



# REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS SEGÚN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11

*Miquel Oliver, Ana Escudero*

*Grupo de Comunicaciones Móviles y de Banda Ancha  
Departamento de Matemática Aplicada i Telemática (DMAT)  
Universidad Politécnica de Catalunya.*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un crecimiento espectacular en lo referente al desarrollo y aceptación de las comunicaciones móviles y en concreto de las redes de área local (Wireless LANs). La función principal de este tipo de redes es la proporcionar conectividad y acceso a las tradicionales redes cableadas (Ethernet, Token Ring...), como si de una extensión de éstas últimas se tratara, pero con la flexibilidad i movilidad que ofrecen las comunicaciones inalámbricas. El momento decisivo para la consolidación de estos sistemas fue la conclusión del estándar IEEE 802.11 el pasado mes de junio de 1997. En este estándar se encuentran las especificaciones tanto físicas como a nivel MAC que hay que tener en cuenta a la hora de implementar una red de área local inalámbrica. Otro de los estándares definidos y que trabajan en este mismo sentido es el ETSI HIPERLAN. En este trabajo nos centraremos en el estudio del primero, el estándar IEEE 802.11.

*Los sistemas WLAN no pretenden  
sustituir a las tradicionales redes  
cableadas, sino más bien  
complementarlas.*

---

La idea que queremos resaltar es que los sistemas WLAN no pretenden sustituir a las tradicionales redes cableadas, sino más bien complementarlas. En este sentido el objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas. El presente trabajo está estructurado tal y como se indica a continuación: en la sección II se presentan los sistemas WLAN mediante algunas definiciones y una breve reseña histórica. A continuación, en la sección III, hacemos una descripción de las tecnologías que actualmente se utilizan en la fabricación de estos productos. La sección IV la dedicamos a las configuraciones de redes inalámbricas que podemos encontrar habitualmente. En la sección V nos centramos en el nivel MAC del estándar IEEE 802.11 y hacemos una breve descripción del algoritmo de acceso que se utiliza en este

nivel: el algoritmo CSMA/CA. Finalmente, en la sección VI, resumimos brevemente los puntos tratados a lo largo del artículo.

## II. GENERALIDADES SOBRE REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS

### A. Definición de Red de Área Local Inalámbrica

Una red de área local inalámbrica puede definirse como a una red de alcance local que tiene como medio de transmisión el aire.

Por red de área local entendemos una red que cubre un entorno geográfico limitado, con una velocidad de transferencia de datos relativamente alta (mayor o igual a 1 Mbps tal y como especifica el IEEE), con baja tasa de errores y administrada de forma privada.

Por red inalámbrica entendemos una red que utiliza ondas electromagnéticas como medio de transmisión de la información que viaja a través del canal inalámbrico enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red. Estos enlaces se implementan básicamente a través de tecnologías de microondas y de infrarrojos. En las redes tradicionales cableadas esta información viaja a través de cables coaxiales, pares trenzados o fibra óptica.

Una red de área local inalámbrica, también llamada wireless LAN (WLAN), es un sistema flexible de comunicaciones que puede implementarse como una extensión o directamente como una alternativa a una red cableada.

Este tipo de redes utiliza tecnología de radiofrecuencia minimizando así la necesidad de conexiones cableadas. Este hecho proporciona al usuario una gran movilidad sin perder conectividad. El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado. Aún así, debido a que sus prestaciones son menores en lo referente a la velocidad de transmisión que se sitúa entre los 2 y los 10 Mbps frente a los 10 y hasta los 100 Mbps ofrecidos por una red convencional, las redes inalámbricas son la alternativa ideal para hacer llegar una red tradicional a lugares donde



el cableado no lo permite, y en general las WLAN se utilizarán como un complemento de las redes fijas.

## B. Aplicaciones de los sistemas WLAN

Las aplicaciones más típicas de las redes de área local que podemos encontrar actualmente son las siguientes:

- Implementación de redes de área local en edificios históricos, de difícil acceso y en general en entornos donde la solución cableada es inviable.
- Posibilidad de reconfiguración de la topología de la red sin añadir costes adicionales. Esta solución es muy típica en entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible que se adapte a estos cambios.
- Redes locales para situaciones de emergencia o congestión de la red cableada.
- Estas redes permiten el acceso a la información mientras el usuario se encuentra en movimiento. Habitualmente esta solución es requerida en hospitales, fábricas, almacenes...
- Generación de grupos de trabajo eventuales y reuniones ad-hoc. En estos casos no valdría la pena instalar una red cableada. Con la solución inalámbrica es viable implementar una red de área local aunque sea para un plazo corto de tiempo.
- En ambientes industriales con severas condiciones ambientales este tipo de redes sirve para interconectar diferentes dispositivos y máquinas.
- Interconexión de redes de área local que se encuentran en lugares físicos distintos. Por ejemplo, se puede utilizar una red de área local inalámbrica para interconectar dos o más redes de área local cableadas situadas en dos edificios distintos.

## C. Breve reseña histórica

Las redes de área local inalámbricas funcionan desde hace más de quince años en entornos industriales y de investigación.

Este tipo de redes se implementó por primera vez en el año 1979. La casa IBM Suiza, utilizó enlaces infrarrojos creando una red de área local en una fábrica. Posteriormente se utilizaron implementaciones basadas en tecnologías de microondas según los esquemas de transmisión de espectro ensanchado.

En marzo de 1985 la Comisión Federal de Comunicaciones, FCC, organismo encargado de la regulación de las telecomunicaciones en Estados Unidos, asignó a los sistemas WLAN las bandas frecuenciales 902-928 MHz., 2.400-2.4835 GHz. y 5.725-5.850 GHz también conoci-

das como ISM (Industrial, Científica y Médica) y que pueden utilizarse bajo licencia administrativa. Esta asignación de una localización frecuencial fija propició una mayor actividad industrial. En este punto las redes de área local inalámbrica dejaron de ser meramente experimentales para empezar a introducirse en el mercado. Entre los años 1985 y 1990 se trabajó en el desarrollo de productos WLAN y finalmente, en mayo de 1991, se publicaron algunos trabajos que hablaban sobre redes inalámbricas que superaban la velocidad de transferencia de 1 Mbps velocidad mínima a partir de la cual el comité IEEE considera que una red es de área local.

Hasta ese momento las WLAN habían tenido una aceptación marginal en el mercado por dos razones fundamentales: falta de un estándar y precios elevados de la solución inalámbrica.

En estos últimos años se ha producido un crecimiento en el mercado de hasta un 100 % anual. Este hecho es atribuible a dos razones principales:

- El desarrollo del mercado de los equipos portátiles y de las comunicaciones móviles que han producido que los usuarios puedan estar en continuo movimiento manteniendo comunicación constante con otros terminales y elementos de la red. En este sentido, las comunicaciones inalámbricas ofrecen una prestación no disponible en las redes cableadas: movilidad y acceso simultáneo a los recursos de la red.
- La conclusión de la definición de la norma IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas el pasado junio de 1997 que ha establecido un punto de referencia y ha mejorado muchos de los aspectos de estas redes.

## III. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN LAS REDES INALÁMBRICAS

### A. Tecnologías de espectro ensanchado

La tecnología de espectro ensanchado consiste en difundir la señal de información a lo largo del ancho de banda disponible, es decir, en vez de concentrar la energía de las señales alrededor de una portadora concreta lo que se hace es repartirla por toda la banda disponible. Este ancho de banda total se comparte con el resto de usuarios que trabajan en la misma banda frecuencial.

Existen dos tipos de tecnologías de espectro ensanchado:

- Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)
- Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (FHSS)

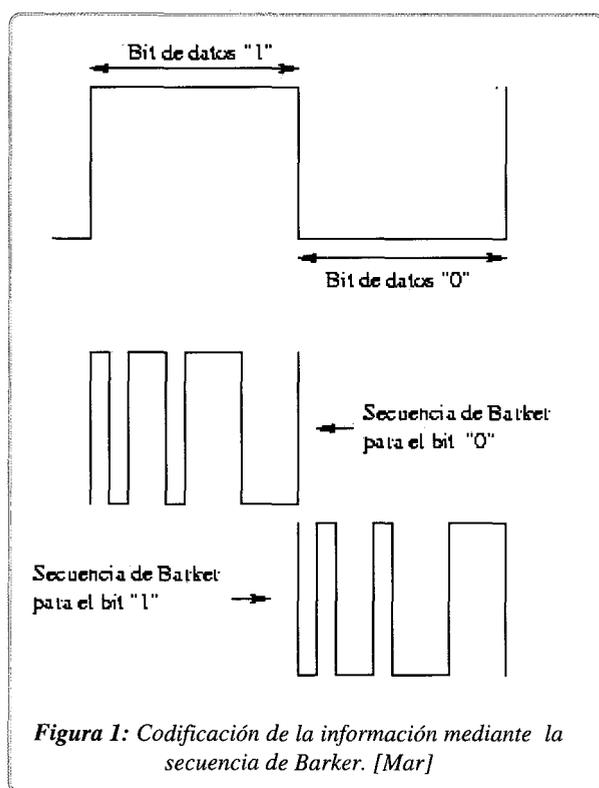
## A.1 Tecnología de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

Esta técnica consiste en la generación de un patrón de bits redundante llamado *señal de chip* para cada uno de los bits que componen la señal de información y la posterior modulación de la señal resultante mediante una portadora de RF. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la señal de información original.

La secuencia de bits utilizada para modular cada uno de los bits de información es la llamada secuencia de Barker y tiene la siguiente forma:

+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1

En la Figura 1 mostramos el aspecto de una señal de dos bits a la cual le hemos aplicado la secuencia de Barker.



DSSS tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal de información una vez se sobrepone la señal de *chip* tal y como especifica el estándar IEEE 802.11: la modulación DBPSK, Differential Binary Phase Shift Keying y la modulación DQPSK, Differential Quadrature Phase Shift Keying proporcionando unas velocidades de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

En el caso de Estados Unidos y de Europa la tecnología de espectro ensanchado por secuencia directa, DSSS, opera en el rango que va desde los 2.4

GHz hasta los 2.4835 GHz, es decir, con un ancho de banda total disponible de 83.5 MHz. Este ancho de banda total se divide en un total de 14 canales con un ancho de banda por canal de 5 MHz de los cuales cada país utiliza un subconjunto de los mismos según las normas reguladoras para cada caso particular. En el caso de España se utilizan los canales 10 y 11 ubicados en una frecuencia central de 2.457 GHz y 2.462 GHz respectivamente.

En topologías de red que contengan varias celdas, ya sean solapadas o adyacentes, los canales pueden operar simultáneamente sin apreciarse interferencias en el sistema si la separación entre las frecuencias centrales es como mínimo de 30 MHz. Esto significa que de los 83.5 MHz de ancho de banda total disponible podemos obtener un total de 3 canales independientes que pueden operar simultáneamente en una determinada zona geográfica sin que aparezcan interferencias en un canal procedentes de los otros dos canales. Esta independencia entre canales nos permite aumentar la capacidad del sistema de forma lineal con el número de puntos de acceso operando en un canal que no se esté utilizando y hasta un máximo de tres canales. En el caso de España esta extensión de capacidad no es posible debido a que no existe el ancho de banda mínimo requerido (la información sobre la distribución de las frecuencias en distintas regiones del mundo se encuentra disponible en el estándar IEEE 802.11).

## A.2 Tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS)

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* y inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

Cada una de las transmisiones a una frecuencia concreta se realiza utilizando una portadora de banda estrecha que va cambiando (saltando) a lo largo del tiempo. Este procedimiento equivale a realizar una partición de la información en el dominio temporal.

El orden en los saltos en frecuencia que el emisor debe realizar viene determinado según una secuencia pseudoaleatoria que se encuentra definida en unas tablas que tanto el emisor como el receptor deben conocer. La ventaja de estos sistemas frente a los sistemas DSSS es que con esta tecnología podemos tener más de un punto de acceso en la misma zona geográfica sin que existan interferencias si se cumple

que dos comunicaciones distintas no utilizan la misma frecuencia portadora en un mismo instante de tiempo.

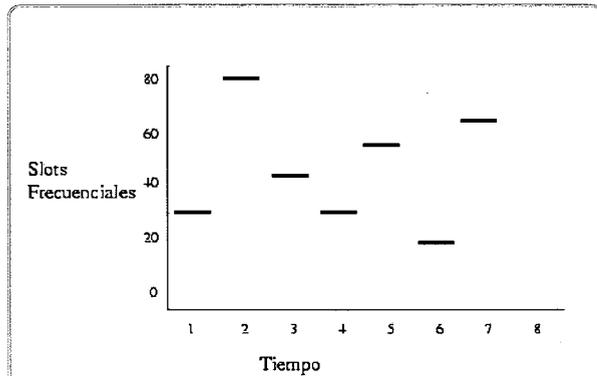


Figura 2: Modo de trabajo de la técnica FHSS, [Mar]

Si se mantiene una correcta sincronización de estos saltos entre los dos extremos de la comunicación el efecto global es que aunque vamos cambiando de canal físico con el tiempo se mantiene un único canal lógico a través del cual se desarrolla la comunicación.

Para un usuario externo a la comunicación la recepción de una señal FHSS equivale a la recepción de ruido impulsivo de corta duración.

El estándar IEEE 802.11 describe esta tecnología mediante la modulación en frecuencia FSK, Frequency Shift Keying, y con una velocidad de transferencia de 1 Mbps ampliable a 2Mbps bajo condiciones de operación óptimas también especificadas en la rma.

### B. Tecnología de infrarrojos

Una tercera tecnología, de momento no demasiado utilizada a nivel comercial para implementar WLANs, es la de infrarrojos. Los sistemas de infrarrojos se sitúan en altas frecuencias, justo por debajo del rango de frecuencias de la luz visible. Las propiedades de los infrarrojos son, por tanto, las mismas que tiene la luz visible. De esta forma los infrarrojos no pueden pasar a través de objetos opacos pero se pueden reflejar en determinadas superficies.

Las longitudes de onda de operación se sitúan alrededor de los 850-950 nm, es decir, a unas frecuencias de emisión que se sitúan entre los  $3,15 \cdot 10^{14}$  Hz y los  $3,52 \cdot 10^{14}$  Hz.

Los sistemas que funcionan mediante infrarrojos se clasifican según el ángulo de apertura con el que se emite la información en el emisor en:

- Sistemas de corta apertura, de haz dirigido o de visibilidad directa que funcionan de manera similar a los mandos a distancia de los aparatos de televisión.

Esto supone que el emisor y el receptor tienen que estar orientados adecuadamente antes de empezar a transmitirse información.

- Sistemas de gran apertura, reflejados o de difusión que radian tal y como lo haría una bombilla, permitiendo el intercambio de información en un rango más amplio.

La norma IEEE 802.11 especifica dos modulaciones para esta tecnología: la modulación 16 ppm y la modulación 4 ppm proporcionando unas velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps respectivamente.

Esta tecnología se aplica típicamente en entornos de interior para implementar enlaces punto a punto de corto alcance o redes locales en entornos muy localizados como puede ser una aula concreta o un laboratorio.

## IV. CONFIGURACIONES WLAN

El grado de complejidad de una red de área local inalámbrica es variable, dependiendo de las necesidades a cubrir y en función de los requerimientos del sistema que queramos implementar podemos utilizar diversas configuraciones de red.

### A. Peer to peer o redes ad-hoc

La configuración más básica es la llamada *de igual a igual* o *ad-hoc* y consiste en una red de dos terminales móviles equipados con la correspondiente tarjeta adaptadora para comunicaciones inalámbricas. En la figura 3 mostramos un ejemplo. Para que la comunicación entre estas dos estaciones sea posible hace falta que se vean mutuamente de manera directa, es decir, que cada una de ellas esté en el rango de cobertura radioeléctrica de la otra. Las redes de tipo *ad-hoc* son muy sencillas de implementar y no requieren ningún tipo de gestión administrativa.

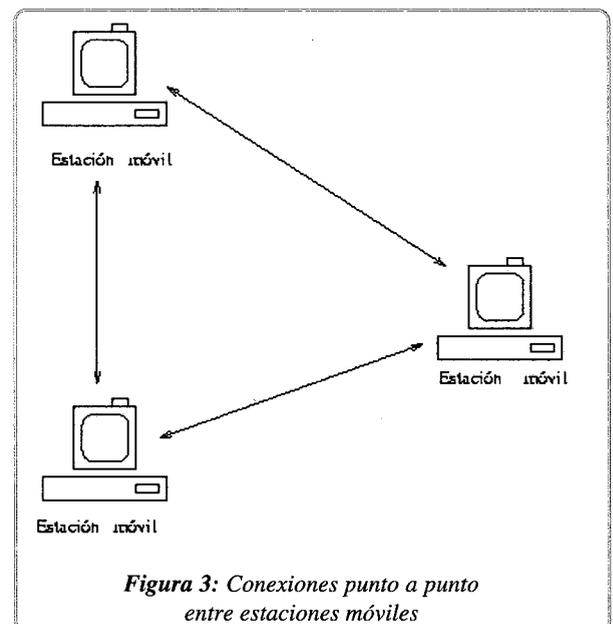


Figura 3: Conexiones punto a punto entre estaciones móviles

## B. Extensión de las celdas básicas

Para aumentar el alcance de una red del tipo anterior hace falta la instalación de un *punto de acceso*. Con este nuevo elemento doblamos el alcance de la red inalámbrica (ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre cada estación y el punto de acceso). En la figura 4 mostramos un ejemplo. Además, los *puntos de acceso* se pueden conectar a otras redes, y en particular a una red fija, con lo cual un usuario puede tener acceso desde su terminal móvil a otros recursos.

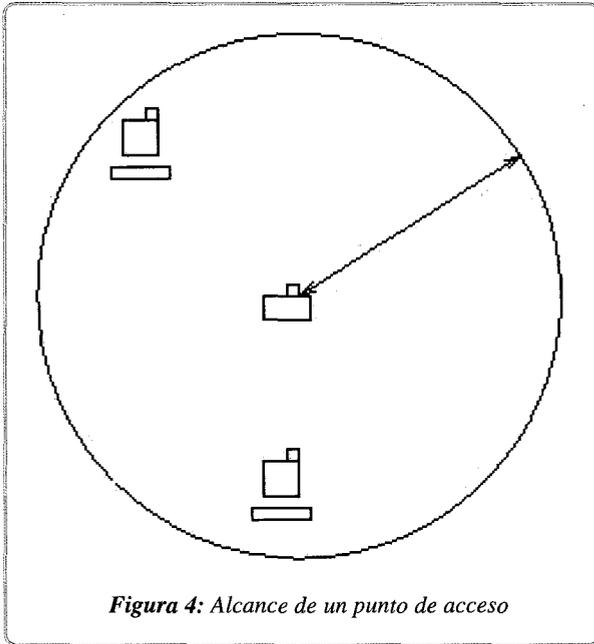


Figura 4: Alcance de un punto de acceso

Para dar cobertura en una zona determinada habrá que instalar varios puntos de acceso de tal manera que podamos cubrir la superficie necesaria con las celdas de cobertura que proporciona cada punto de acceso y ligeramente solapadas para permitir el paso de una celda a otra sin perder la comunicación.

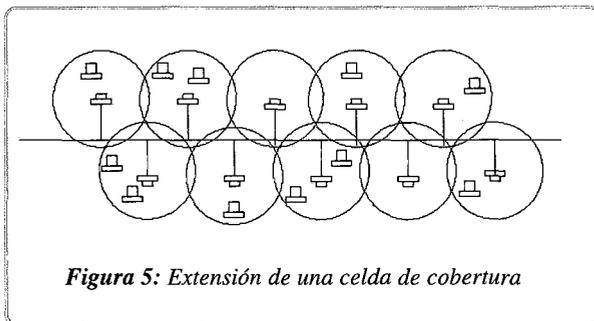


Figura 5: Extensión de una celda de cobertura

## C. Enlace entre varias LAN

Para finalizar, otra de las configuraciones de red posibles es la que incluye el uso de antenas direccionales. El objetivo de estas antenas direccionales es el de enlazar redes que se encuentran situadas geográficamente en sitios distintos tal y como se muestra en la figura 6. Un

ejemplo de esta configuración lo tenemos en el caso en que tengamos una red local en un edificio y la queramos extender a otro edificio. Una posible solución a este problema consiste en instalar una antena direccional en cada edificio apuntándose mutuamente. A la vez, cada una de estas antenas está conectada a la red local de su edificio mediante un punto de acceso. De esta manera podemos interconectar las dos redes locales.

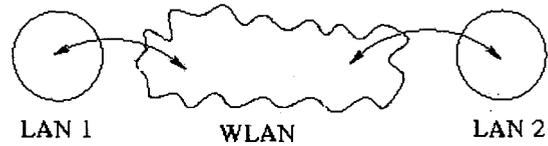


Figura 6: Enlace entre LANs

## V. ALGORITMO DE ACCESO MAC

El comité IEEE ha definido un conjunto de estándares para el acceso a las redes de área local. Los diferentes métodos de acceso de la familia IEEE 802 están diseñados según el modelo de referencia OSI y se encuentran ubicados en el nivel físico y en la parte inferior del nivel de enlace o subnivel MAC.

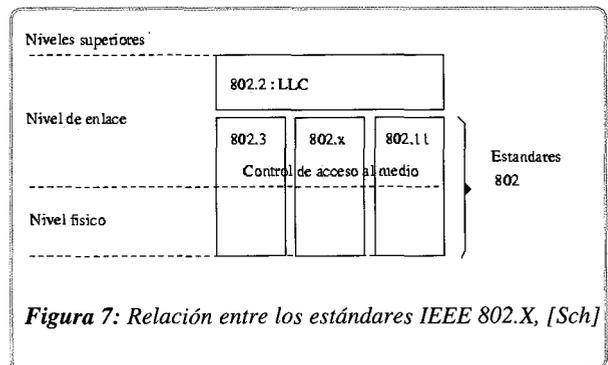


Figura 7: Relación entre los estándares IEEE 802.X, [Sch]

## A. Arquitectura del subnivel MAC

La arquitectura MAC del estándar 802.11 se compone de dos funcionalidades básicas: la Función de Coordinación Puntual (PCF) y la Función de Coordinación Distribuida (DCF).

Definimos *función de coordinación* como la funcionalidad que determina, dentro de un conjunto básico de servicios (BSS), cuándo una estación puede transmitir y/o recibir unidades de datos de protocolo a nivel MAC a través del medio inalámbrico.

En el nivel inferior del subnivel MAC se encuentra la función de coordinación distribuida y su funcionamiento se basa en técnicas de acceso aleatorias de contienda por el medio. El tráfico que se transmite bajo esta funcionalidad es de carácter asíncrono ya que estas técnicas de contienda introducen retardos aleatorios y no predecibles no tolerados por los servicios síncronos. El algoritmo básico de acceso a este nivel es muy similar al

implementado en el estándar IEEE 802.3 y es el llamado CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Este algoritmo funciona tal y como describimos a continuación:

- 1.- Antes de transmitir información una estación debe testear el medio, o canal inalámbrico, para determinar su estado (libre / ocupado).
- 2.- Si el medio no está ocupado por ninguna otra trama la estación ejecuta una espera adicional llamada *espaciado entre tramas* (IFS).
- 3.- Si durante este intervalo temporal, o bien ya desde el principio, el medio se determina ocupado, entonces la estación debe esperar hasta el final de la transacción actual antes de realizar cualquier acción.
- 4.- Una vez finaliza esta espera debida a la ocupación del medio la estación ejecuta el llamado algoritmo de Backoff, según el cual se determina una espera adicional y aleatoria escogida uniformemente en un intervalo llamado *ventana de contienda* (CW). El algoritmo de Backoff nos da un número aleatorio y entero de ranuras temporales (slot time) y su función es la de reducir la probabilidad de colisión que es máxima cuando varias estaciones están esperando a que el medio quede libre para transmitir.
- 5.- Mientras se ejecuta la espera marcada por el algoritmo de Backoff se continua escuchando el medio de tal manera que si el medio se determina libre durante un tiempo de al menos IFS esta espera va avanzando temporalmente hasta que la estación consume todas las ranura temporales asignadas. En cambio, si el medio no permanece libre durante un tiempo igual o superior a IFS el algoritmo de Backoff queda suspendido hasta que se cumpla esta condición.

Por encima de la funcionalidad DCF se sitúa la función de coordinación puntual, PCF, asociada a las transmisiones libres de contienda que utilizan técnicas de acceso deterministas. El estándar IEEE 802.11, en concreto, define una técnica de interrogación circular desde el punto de acceso para este nivel. Esta funcionalidad está pensada para servicios de tipo síncrono que no toleran

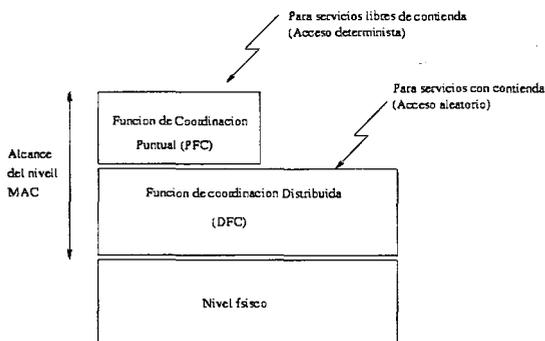


Figura 8: Arquitectura IEEE 802.11 de niveles 1 y 2 [Sta]

retardos aleatorios en el acceso al medio. En la figura 8 mostramos la relación entre estos dos modos de operación.

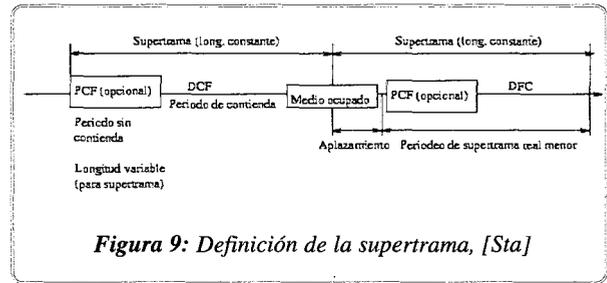


Figura 9: Definición de la supertrama, [Sta]

Estos dos métodos de acceso pueden operar conjuntamente dentro de una misma celda o conjunto básico de servicios dentro de una estructura llamada *supertrama*. Una parte de esta *supertrama* se asigna al periodo de contienda permitiendo al subconjunto de estaciones que lo requieran transmitir bajo mecanismos aleatorios. Una vez finaliza este periodo el punto de acceso toma el medio y se inicia un periodo libre de contienda en el que pueden transmitir el resto de estaciones de la celda que utilizan técnicas deterministas.

## VI. RESUMEN

En este artículo hemos tratado los siguientes puntos:

- Aspectos generales sobre los sistemas WLAN. Hemos dado una definición de lo que entendemos por red de área local inalámbrica, hemos resaltado las aplicaciones típicas y hemos dado una breve reseña histórica.
- Tecnologías utilizadas actualmente en la implementación de las WLAN. En concreto nos hemos centrado en las tecnologías que se especifican en el estándar IEEE 802.11 y que son: las tecnologías DSSS y FHSS de espectro ensanchado y la tecnología de infrarrojos.
- Otro de los puntos que hemos tratado ha sido la arquitectura de los sistemas WLAN y las configuraciones que podemos encontrar en una red de este tipo: redes de tipo ad-hoc, extensión de celdas básicas y enlace entre varias LANs.
- Finalmente hemos descrito el subnivel MAC del nivel de enlace, i en concreto el algoritmo de acceso al medio CSMA/CA.

## VII. REFERENCIAS

- [I11] IEEE 802.11, Wireless LAN MAC and Physical Layer Specifications. Editors of IEEE, juny 1997.
- [Mar] Michael M. Martin, Wireless Local Area Networks, <http://www.csm.ohio.edu/comt391w/mmartin/final.html>
- [Sch] Mischa Schwartz, Redes de Telecomunicaciones, Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, México 1994
- [Sta] William Stallings, Comunicaciones y redes de computadoras, Prentice Hall, 1997
- [WLA] Wireless LAN Alliance, <http://www.wlana.com>