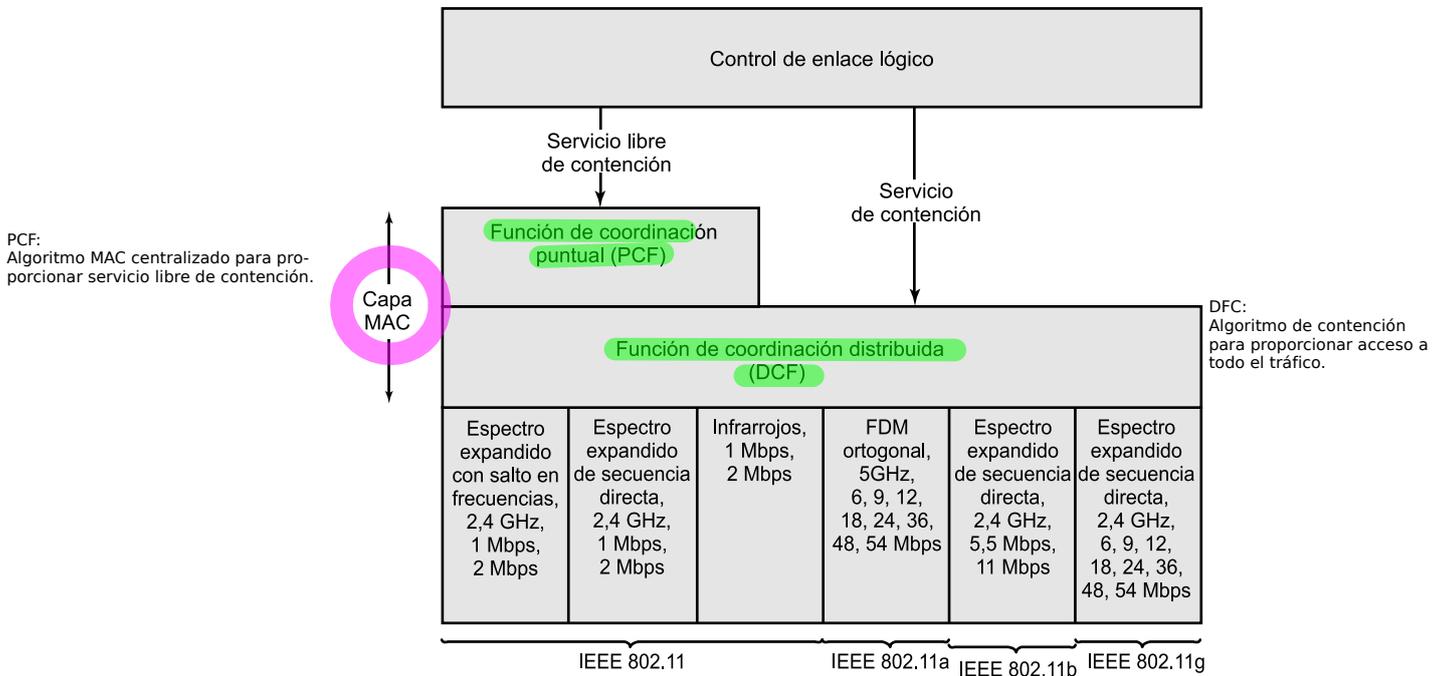


Figura 17.5. Arquitectura de protocolos IEEE 802.11.

Retardos IFS

De hecho, existen tres valores diferentes para el IFS, pero el algoritmo se explica mejor ignorando inicialmente este detalle. Usando un IFS, las reglas de acceso CSMA son las siguientes (véase la Figura 17.6):

1. Una estación que disponga de una trama lista para ser transmitida **sondea el medio**. Si éste se encuentra libre, la estación **espera** a ver si el medio permanece libre durante una cantidad de tiempo igual al IFS. Si es así, la estación puede transmitir inmediatamente.
2. Si el medio está ocupado (bien porque la estación lo encuentra inicialmente así, o bien porque este hecho sucede durante el tiempo de espera IFS), la estación **pospone la transmisión y continúa monitorizando** el medio hasta que la transmisión en curso finalice.
3. Una vez que la transmisión actual haya terminado, **la estación espera otro IFS**. Si el medio permanece libre durante ese periodo, la estación espera durante una cantidad aleatoria de tiempo y vuelve a **sondear el medio de nuevo**. Si el medio continúa libre, **la estación puede transmitir**. Si, por el contrario, el medio queda ocupado durante el periodo de espera, el contador de espera se para, comenzando de nuevo cuando el medio quede libre.

Para asegurar que el proceso de espera mantenga la estabilidad, se utiliza una **espera exponencial binaria (descrita en el Capítulo 16)**, que proporciona una **forma de manejar cargas elevadas**. Los intentos repetidos y fallidos de transmitir se traducen en periodos de espera cada vez mayores, hecho éste que ayuda a reducir la carga. En el caso de que este mecanismo no existiera se podría dar la siguiente situación: dos o más estaciones intentan transmitir al mismo tiempo, ocasionando una colisión. Ambas intentan retransmitir inmediatamente, causando una nueva colisión.

Prioridades

El esquema anterior se refina para permitir que la DCF proporcione un acceso basado en **prioridades**. Para ello se utiliza un mecanismo simple basado en el uso de tres valores para el IFS:

3 valores para IFS para incorporar tema de prioridades.

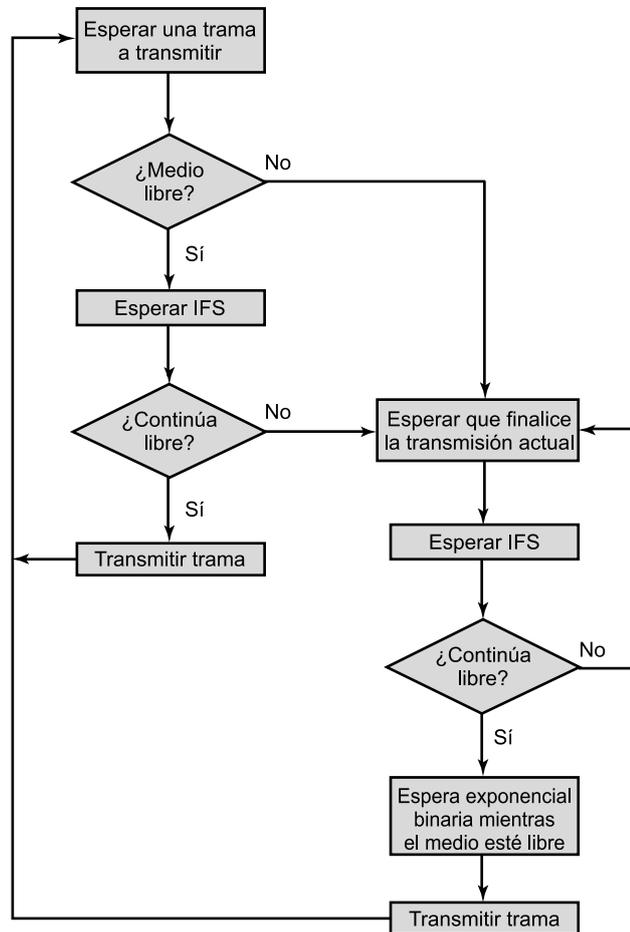


Figura 17.6. Lógica de control de acceso al medio en IEEE 802.11.

1 SIFS ( + corto)

- **SIFS (IFS corto, short IFS):** es el IFS más pequeño y se utiliza para todas las acciones de respuesta inmediatas, tal y como se explica más adelante.

2 PIFS ( intermedio)

- **PIFS (IFS de la función de coordinación puntual, Point coordination function IFS):** se trata de un IFS de tamaño medio, utilizado por el controlador central en el esquema PCF cuando emite un sondeo.

3 DIFS ( + largo)

- **DIFS (IFS de la función de coordinación distribuida, Distributed coordination function IFS):** constituye el IFS más grande y se usa como un retardo mínimo para las tramas asíncronas que compiten por el acceso al medio.

La Figura 17.7a ilustra el uso de estos valores de tiempo. Consideremos primeramente el caso del SIFS. Cualquier estación que utilice un SIFS para determinar la ocasión de transmitir tiene, en efecto, la prioridad más alta, dado que siempre ganará el acceso antes que cualquier otra estación que espere una cantidad de tiempo igual a un PIFS o a un DIFS. El uso de SIFS se produce en las siguientes circunstancias:

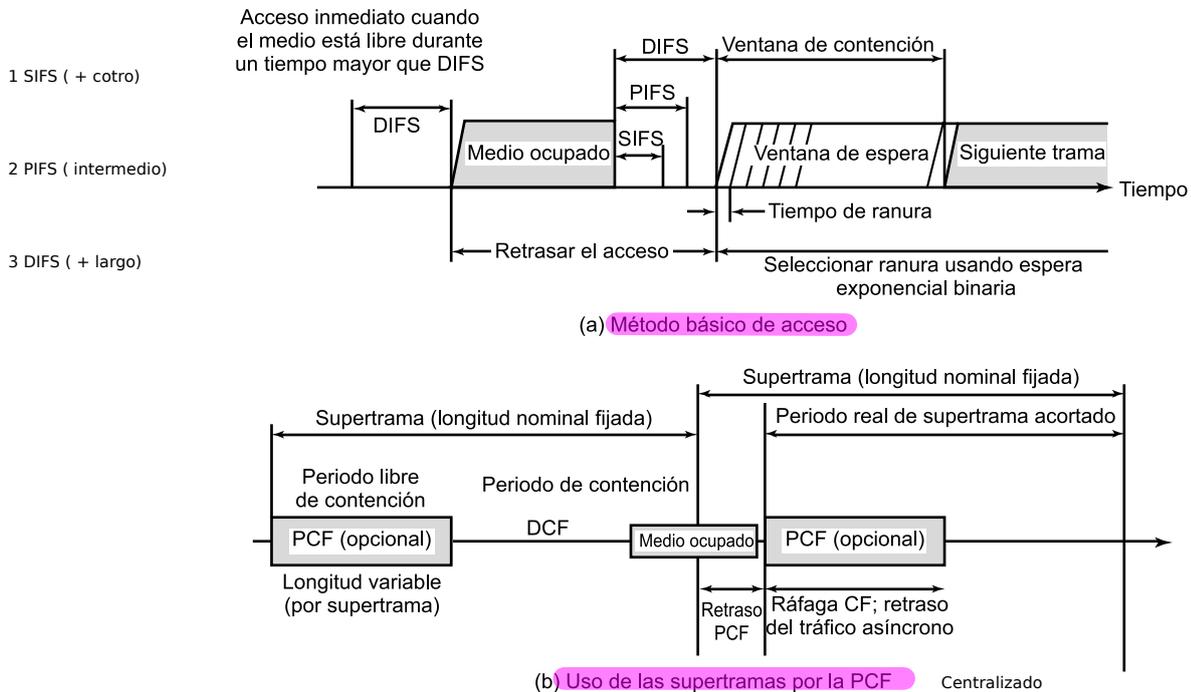


Figura 17.7. Ordenación temporal de los eventos MAC en IEEE 802.11.

- Confirmación (ACK):** cuando una estación recibe una trama dirigida exclusivamente a ella (es decir, sin difusión ni multidifusión), ésta responde con una trama ACK tras esperar únicamente un espacio de tiempo igual a un SIFS. Esto tiene dos efectos deseables. En primer lugar, dado que no se utiliza detección de colisiones, la probabilidad de las colisiones es mayor que con CSMA/CD, de forma que la confirmación a nivel MAC proporciona un mecanismo eficiente de recuperación ante colisiones. En segundo lugar, el SIFS puede ser utilizado para proporcionar una entrega eficiente de una PDU correspondiente a un protocolo de nivel LLC que requiera varias tramas MAC. En este caso se da el siguiente escenario. Una estación con una PDU LLC multitrama lista para ser transmitida envía las tramas MAC una a una. Cada trama es confirmada tras un periodo de tiempo igual a un SIFS por el destinatario. Cuando la fuente recibe la confirmación (ACK), envía inmediatamente (tras un SIFS) la siguiente trama de la secuencia. El resultado es que, una vez que la estación ha competido por el canal, mantendrá el control sobre el mismo hasta que haya concluido el envío de todos los fragmentos de una PDU LLC.
- Permiso para enviar (CTS):** una estación puede asegurar que su trama de datos se enviará satisfactoriamente si primero emite una pequeña trama de solicitud para enviar (RTS). La estación a quien va dirigida la trama RTS debería responder inmediatamente con una trama CTS si se encuentra preparada para recibir. El resto de estaciones reciben la trama RTS y se abstienen de usar el medio.
- Respuesta a sondeo (poll response):** este punto es explicado posteriormente en la discusión sobre PCF.

Ver que como SIFS es el mas corto esto le evita competir y tiene mas prioridad!

mas eficiente para envío de varias tramas, ya que mantiene en control, si no por cada trama debería haber un ack.

RTS  
luego  
CTS



El siguiente intervalo IFS en longitud es el PIFS. Éste es utilizado por el controlador central para la emisión de sondeos y tiene prioridad sobre el tráfico de contención normal. Obsérvese, sin embargo, que las tramas transmitidas utilizando SIFS tienen prioridad sobre un sondeo PCF.

Finalmente, el intervalo DIFS se utiliza para el tráfico ordinario asíncrono.

### Función de coordinación puntual

PCF es un método de acceso alternativo implementado sobre DCF, cuya función consiste en un sondeo realizado por un elemento central de sondeos (coordinador puntual). El coordinador puntual hace uso de un PIFS cuando emite un sondeo. Dado que un PIFS es más pequeño que un DIFS, el coordinador puntual puede adueñarse del medio y bloquear todo el tráfico asíncrono mientras emite un sondeo y recibe las respuestas.

Como caso extremo puede considerarse el siguiente escenario posible. Una red inalámbrica se configura de tal manera que una serie de estaciones con tráfico sensible a los retardos se controla por medio del coordinador puntual, mientras que el resto del tráfico compite por el acceso usando CSMA. El coordinador puntual podría emitir consultas a todas las estaciones configuradas para el sondeo siguiendo un esquema de turno rotatorio. Cuando se emite un sondeo, la estación consultada puede responder utilizando un SIFS. Si el coordinador puntual recibe una respuesta, entonces emite un nuevo sondeo usando un PIFS. Si no se recibe respuesta alguna durante el tiempo correspondiente al turno, el coordinador emite un sondeo.

Si la disciplina expuesta en el párrafo anterior fuese implementada, el coordinador puntual podría bloquear todo el tráfico asíncrono sin más que emitir repetidamente sondeos. Para prevenir la ocurrencia de este hecho se define un intervalo conocido como supertrama. Durante la primera parte de este intervalo, el coordinador puntual emite sondeos a todas las estaciones configuradas para el sondeo siguiendo un esquema de turno rotatorio. A continuación, el coordinador espera un tiempo igual a lo que reste de la supertrama, permitiendo así la existencia de un periodo de contención para el acceso asíncrono.

En la Figura 17.7b se ilustra el uso de la supertrama. Al principio de una supertrama, el coordinador puntual puede hacerse con el control opcionalmente y emitir sondeos durante un periodo de tiempo dado. Este intervalo varía debido al tamaño variable que pueden tener las tramas de respuesta de las estaciones. El tiempo restante de la supertrama queda disponible para el acceso competitivo. Al final del intervalo de supertrama, el coordinador puntual compite por el acceso al medio usando un PIFS. Si el medio se encuentra disponible, el coordinador gana el acceso inmediatamente, siguiendo a continuación una supertrama completa. Sin embargo, el medio puede estar ocupado al final de la supertrama. En este caso, el coordinador puntual debe esperar hasta que el medio quede libre para conseguir el acceso, lo que se traducirá en un periodo de supertrama más corto para el siguiente ciclo.

### TRAMA MAC

En la Figura 17.8 se muestra el formato de una trama 802.11. Este formato general se utiliza para todas las tramas de datos y de control, aunque no todos los campos se utilizan en todos los contextos. Los campos son los siguientes:

- **Control de trama:** indica el tipo de trama (control, gestión o datos) y proporciona información de control. La información de control indica si la trama proviene o va destinada a un DS, y contiene información de control y relativa a la privacidad.

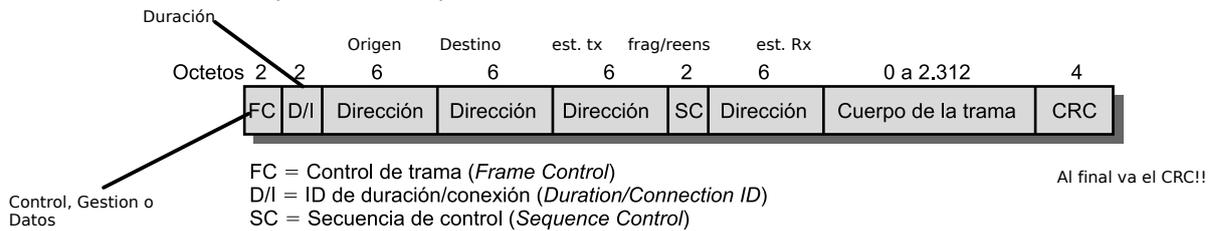


Figura 17.8. Formato de la trama MAC en IEEE 802.11.

- **ID de duración/conexión:** si se utiliza como un campo de duración, indica el tiempo (en microsegundos) que el canal será reservado para una transmisión satisfactoria de una trama MAC. En algunas tramas de control, este campo contiene el identificador de una asociación o de una conexión.
- **Direcciones:** el número y significado de los campos de direcciones dependen del contexto. Los tipos de direcciones son la de la fuente, el destino, la estación transmisora y la estación receptora.
- **Control de secuencia:** contiene un subcampo de 4 bits (número de fragmento) utilizado para la fragmentación y el reensamblado, y un número de secuencia de 12 bits utilizado para numerar las tramas enviadas entre un transmisor dado y un receptor.
- **Cuerpo de la trama:** contiene una MSDU completa o un fragmento de la misma. La MSDU es una unidad de datos del protocolo LLC o información de control MAC.
- **Secuencia de comprobación de trama:** se trata de una comprobación de redundancia cíclica de 32 bits.

A continuación, examinaremos los tres tipos de tramas MAC.

### Tramas de control

Las tramas de control prestan servicio a la entrega fiable de tramas de datos. Existen seis subtipos de tramas de control:

- **Sondeo de ahorro de energía (PS-Poll, *Power Save-Poll*):** esta trama es enviada por cualquier estación hacia la estación que contiene el punto de acceso (AP). Su objetivo es solicitar al AP que transmita una trama destinada a esta estación que ha sido almacenada en una memoria temporal debido a que la estación se encontraba en modo de ahorro de energía.
- **Solicitud para enviar (RTS):** se trata de la primera trama en el protocolo de cuatro pasos discutido cuando se trató la entrega fiable de datos al principio de la Sección 17.3. La estación que envía este mensaje está alertando a un posible destino, así como al resto de las estaciones dentro del rango de recepción, de que pretende enviar una trama de datos a dicho destino.
- **Permiso para enviar (CTS):** se trata de la segunda trama en el protocolo de cuatro pasos. Es enviada por la estación de destino hacia la fuente para concederle permiso para emitir una trama de datos.
- **Confirmación:** proporciona una confirmación del destino hacia la fuente, indicando que los datos, información de gestión o sondeo de ahorro de energía previos han sido recibidos correctamente.

- **Fin de periodo libre de contención:** anuncia el final de un periodo libre de contenciones que forma parte de la función de coordinación puntual.
- **CF-End + CF-Ack:** confirmación de la trama CF-End. Esta trama finaliza el periodo libre de contención y libera a las estaciones de las restricciones asociadas con este periodo.

### Tramas de datos

Existen ocho subtipos de tramas de datos, organizados en dos grupos. Los primeros cuatro subtipos definen tramas que transportan datos de una capa superior desde la estación origen hasta la estación de destino. Las cuatro tramas de transporte de datos son las siguientes:

- **Datos:** se trata de la trama de datos más simple. Puede ser utilizada tanto en el periodo de contención como en el periodo libre de contención.
- **Datos + CF-Ack:** únicamente puede ser enviada durante el periodo libre de contención. Además de transportar datos, esta trama confirma la recepción de otros previamente recibidos.
- **Datos + CF-Poll:** se utiliza por parte de un coordinador puntual para entregar datos a una estación móvil y para solicitar que ésta envíe una trama de datos que puede haber sido almacenada temporalmente.
- **Datos + CF-Ack + CF-Poll:** combina en una sola trama las funciones de las tramas Datos + CF-Ack y Datos + CF-Poll.

Los cuatro subtipos restantes de tramas de datos no transportan, en realidad, datos del usuario. La trama conocida como función nula (*Null Function*) no transporta datos, sondeos o confirmaciones. Se utiliza para transportar el bit de gestión de energía en el campo de control de una trama destinada al AP, indicando así que la estación va a entrar en un estado de operación de baja energía. Las tres tramas restantes (CF-Ack, CF-Poll y CF-Ack + CF-Poll) poseen la misma funcionalidad que los subtipos de tramas de datos correspondientes que se han comentado en la lista anterior (Datos + CF-Ack, Datos + CF-Poll, Datos + CF-Ack + CF-Poll), pero sin transportar datos.

### Tramas de gestión

Las tramas de gestión se utilizan para gestionar las comunicaciones entre las estaciones y los puntos de acceso. Las funciones que cubren incluyen la gestión de las asociaciones (solicitud, respuesta, reasociación, disociación y autenticación).

## 17.5. CAPA FÍSICA DE IEEE 802.11

La capa física del estándar IEEE 802.11 ha sido definida en cuatro etapas. La primera parte fue publicada en 1997. Dos partes adicionales se publicaron en 1999 y, finalmente, la más reciente apareció en 2002. La primera de ellas, llamada simplemente IEEE 802.11, incluye la capa MAC y tres especificaciones de la capa física, dos en la banda de los 2,4 GHz y una en los infrarrojos, todas ellas operando a 1 y 2 Mbps. IEEE 802.11a funciona en la banda de los 5 GHz a velocidades de datos de hasta 54 Mbps. IEEE 802.11b funciona en la banda de los 2,4 GHz a 5,5 y 11 Mbps. IEEE 802.11g amplía la norma IEEE 802.11b a velocidades de datos más altas. A continuación, se examinan sucesivamente cada una de ellas.

**CAPA FÍSICA ORIGINAL DE IEEE 802.11**

En el estándar original 802.11 se definen tres medios físicos:

- Espectro expandido de secuencia directa (DS-SS) funcionando en la banda ISM de los 2,4 GHz, con velocidades de datos de 1 Mbps y 2 Mbps.
- Espectro expandido con salto en frecuencias (FH-SS) funcionando en la banda ISM de los 2,4 GHz, con velocidades de datos de 1 Mbps y 2 Mbps.
- Infrarrojos a 1 Mbps y 2 Mbps funcionando con longitudes de onda entre 850 nm y 950 nm.

**Espectro expandido en secuencia directa**

En el sistema DS-SS pueden utilizarse hasta siete canales, cada uno con una velocidad de datos de 1 Mbps o 2 Mbps. El número de canales disponible depende del ancho de banda reservado por las diversas agencias reguladoras. Éste puede variar desde los 13 disponibles en la mayoría de los países europeos hasta solamente 1 disponible en Japón. Cada canal tiene un ancho de banda de 5 MHz. El esquema de codificación utilizado es DBPSK para velocidades de 1 Mbps y DQPSK para el caso de 2 Mbps.

**Espectro expandido con salto de frecuencias**

Recordemos del Capítulo 7 que un sistema FH-SS hace uso de varios canales, saltando la señal de un canal a otro de acuerdo con una secuencia pseudoaleatoria. En el caso del esquema IEEE 802.11, se utilizan canales de 1 MHz. El número de canales disponibles varía desde 23 en Japón hasta 70 en los Estados Unidos.

Los detalles del esquema de saltos son ajustables. Por ejemplo, la tasa mínima de saltos en los Estados Unidos es de 2,5 saltos por segundo. La distancia mínima de cada salto en frecuencia es de 6 MHz en Norteamérica y la mayor parte de Europa, mientras que en Japón es de 5 MHz.

Para la modulación, el esquema FH-SS utiliza GFSK de dos niveles para el sistema a 1 Mbps. Los bits cero y uno se codifican como desviaciones de la frecuencia portadora actual. Para el sistema a 2 Mbps se utiliza un esquema GFSK de cuatro niveles en el que las cuatro combinaciones de 2 bits se definen mediante cuatro desviaciones diferentes de la frecuencia central.

**Infrarrojos**

El esquema de infrarrojos en IEEE 802.11 es omnidireccional en lugar de punto a punto, siendo posible cubrir distancias de hasta 20 m. El esquema de modulación para velocidades de datos de 1 Mbps se conoce como PPM-16 (Pulse Position Modulation). En este esquema, cada grupo de 4 bits de datos se transforma en uno de los 16 símbolos PPM, siendo cada símbolo una cadena de 16 bits. Cada cadena de 16 bits consta de quince ceros y un uno binario. En el caso de 2 Mbps, cada grupo de 2 bits se transforma en una de cuatro posibles secuencias de 4 bits. Cada secuencia consta de tres ceros y un uno binario. La transmisión real emplea un esquema de modulación en intensidad en el que la presencia de señal se corresponde con un 1 binario y la ausencia de la misma con un 0 binario.

4 bits --> 16 Símbolos PPM

Source Data	4-PPM
00	
01	
10	
11	

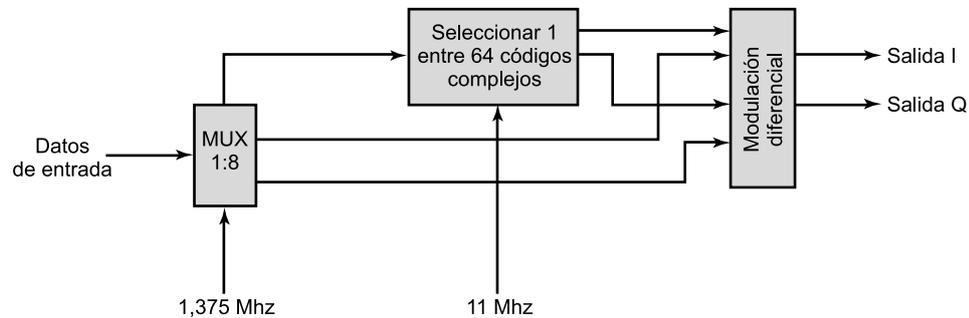


Figura 17.9. Esquema de modulación CCK a 11 Mbps.

### IEEE 802.11a

La especificación IEEE 802.11a hace uso de la banda de los 5 GHz. Al contrario que en el caso de las especificaciones en la banda de los 2,4 GHz, en IEEE 802.11a no se emplea un esquema de espectro expandido, sino multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). OFDM, también conocido como modulación multiportadora, utiliza varias señales portadoras con frecuencias diferentes, enviando algunos de los bits totales por cada canal. Se trata de un esquema similar a FDM. Sin embargo, en el caso de OFDM todos los subcanales están dedicados a una única fuente de datos.

Las velocidades de datos posibles en IEEE 802.11a son 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps. El sistema utiliza hasta 52 subportadoras que se modulan usando BPSK, QPSK, QAM-16 o QAM-64, en función de la velocidad requerida. El espaciado entre frecuencias subportadoras es de 0,3125 MHz. Un código convolucional a una tasa de 1/2, 2/3 o 3/4 proporciona corrección de errores hacia adelante.

### IEEE 802.11b

IEEE 802.11b es una extensión del esquema IEEE 802.11 DS-SS, proporcionando velocidades de datos de 5,5 y 11 Mbps. La tasa de minibits es de 11 MHz, la misma que el esquema DS-SS original, proporcionando así el mismo ancho de banda ocupado. Para conseguir una velocidad de datos mayor en el mismo ancho de banda y con la misma tasa de minibits se utiliza un esquema de modulación conocido como modulación por código complementario (CCK, *Complementary Code Keying*).

El esquema de modulación CCK es bastante complejo y no será examinado aquí en detalle. La Figura 17.9 proporciona una idea general del esquema para una velocidad de datos de 11 Mbps. Los datos de entrada son manejados en bloques de 8 bits a una tasa de 1,375 MHz (8 bits/símbolo  $\times$  1,375 MHz = 11 Mbps). Seis de estos bits son transformados en una de las 64 secuencias de código. La salida de esta transformación, junto con los dos bits adicionales, constituye la entrada de un modulador QPSK.

### IEEE 802.11g

IEEE 802.11g es una extensión de IEEE 802.11b a mayor velocidad. Este esquema combina toda una gama de técnicas de codificación del medio físico utilizadas en 802.11a y 802.11b para proporcionar servicio a diversas velocidades de datos.

## 17.6. LECTURAS Y SITIOS WEB RECOMENDADOS

[PAHL95] y [BANT95] son artículos que examinan detalladamente las LAN inalámbricas. [KAHN97] es una buena referencia de las redes LAN de infrarrojos.

[OHAR99] contiene un excelente tratamiento técnico de IEEE 802.11. Otra buena referencia en este sentido es [LARO02]. [GEIE99] proporciona también un tratamiento detallado de los estándares IEEE 802.11 y numerosos casos de estudio. [CROW97] es un buen artículo de evaluación de los estándares 802.11. Ninguna de las dos últimas referencias cubre IEEE 802.11a y 802.11b. [GEIE01] incluye una buena explicación de IEEE 802.11a. [SHOE02] proporciona una visión general de IEEE 802.11b.

BANT94 Bantz, D., y Bauchot, F. «Wireless LAN Design Alternatives.» *IEEE Network*, marzo/abril 1994.

CROW97 Crow, B. *et al.*, «IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks.» *IEEE Communications Magazine*, septiembre 1997.

GEIE99 Geier, J. *Wireless LANs*. New York: Macmillan Technical Publishing, 1999.

GEIE01 Geier, J. «Enabling Fast Wireless Networks with OFDM.» *Communications System Design*, febrero 2001. ([www.csdmag.com](http://www.csdmag.com))

KAHN97 Kahn, J., y Barry, J. «Wireless Infrared Communications.» *Proceedings of the IEEE*, febrero 1997.

LARO02 LaRocca, J., y LaRocca, R. *802.11 Demystified*. New York: McGraw-Hill, 2002.

OHAR99 Ohara, B., y Petrick, A. *IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion*. New York: IEEE Press, 1999.

PAHL95 Pahlavan, K.; Probert, T., y Chase, M. «Trends in Local Wireless Networks.» *IEEE Communications Magazine*, marzo 1995.

SHOE02 Shoemake, M. «IEEE 802.11g Jells as Applications Mount.» *Communications System Design*, abril 2002. [www.commsdesign.com](http://www.commsdesign.com).



### SITIOS WEB RECOMENDADOS

- **Asociación de LAN Inalámbricas (*Wireless LAN Alliance*):** proporciona una introducción a la tecnología, incluyendo una discusión sobre consideraciones de implementación y casos de estudio particulares de usuarios. Contiene enlaces a sitios relacionados.
- **Grupo de Trabajo de LAN Inalámbricas IEEE 802.11 (*The IEEE 802.11 Wireless LAN Working Group*):** contiene los documentos del grupo de trabajo y archivos sobre las discusiones.
- **Alianza Wi-Fi (*Wi-Fi Alliance*):** grupo de industrias que promociona la interoperabilidad entre productos 802.11 y entre éstos con Ethernet.

**17.7. TÉRMINOS CLAVE Y CUESTIONES DE REPASO****TÉRMINOS CLAVE**

acceso nómada	LAN de espectro expandido
conjunto básico de servicios (BSS)	LAN inalámbrica
conjunto extendido de servicios (ESS)	LAN de infrarrojos
extensión de redes LAN	LAN de microondas de banda estrecha
función de coordinación	modulación por código complementario (CCK)
función de coordinación distribuida (DCF)	punto de acceso (AP)
función de coordinación puntual (PCF)	secuencia de Barker
funcionamiento en redes <i>ad-hoc</i>	sistema de distribución (DS)

**CUESTIONES DE REPASO**

- 17.1. Enumere y defina brevemente cuatro áreas de aplicación para las LAN inalámbricas.
- 17.2. Enumere y defina brevemente los requisitos clave para las LAN inalámbricas.
- 17.3. ¿Qué diferencia existe entre una LAN inalámbrica de celda única y una de celdas múltiples?
- 17.4. Enumere algunas de las principales ventajas de las LAN de infrarrojos.
- 17.5. Enumere algunas de las principales desventajas de las LAN de infrarrojos.
- 17.6. Enumere y defina brevemente tres técnicas de transmisión utilizadas en LAN de infrarrojos.
- 17.7. ¿Qué diferencia hay entre un punto de acceso y un portal?
- 17.8. ¿Un sistema de distribución es una red inalámbrica?
- 17.9. Enumere y defina brevemente los servicios de IEEE 802.11.
- 17.10. ¿Cómo se relaciona el concepto de asociación con el de movilidad?