

# Redes Inalámbricas

# IEEE 802.11

**Olga García Galende**  
EUITIO  
Equipos y Sistemas de Transmisión



# ÍNDICE

<b>1. ¿Qué es una WLAN.....</b>	<b>2</b>
1.1. Introducción.....	2
1.2. Orígenes.....	3
1.3. Porqué de su uso: Ventajas e Inconvenientes.....	4
1.4. Ámbito de aplicación.....	4
<b>2. Implantación: Topologías y configuraciones.....</b>	<b>5</b>
2.1. Ad-Hoc.....	5
2.2. Infraestructura.....	7
2.3. Otras configuraciones.....	9
2.3.1. Interconexión de redes.....	9
2.3.2. Puntos de extensión.....	10
2.4. Conclusiones.....	10
<b>3. Capa Física.....</b>	<b>10</b>
3.1. Radiofrecuencia.....	11
Factores que influyen en la comunicación RF.....	11
3.1.1. Pérdida de camino.....	11
3.1.2. Interferencia del canal adyacente.....	12
3.1.3. Multicamino.....	12
Esquemas de transmisión LAN por RF.....	13
3.1.4. DSSS. Modulación.....	14
3.1.5. FHSS. Modulación.....	17
3.2. Infrarrojos.....	20
3.2.1. Clasificación.....	21
3.2.2. Capas y Protocolos.....	22
3.2.3. Dispositivos.....	23
3.2.4. Topologías.....	24
<b>4. Capa MAC.....</b>	<b>26</b>
4.1. Mecanismos de acceso.....	27
4.2. Seguridad.....	32
4.3. Funcionalidad adicional.....	33
<b>5. Normativa.....</b>	<b>34</b>
5.1. 802.11 (IEEE).....	34
5.2. HIPERLAN (ETSI).....	36
<b>6. Aspectos importantes en redes inalámbricas.....</b>	<b>38</b>
<b>7. Hardware.....</b>	<b>42</b>
7.1. Clientes.....	42
7.2. Puntos de Acceso.....	42
7.3. Antenas.....	43
7.4. Accesorios.....	43
7.5. Puentes.....	44
7.6. Bricolaje.....	44
<b>8. Software.....</b>	<b>44</b>
<b>9. Aplicaciones.....</b>	<b>45</b>
<b>10. Conclusión.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48</b>

# 1. ¿Qué es una WLAN?

## 1.1 Introducción.

El término WLAN es una acepción inglesa cuyas siglas se corresponden con *Wireless Local Area Network*, o lo que es lo mismo en castellano **Redes de Área Local Inalámbricas**. Este tipo de redes nos proporciona un sistema de comunicación muy flexible al eliminar por completo la utilización de cables, a diferencia de las otras LAN, si bien las WLAN no intentan sustituir por completo al resto de LAN sino que se suelen utilizar como complemento a estas.

Las redes inalámbricas permiten una mayor movilidad por parte de los usuarios, ya que no es necesario estar enganchado a la red física, sino que podemos desplazar nuestro equipo a diferentes lugares atendiendo así nuestras necesidades. Estas redes están alcanzando un gran auge en campos como en el de la medicina, ventas al por menor, manufacturación, almacenes, corporaciones, etc., de modo que se transmite la información en tiempo real a un procesador central.

De todas formas, y a pesar de las restricciones técnicas que presentan este tipo de redes, ya que no funcionan a velocidades muy elevadas, ni se espera que lo hagan, aún se cree que lo mejor en cuanto a su utilización esta todavía por llegar.

Una red de área local o WLAN (Wireless LAN) utiliza **ondas electromagnéticas** (radio e infrarrojo) para enlazar, mediante un adaptador, los equipos conectados a la red, en lugar de los cables coaxiales, UTP o fibra óptica que se utilizan en las LAN convencionales cableadas (Ethernet, Token Ring, ...).



Fig. 1: Ejemplo de red inalámbrica sencilla

Las redes locales inalámbricas más que una sustitución de las LAN convencionales son una **extensión** de las mismas, ya que permite el intercambio de información entre los distintos medios en una forma transparente al usuario. 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.

Enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red. 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 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. En general las WLAN se utilizarán como complemento de las redes fijas.

## 1.2 Orígenes.

El origen de las LAN inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en **1979** de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología. Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas. En mayo de 1985 el FCC<sup>3</sup> (Federal Communications Commission) asignó las bandas IMS<sup>4</sup> (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en spread spectrum.

La asignación de una banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria: ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN. Hasta ese momento las WLAN habían tenido una aceptación marginal en el mercado por dos razones fundamentales: falta de un estándar y los precios elevados de una solución inalámbrica.

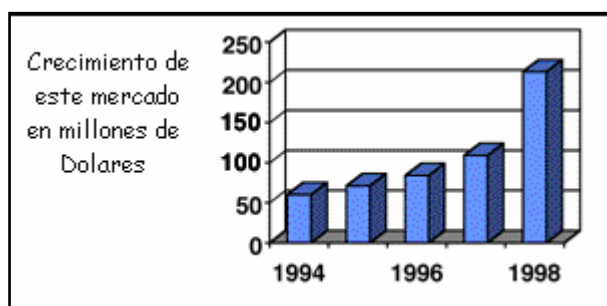


Fig. 2: Crecimiento del mercado

Sin embargo, se viene produciendo estos últimos años un crecimiento explosivo en este mercado (de hasta un 100% anual). Y esto es debido a distintas razones:

- El desarrollo del mercado de los equipos portátiles y de las comunicaciones móviles.
- La conclusión de la norma IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas que ha establecido un punto de referencia y ha mejorado en muchos aspectos de estas redes.

### 1.3 El porqué de su uso. Ventajas y desventajas.

En la actualidad, prácticamente todos los negocios, necesitan de una red de comunicación, por lo tanto parece sencillo comprender que si esta comunicación se realiza sin una conexión física, esto hará que compartir información sea mucho más cómodo y además nos permita una mayor movilidad de los equipos. Esta movilidad se observa claramente cuando se desea cambiar la colocación de los equipos en una oficina conectada a una red por medio de cables. Este cambio provocaría tener que redistribuir la colocación de los cables en dicha oficina. Sin embargo con una red inalámbrica este trabajo no sería necesario realizarlo.

Las redes inalámbricas presentan las siguientes ventajas:

- La **movilidad** que presenta este tipo de redes permiten obtener información en tiempo real en cualquier parte de la organización o empresa para todo el usuario de la red. Esta obtención de la información en tiempo real supondrá una mayor productividad a la empresa y más posibilidades de servicio.
- La **facilidad de la instalación** de este tipo de redes supone una importante ventaja en el momento de elegir esta red. En su instalación no se requiere realizar obras para tirar el cable por muros y techos.
- Otro aspecto importante de las redes inalámbricas es la **flexibilidad** de su uso, ya que estas nos van a permitir llegar donde el cable no puede. Por ejemplo podemos estar en la playa con nuestro portátil, y conectados a nuestra red inalámbrica.
- Cuando en la organización de la red se producen frecuentes cambios o el entorno es muy dinámico, el coste inicial más alto de las redes inalámbricas, a la larga tendrá su **reducción de costes**, además de tener mayor tiempo de vida y menor gasto en la instalación.
- Otra importante ventaja es la escalabilidad que presentan estas redes en cuanto a que los **cambios en la topología** de la red se realizan de forma sencilla y se tratan igual en redes grandes que en redes pequeñas.

Pero como todo en esta vida también tiene una serie de desventajas:

- El **elevado coste inicial** provoca en los usuarios un alejamiento para su uso en entornos profesionales. Este coste inicial se ve aún más reflejado en el bajo coste de muchas de las redes de cable.
- Las **bajas velocidades de transmisión** que presenta también es otro aspecto negativo para su elección. Dependiendo de la red inalámbrica que escojamos podemos tener velocidades que como máximo van a alcanzar los 10 Mbps.

### 1.4 Ámbito de aplicación.

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.
- En **corporaciones**, en las cuales los empleados se benefician de una red móvil para poder utilizar el correo electrónico, la compartición de archivos, e incluso en la visualización de sitios web, independientemente de dónde se encuentren en la oficina.
- En la **educación**, ya que las instituciones académicas que permiten este tipo de conexión móvil permiten a los usuarios la utilización de ordenadores para conectarse a la red del centro para realizar tutorías con profesores, intercambio de materiales entre los alumnos, etc.
- En el mundo de las **finanzas** también se están haciendo fuerte las redes inalámbricas. Mediante un PC portátil, conectado a una WLAN, los empleados pueden recibir información desde una base de datos en tiempo real y mejorar la velocidad y calidad de los negocios. Los grupos de auditorías contables incrementan su productividad con una rápida puesta a punto de una red.
- En el campo de la **medicina** se están haciendo un hueco las redes inalámbricas, ya que permiten obtener información en tiempo real acerca estado del paciente, incrementando así la productividad y calidad del cuidado del paciente.
- En los ramos de la **hostelería** y de la **venta al por menor**. Por ejemplo los servicios de hostelería pueden utilizar WLAN para enviar los pedidos de comida de la mesa a la cocina. Por otra parte, en los almacenes de ventas al por menor una WLAN se puede utilizar para actualizar de ipso facto los registros de una base de datos para que se desencadenen una serie de eventos especiales.
- En la **manufacturación**, las redes inalámbricas ayudan al enlace entre las estaciones de trabajo de la fábrica con los dispositivos de adquisición de datos de la red inalámbrica de la compañía.
- En **almacenes** se pueden utilizar terminales de datos con lectores de código de barras y enlaces con redes WLAN para introducir datos y así mantener la posición de los palés y cajas. Además una WLAN permite mejorar el seguimiento del inventario y reduce los costes del escrutinio de un inventario físico.
- 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.

## 2. Implantación: Topologías y Configuraciones

La versatilidad, transportabilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología sea tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones ayuda a que este tipo de redes se adapte a casi cualquier necesidad.

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las *redes peer to peer* y las que utilizan *Puntos de Acceso*.

### 2.1 Topología Ad-Hoc. Peer to peer.

También conocidas como **redes *ad-hoc***, es la configuración más sencilla, ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas.

Este tipo de configuración se puede suponer como un conjunto de máquinas portátiles que quieren comunicarse entre si para formar una LAN autónoma. El nombre de ad-hoc se le da porque este tipo de redes se crea por demanda en un determinado instante.

En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible. Por otro lado, estas configuraciones son muy sencillas de implementar y no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red.

Un ejemplo sencillo de esta configuración se muestra en la siguiente ilustración.



Fig. 3: Conexión peer to peer.

Cada máquina tiene únicamente acceso a los recursos de la otra máquina, pero no a un servidor central. Este tipo de configuraciones no requiere administración o preconfiguración y todo el soporte de la red recae en los usuarios.

#### **Descripción general del funcionamiento de la modalidad ad-hoc.**

El modo ad-hoc no tiene dispositivos que controlen la transmisión, solo hay dispositivos inalámbricos presentes, manteniendo una comunicación directa. No hay control sobre operaciones de señalización o sincronización, ni tampoco proporciona la retransmisión de tramas de datos entre estaciones que no se “oyen” mutuamente.

## 2.2 Topología Infraestructura. Punto de Acceso.

Una topología de infraestructura es aquella que extiende una red LAN con cable existente para incorporar dispositivos inalámbricos mediante una estación base, denominada **Punto de Acceso**. El punto de acceso une la red o dispositivos inalámbricos con la red LAN cableada, y sirve de controlador central de los dispositivos inalámbricos. El punto de acceso coordina la transmisión y recepción de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de una extensión específica.

Estas configuraciones utilizan el **concepto de celda**, ya utilizado en otras comunicaciones inalámbricas, como la telefonía móvil. Una *celda* podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión es posible combinar las celdas de estas señales para cubrir de forma casi total un área más extensa.

La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, es la utilización de los *Puntos de acceso*, que funcionan como repetidores, y por tanto son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, ya que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso.

Los *Puntos de acceso* son colocados normalmente en alto, pero solo es necesario que estén situados estratégicamente para que dispongan de la cobertura necesaria para dar servicio a los terminales que soportan.

La extensión y el número de dispositivos dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice y del producto. En general, un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.



Fig. 4: Utilización de un punto de acceso.

En la modalidad de infraestructura puede haber varios puntos de acceso para dar cobertura a una zona grande o un único punto de acceso para una zona pequeña, ya sea un hogar o un edificio pequeño. Es evidente el aumento del alcance de la red utilizando varios puntos de acceso, pues esto proporciona el empleo de varias celdas que colapsan el lugar donde se encuentra la red, permitiendo lo que se conoce como *roaming*, es decir, que los terminales puedan moverse sin pérdidas de cobertura o conexión ni cortes en la comunicación. Esto representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas.

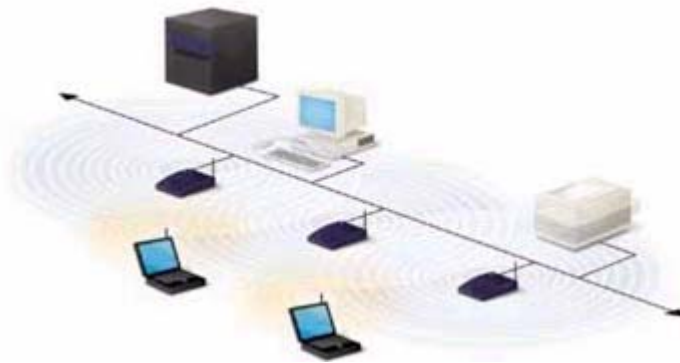


Fig. 5: Utilización de varios puntos de acceso. Terminales con capacidad de *roaming*

#### **Descripción general del funcionamiento de la modalidad infraestructura.**

El portátil o dispositivo inteligente, denominado “estación” en el ámbito de las redes LAN inalámbricas, primero debe identificar los puntos de acceso y las redes disponibles. Este proceso se lleva a cabo mediante el control de las tramas de señalización procedentes de los puntos de acceso que se anuncian a sí mismos o mediante el sondeo activo de una red específica con tramas de sondeo.

La estación elige una red entre las que están disponibles e inicia un proceso de autenticación con el punto de acceso. Una vez que el punto de acceso y la estación se han verificado mutuamente, comienza el proceso de asociación.

La asociación permite que el punto de acceso y la estación intercambien información y datos de capacidad. El punto de acceso puede utilizar esta información y compartirla con otros puntos de acceso de la red para diseminar la información de la ubicación actual de la estación en la red. La estación sólo puede transmitir o recibir tramas en la red después de que haya finalizado la asociación.

En la modalidad infraestructura, todo el tráfico de red procedente de las estaciones inalámbricas pasa por un punto de acceso para poder llegar a su destino en la red LAN con cable o inalámbrica.

El acceso a la red se administra mediante un protocolo que detecta las portadoras y evita las colisiones. Las estaciones se mantienen a la escucha de las transmisiones de datos durante un período de tiempo especificado antes de intentar transmitir (ésta es la parte del protocolo que detecta las portadoras). Antes de transmitir, la estación debe esperar durante un período de tiempo específico después de que la red está despejada. Esta

demora, junto con la transmisión por parte de la estación receptora de una confirmación de recepción correcta, representan la parte del protocolo que evita las colisiones. Observe que, en la modalidad de infraestructura, el emisor o el receptor es siempre el punto de acceso.

Dado que es posible que algunas estaciones no se escuchen mutuamente, aunque ambas estén dentro del alcance del punto de acceso, se toman medidas especiales para evitar las colisiones. Entre ellas, se incluye una clase de intercambio de reserva que puede tener lugar antes de transmitir un paquete mediante un intercambio de tramas "petición para emitir" y "listo para emitir", y un vector de asignación de red que se mantiene en cada estación de la red. Incluso aunque una estación no pueda oír la transmisión de la otra estación, oirá la transmisión de "listo para emitir" desde el punto de acceso y puede evitar transmitir durante ese intervalo.

El proceso de movilidad de un punto de acceso a otro no está completamente definido en el estándar. Sin embargo, la señalización y el sondeo que se utilizan para buscar puntos de acceso y un proceso de reasociación que permite a la estación asociarse a un punto de acceso diferente, junto con protocolos específicos de otros fabricantes entre puntos de acceso, proporcionan una transición fluida.

La sincronización entre las estaciones de la red se controla mediante las tramas de señalización periódicas enviadas por el punto de acceso. Estas tramas contienen el valor de reloj del punto de acceso en el momento de la transmisión, por lo que sirve para comprobar la evolución en la estación receptora. La sincronización es necesaria por varias razones relacionadas con los protocolos y esquemas de modulación de las conexiones inalámbricas.

## 2.3 Otras configuraciones.

### 2.3.1 Interconexión de redes.

Las posibilidades de las redes inalámbricas pueden verse ampliadas gracias a la interconexión con otras redes, sobre todo con redes no inalámbricas. De esta forma los recursos disponibles en ambas redes se amplían.

Mediante el uso de antenas (direccionales u omnidireccionales) es posible conectar dos redes separadas por varios cientos de metros, como por ejemplo dos redes locales situadas en dos edificios distintos. De esta forma, una LAN no inalámbrica se beneficia de la tecnología inalámbrica para realizar interconexiones con otras redes, que de otra forma serían más costosas, o simplemente imposibles.



Fig. 6: Interconexión de redes LAN mediante antenas direccionales.

### 2.3.2 Uso de Puntos de Extensión.

Pero si las configuraciones propuestas hasta ahora no son suficientes para resolver los problemas más particulares y específicos, el diseñador de la red puede optar por usar un Punto de Extensión (EP) para aumentar el número de puntos de acceso a la red. Estas células de extensión actúan como AP a AP, pero no están "enganchados" a la red cableada como ocurre con los Puntos de Acceso propiamente dichos. Los Puntos de Extensión funcionan, como su propio nombre indica, extendiendo el alcance efectivo de la red mediante la retransmisión de las señales de un cliente a un AP o a otro, por qué no, Punto de Extensión. Igualmente, los EP pueden encadenarse para pasar mensajes entre un Punto de Acceso y clientes lejanos de modo que se construye un puente entre ambos.



Fig. 7: Uso de un punto de extensión.

## 2.4 Conclusiones

Tras observar detenidamente las topologías de las redes inalámbricas, se descubre cual es la verdadera potencia de este tipo de redes. Su **flexibilidad** y **versatilidad** justifican perfectamente su existencia, ya que en circunstancias muy concretas (características de edificios, situación geográfica de otras redes o terminales, necesidad de desplazamiento continuo...) las redes inalámbricas son casi la única solución, permitiendo además una gran variedad de configuraciones, desde la más simple (ad-hoc) hasta otras más complejas y con mas posibilidades (infraestructura).

## 3. Capa Física

Se utilizan dos tipos de medios físicos para la instalación de redes inalámbricas: las ondas de radiofrecuencia y las señales ópticas de infrarrojo.

La Capa Física de cualquier red define la modulación y la señalización características de la transmisión de datos.

IEEE 802.11 define tres posibles esquemas para la elección de la capa física:

- Espectro expandido por secuencia directa o **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum).
- Espectro expandido por salto de frecuencias o **FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum) -ambas en la banda de frecuencia 2.4 GHz ISM-.
- Luz **infrarroja** en banda base -o sea sin modular-.

En cualquier caso, la definición de tres capas físicas distintas se debe a las sugerencias realizadas por los distintos miembros del comité de normalización, que han manifestado la necesidad de dar a los usuarios la posibilidad de elegir en función de la relación entre costes y complejidad de implementación, por un lado, y prestaciones y fiabilidad, por otra. No obstante, es previsible que, al cabo de un cierto tiempo, alguna de las opciones acabe obteniendo una clara preponderancia en el mercado. Entretanto, los usuarios se verán obligados a examinar de forma pormenorizada la capa física de cada producto hasta que sea el mercado el que actúe como árbitro final.

### **3.1 Radiofrecuencia.**

Las ondas de radiofrecuencia se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones; entre ellas la difusión de radio y televisión y las redes de telefonía celular. A diferencia de los infrarrojos, las ondas de radio no tienen problemas para propagarse a través de objetos como paredes y puertas, y además los controles que se aplican en el uso del espectro de radio son muy estrictos.

Por otro lado, debido al gran número de aplicaciones existentes en la actualidad, se hace necesaria una asignación oficial para cada una de ellas de una banda de frecuencias específica. Históricamente, esta asignación se hacía a nivel nacional, pero cada vez se están firmando más convenios internacionales que determinan bandas de frecuencia concretas para las aplicaciones que tienen alcance internacional.

Los requisitos para confinar las emisiones de radio a una banda de frecuencia específica y para que los receptores correspondientes sólo seleccionen las señales que caigan en dicha banda implican que, en general, los circuitos asociados a los sistemas basados en radio sean más complejos que los empleados en los sistemas ópticos de infrarrojo. No obstante, el uso tan difundido de radio implica que es imposible llevar a la práctica diseños de sistemas de radio muy complejos con costos razonables.

### **Factores que influyen en la comunicación por radiofrecuencia.**

#### **1.- Pérdida de camino**

En el diseño de todos los receptores de radio se contempla que operen con una relación señal a ruido (SNR) específica; es decir, la razón entre la potencia de la señal recibida y la potencia de la señal de ruido del receptor no debe ser menor que cierto valor especificado. En general, la complejidad (y en consecuencia el costo) del receptor aumentará conforme disminuya la SNR. Por otro lado, la disminución en el costo de los

ordenadores portátiles implica que el costo aceptable de la unidad de interfaz con la red de radio debe ser comparable con el costo de los computadores portátiles. Esto significa que la SNR del receptor de radio se debe fijar en el nivel más alto posible.

La potencia de la señal en el receptor es una función no sólo de la potencia de la señal transmitida, sino también de la distancia entre el transmisor y el receptor. En el espacio libre, la potencia de una señal de radio decae en proporción inversa al cuadrado de la distancia del origen. En interiores, el decaimiento se incrementa todavía más debido, en primer lugar, a la presencia de objetos como muebles y personas y, en segundo lugar, a la interferencia destructiva de la señal transmitida que causan las señales reflejadas en dichos objetos. Todo esto se combina para producir lo que se llama *pérdida de camino* del canal de radio.

Para que un receptor de radio pueda operar con una SNR aceptable, debe trabajar con un nivel de potencia de transmisión tan alto como sea posible o con un alcance de cobertura limitado, o las dos cosas. En la práctica con los computadores portátiles, la potencia de la señal transmitida está limitada por el consumo de potencia de unidad de interfaz con la red de radio, que significa un aumento en la carga sobre la batería del computador. Es por estas razones que el alcance de cobertura de una LAN *ad hoc* suele ser más limitado que el de una LAN de *infraestructura*.

## 2.- Interferencia del canal adyacente

Puesto que la radio se propaga a través de casi cualquier objeto sin mucha atenuación, es posible sufrir interferencia de otros transmisores que estén operando en la misma banda de frecuencias y estén situados en una habitación adyacente dentro del mismo edificio o en otros edificios.

Entonces, en el caso de las redes *ad hoc*, como es posible establecer varias de estas LAN en recintos adyacentes, es preciso adoptar técnicas que permitan la coexistencia de varios usuarios de la misma banda de frecuencia.

En una LAN inalámbrica de *infraestructura*, como la topología es conocida y el área total de cobertura de la red inalámbrica es mucho más amplia el ancho de banda disponible se puede dividir en varias sub-bandas de modo tal que las áreas de cobertura de sub-bandas adyacentes utilicen frecuencias distintas. El esquema general se conoce como **patrón de repetición de tres celdas**, aunque es posible formar patrones más grandes. La proporción del ancho de banda disponible en cada celda se escoge de modo tal que suministre un nivel de servicio aceptable para el número de usuarios activos que se espera estarán dentro de esa área. Esto hace posible aprovechar mejor el ancho de banda disponible y, al asegurar que cualesquiera celdas adyacentes utilicen una frecuencia distinta, también reducirá considerablemente el nivel de interferencia del canal adyacente.

## 3.- Multicamino

Las señales de radio, al igual que las ópticas, sufren el efecto de multicamino; es decir, en cualquier instante dado el receptor recibe múltiples señales que se originan en el mismo transmisor, pero que han seguido caminos distintos desde el transmisor hasta el receptor. A esto se le llama *dispersión multicamino* o *dispersión de retardo*, y hace que las señales asociadas a un bit/símbolo previo interfieran las señales asociadas al siguiente bit/símbolo. Esto recibe el nombre de *interferencia entre símbolos* (ISI). Por supuesto cuanto más alta sea la tasa de bits, y por tanto más corto cada periodo de celda de bit, mayor será el nivel de interferencia entre símbolos.

Además de lo anterior, existe un problema llamado *desvanecimiento selectivo de frecuencias* causado por la variación en las longitudes de camino de las diferentes señales recibidas. Esto produce cambios de fase relativos que, a las frecuencias de radio, pueden hacer que las diversas señales reflejadas atenúen significativamente la señal de camino directo y, en el límite, se cancelen entre sí. Esto se denomina *desvanecimiento de Rayleigh*. En la práctica, la amplitud de la onda reflejada es una fracción de la onda directa, y el grado de atenuación dependerá de la naturaleza del material reflejante. Una solución de este problema aprovecha el hecho de que la longitud de onda asociada a las señales de radiofrecuencia es muy corta, y por tanto es sensible a pequeñas variaciones en la posición de la antena. Con objeto de superar el efecto de desvanecimiento, es común usar dos antenas con una separación física entre ellas igual a una cuarta parte de la longitud de la onda. Las señales recibidas de ambas antenas se combinan para formar la señal recibida compuesta. Esta técnica se conoce como *diversidad espacial*.

Una solución alternativa consiste en valerse de la técnica llamada *ecualización*. Las imágenes retardadas y atenuadas de la señal directa se restan de la señal recibida real. Puesto que las señales reflejadas variarán dependiendo de las ubicaciones del transmisor y del receptor, el proceso tendrá que ser adaptativo. Por ello el circuito empleado se denomina *ecualizador adaptativo*. Por supuesto, emplear tales circuitos elevará el costo del receptor.

### **Esquemas de transmisión de LAN por radiofrecuencia.**

Aunque existen dos tipos de tecnologías que emplean las radiofrecuencias, la banda estrecha y la banda ancha, también conocida como **espectro ensanchado**, ésta última es la que más se utiliza.

En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, el FCC (Federal Communications Commission), la agencia Federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado. Entre ellas, el IEEE 802.11 incluyó en su especificación las frecuencias en torno a 2,4 GHz que se habían convertido ya en el punto de referencia a nivel mundial, la industria se había volcado en ella y está disponible a nivel mundial.

La tecnología de espectro ensanchado, utiliza **todo el ancho de banda disponible**, en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor. Tiene muchas características que le hacen sobresalir sobre otras tecnologías de radiofrecuencias (como la de banda estrecha, que utiliza microondas), ya que, por ejemplo, posee excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias y a sus posibilidades de encriptación. Esta tecnología se hace necesaria porque, para poder coexistir las redes inalámbricas (mediante radiofrecuencia) con distintos dispositivos que utilizan la misma banda para transmitir, se necesita tener un alto nivel de rechazo de interferencia de co-canal. Dichos dispositivos, entre otros, pueden ser: antenas de radioaficionado, calentadores de radiofrecuencia de alta potencia, hornos microondas, teléfonos móviles... Esta, como muchas otras tecnologías, proviene del sector militar.

Existen dos tipos de tecnología de espectro ensanchado:

## 1.- Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)

En esta técnica se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o *PseudoNoise*). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente:

+1 -1 +1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1

En la práctica, la generación de una secuencia binaria pseudoaleatoria es más o menos sencilla ya que se puede producir digitalmente mediante unos cuantos registros de desplazamiento y varias puertas OR exclusiva conectadas en un ciclo de retroalimentación. La secuencia binaria pseudoaleatoria se conoce también como *secuencia de dispersión*, en la que cada bit se conoce como un *chip*, la tasa de bits de transmisión resultante como la *tasa de chip* y el número de bits de la secuencia como el *factor de dispersión*.

Todos los miembros de la misma LAN inalámbrica conocen la secuencia binaria pseudoaleatorio que se está usando. Todas las tramas de datos transmitidas van precedidas por una secuencia de preámbulo seguida de un delimitador de principio de trama. Así, una vez que han demodulado la señal transmitida, todos los receptores buscan primero la secuencia de preámbulo conocida y, una vez que lo encuentran, comienzan a interpretar el flujo de bits recibido según los límites de bit correctos de los datos de origen. A continuación, los receptores esperan la llegada del delimitador de principio de trama y luego proceden a recibir el contenido de la trama. El o los destinatarios están determinados por la dirección de destino en la cabecera de la trama, igual que siempre.

Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Claro está, como todas las estaciones que pertenecen a la misma LAN inalámbrica ocupan la misma banda de frecuencias asignada y utilizan la misma secuencia binaria pseudoaleatoria, sus transmisiones se interferirán mutuamente. Por ello es preciso usar un método de MAC apropiado que asegure que sólo se realizará una transmisión en cualquier momento dado.

Esta secuencia proporciona una *ganancia de procesamiento* de 10 dB de aumento del proceso utilizando un factor de dispersión de 10:1, el cual reúne los requisitos mínimos para las reglas fijadas por la FCC. Si el factor es de 100:1, la ganancia es de 20 dB, y así sucesivamente. En términos de la razón señal a ruido (SNR) la ganancia de procesamiento se resta de la SNR. Por ejemplo, si un sistema sin espectro disperso requiere una SNR de, digamos, 10 dB entonces, con un espectro disperso y una ganancia de procesamiento de 10 dB, el sistema funcionaría satisfactoriamente incluso si la potencia de la señal fuera igual a la potencia del ruido.

A continuación podemos observar como se utiliza la secuencia de *Barker* para codificar la señal original a transmitir:

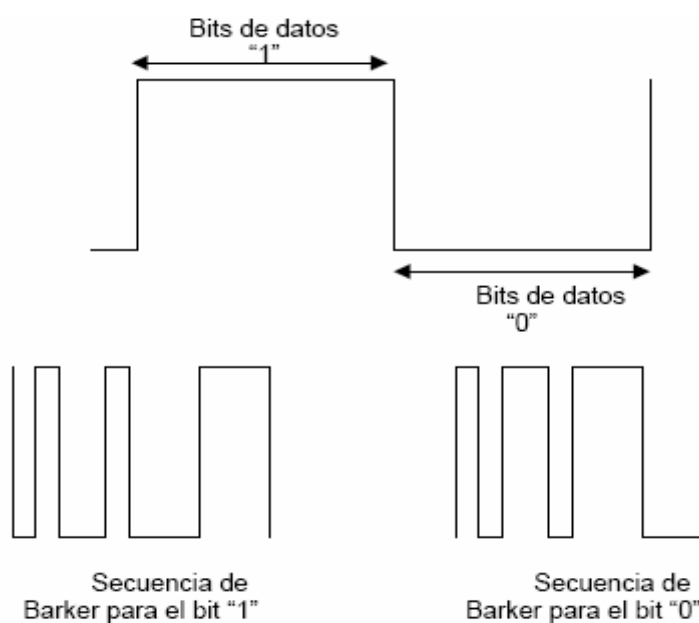


Fig. 8: Codificación de Barker.

### Modulación:

El estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) para la banda de los **2.4 GHz**:

- DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying).
- DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying).

El gran ancho de banda que se requiere en las LANs inalámbricas hace poco recomendables los esquemas de modulación que implican variaciones en la amplitud, ya que los amplificadores de potencia que son lineales dentro de anchos de banda amplios tienen un costo elevado y además consumen una cantidad importante de potencia. Por tanto se emplean esquemas de modulación basados en **variaciones en fase de una sola portadora de amplitud constante**, como la modulación de cambio de fase en cuadratura diferencial (DQPSK) o la modulación de cambio de fase binaria diferencial (DBPSK).

Este tipo de modulación proporciona unas velocidades de transferencia de información de 1 y 2 Mbps respectivamente. Aunque recientemente el IEEE ha revisado el estándar, y en esta nueva revisión conocida como 802.11b, además de otras mejoras en la seguridad, aumenta esta velocidad hasta los 11 Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

La modulación utilizada para la banda de los **5 GHz** se utiliza otro tipo de modulación:

- OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing).

Este tipo de modulación utiliza **múltiples portadoras**. El principio de funcionamiento consiste en dividir primero la señal binaria de alta tasa de bits que se va a transmitir en varios flujos de menor tasa de bits. Después, cada uno de estos flujos modula una subportadora distinta – de la banda de frecuencias asignada – como el esquema de portadora única. La diferencia es que, dada la relativamente baja tasa de bits por portadora, el nivel de ISI se reduce bastante, lo que hace innecesario el empleo de ecualizadores. Aunque no desaparece la posibilidad de que haya desvanecimiento selectivo de frecuencias, es probable que sólo una (o un número pequeño) de las subportadoras resulte afectada. Las técnicas de corrección de errores hacia delante pueden servir para mejorar la VER residual del canal. En la práctica las subportadoras empleadas son múltiplos enteros de la primera subportadora y por ello a este esquema también se le denomina *multiplexión por división ortogonal de frecuencias* (OFDM).

En el caso de Estados Unidos y Europa la tecnología DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,4 GHz hasta los 2,4835 GHz, lo que permite tener un ancho de banda total de 83,5 MHz. Este ancho de banda se subdivide en canales de 5 MHz, lo que hace un total de 14 canales independientes. Cada país está autorizado a utilizar un subconjunto de estos canales. En el caso de España se utilizan los canales 10 y 11, que corresponden a una frecuencia central de 2,457 GHz y 2,462 GHz.

En configuraciones donde existan más de una celda, estas pueden operar simultáneamente y sin interferencias siempre y cuando la diferencia entre las frecuencias centrales de las distintas celdas sea de al menos 30 MHz, lo que reduce a tres el número de canales independientes y funcionando simultáneamente en el ancho de banda total de 83,5 MHz. Esta independencia entre canales nos permite aumentar la capacidad del sistema de forma lineal.

Canal	Frec. U.S.A	Frec. Europa	Frec. Japón
1	2412 MHz	N/A	N/A
2	2417 MHz	N/A	N/A
3	2422 MHz	2422 MHz	N/A
4	2427 MHz	2427 MHz	N/A
5	2432 MHz	2432 MHz	N/A
6	2437 MHz	2437 MHz	N/A
7	2442 MHz	2442 MHz	N/A
8	2447 MHz	2447 MHz	N/A
9	2452 MHz	2452 MHz	N/A
10	2457 MHz	2457 MHz	N/A
11	2462 MHz	2462 MHz	N/A
12	N/A	N/A	2484 MHz

Tabla de frecuencias DSSS

## 2.- Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)

La banda de frecuencias asignada se divide en varias sub-bandas de menor frecuencia llamadas *canales*. Cada canal tiene el mismo ancho de banda, que está determinado por la tasa de bits de datos y el método de modulación empleado. Un transmisor utiliza cada canal durante un periodo corto de tiempo antes de pasar a un canal diferente. Es decir, se transmite una parte de la información en una **determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo** llamada *dwell time* e 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**.

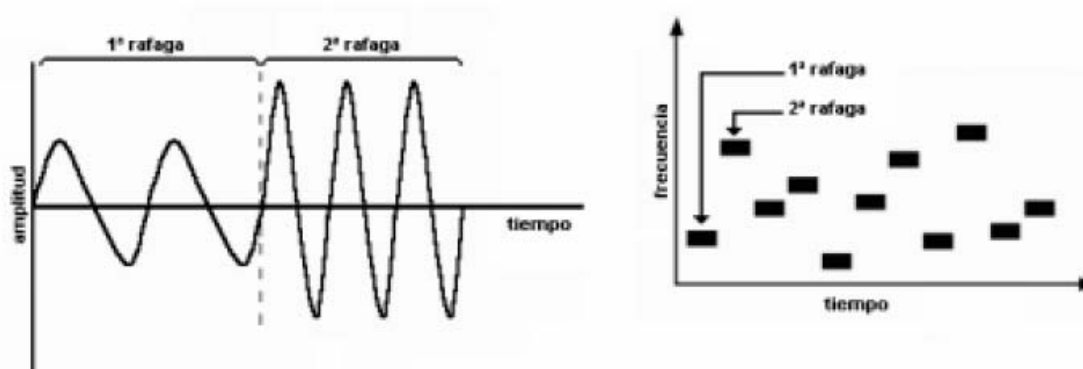


Fig. 9: Gráfica de Codificación con Salto en Frecuencia.

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer.

El patrón de uso del canal es pseudoaleatorio y se denomina *secuencia de salto*; el tiempo que se transmite por cada canal es el *periodo de chip* y la tasa de salto es la *tasa de chip*.

Existen dos métodos de operación por salto de frecuencia que están determinados por la razón entre la tasa de chip y la tasa de datos origen.

Cuando la tasa de chip es más alta que la tasa de datos, el modo operativo se conoce como *salto de frecuencia rápido*, mientras que si la tasa de chip es más baja que la tasa de datos se conoce como salto de frecuencia lento. En ambos casos se utiliza una frecuencia portadora en el centro de cada canal.

El salto de frecuencia tiene una ventaja respecto a la secuencia directa: su capacidad para evitar el empleo de canales seleccionados dentro de la banda de frecuencia global asignada. Ello ofrece una especial utilidad en el caso de las bandas ISM debido a que uno o más fuentes de interferencia de banda angosta de alta potencia pueden estar presentes dentro del campo de cobertura de la LAN. Si bien con la secuencia directa la señal de interferencia queda dispersa sobre la banda de frecuencias asignada, con fuentes de interferencia de alta potencia ésta puede alcanzar de todos modos un nivel de interferencia significativo que, en el límite, puede imposibilitar el uso de ciertas bandas.

En cambio, con el salto de frecuencia, si se sabe que hay una fuente de interferencia en una frecuencia específica, es posible excluir de la secuencia de salto el uso de dicha frecuencia.

Esta técnica resulta especialmente útil en el caso del salto de frecuencia lento, ya que con el salto de frecuencia rápido se realizan varios saltos de frecuencia por cada bit de datos, y por tanto sólo uno de los chips resultará afectado. En tal caso podría tomarse una decisión por mayoría para determinar cuál es el bit de datos transmitido más probable, 0 o 1. Por otro lado, los sistemas de salto de frecuencia rápido son más costosos que los de salto lento. Además, como el transmisor y el receptor deben estar en sincronía, es más fácil sincronizar los sistemas de salto de frecuencia lentos.

Por estas razones los sistemas de salto de frecuencia lento constituyen una alternativa más económica para las LAN inalámbricas.

Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

### Modulación:

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia **FSK** (Frequency Shift Keying), con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps.

En la revisión del estándar, la 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps. La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación en frecuencia

Limite inferior	Limite superior	Rango regulatorio	Área geográfica
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	América del Norte
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	Europa
2.473 GHz	2.495 GHz	2.471-2.497 GHz	Japón
2.447 GHz	2.473 GHz	2.445-2.475 GHz	España
2.448 GHz	2.482 GHz	2.4465-2.4835 GHz	Francia

Fig. 10: Rango de frecuencias centrales empleadas en FHSS.

Canal	Valor	Canal	Valor	Canal	Valor
2	2.402	28	2.428	54	2.454
3	2.403	29	2.429	55	2.455
4	2.404	30	2.430	56	2.456
5	2.405	31	2.431	57	2.457
6	2.406	32	2.432	58	2.458
7	2.407	33	2.433	59	2.459
8	2.408	34	2.434	60	2.460
9	2.409	35	2.435	61	2.461
10	2.410	36	2.436	62	2.462
11	2.411	37	2.437	63	2.463
12	2.412	38	2.438	64	2.464
13	2.413	39	2.439	65	2.465
14	2.414	40	2.440	66	2.466
15	2.415	41	2.441	67	2.467
16	2.416	42	2.442	68	2.468
17	2.417	43	2.443	69	2.469
18	2.418	44	2.444	70	2.470
19	2.419	45	2.445	71	2.471
20	2.420	46	2.446	72	2.472
21	2.421	47	2.447	73	2.473
22	2.422	48	2.448	74	2.474
23	2.423	49	2.449	75	2.475
24	2.424	50	2.450	76	2.476
25	2.425	51	2.451	77	2.477
26	2.426	52	2.452	78	2.478
27	2.427	53	2.453	79	2.479
				80	2.480

Requisitos norteamericanos y europeos  
( Valores especificados en GHz )

Canal	Valor	Canal	Valor	Canal	Valor
47	2.447	56	2.456	65	2.465
48	2.448	57	2.457	66	2.466
49	2.449	58	2.458	67	2.467
50	2.450	59	2.459	68	2.468
51	2.451	60	2.460	69	2.469
52	2.452	61	2.461	70	2.470
53	2.453	62	2.462	71	2.471
54	2.454	63	2.463	72	2.472
55	2.455	64	2.464	73	2.473

Requisitos españoles  
( Valores especificados en GHz )

### 3.2 Tecnología de Infrarrojos.

La verdad es que IEEE 802.11 no ha desarrollado todavía en profundidad esta área y solo menciona las características principales de la misma:

- Entornos muy localizados, un aula concreta, un laboratorio, un edificio.
- Modulaciones de 16-PPM y 4-PPM que permiten 1 y 2 Mbps de transmisión.
- Longitudes de onda de 850 a 950 nanómetros de rango.
- Frecuencias de emisión entre  $3,15 \cdot 10^{14}$  Hz y  $3,52 \cdot 10^{14}$  Hz.

Las WLAN por infrarrojos son aquellas que usan el rango infrarrojo del espectro electromagnético para transmitir información mediante ondas por el espacio libre. Los sistemas de infrarrojos se sitúan en **altas frecuencias** ( $10^{14}$  Hz), justo por debajo del rango de frecuencias de la luz visible, por lo tanto tiene un comportamiento similar a ella, tanto en sus ventajas como en sus inconvenientes. Entre estas características, la más evidente es que no pueden atravesar objetos sólidos como paredes, lo que supone un serio freno a su capacidad de difusión. Bien es cierto que no hay mal que por bien no venga y esta misma limitación supone un seguro contra receptores indeseados. También, debido a su alta frecuencia, presentan una fuerte resistencia a las interferencias electromagnéticas artificiales radiadas por otros dispositivos, pudiendo, además, alcanzar grandes velocidades de transmisión; de hecho, se han desarrollado sistemas que operan a 100 Mbps.

En cuanto a restricciones de uso, la transmisión por rayos infrarrojos no requiere autorización especial en ningún país, excepto por los organismos de salud que limitan la potencia de la señal transmitida.

Por último, y como atractivo señuelo a todo tipo de fabricantes, utiliza componentes sumamente económicos y de bajo consumo energético, importantes características muy a tener en cuenta en aquellos dispositivos que deban formar parte de equipos móviles portátiles.

Entre las limitaciones principales, cabe decir que resultan sumamente sensibles a objetos móviles que interfieren y perturban la comunicación entre emisor y receptor. Además, las restricciones en la potencia de transmisión limitan la cobertura de estas redes a unas cuantas decenas de metros, y lo que es aún más grave, la luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir seriamente la señal.

En el balance final sobre ventajas e inconvenientes, las pocas redes que emplean como medio de transmisión la luz infrarroja están limitadas por el espacio, utilizándose casi en exclusividad en redes en las que los distintos dispositivos se encuentran en un solo cuarto o área, escenario que normalmente se presenta en el entorno doméstico.

Para describir esta capa física seguiremos las especificaciones del **IRDA** (Infrared Data Association), organismo que ha estado desarrollando estándares para conexiones basadas en infrarrojos.

Para la capa infrarroja tenemos las siguientes velocidades de transmisión:

- 1 y 2 Mbps Infrarrojos de modulación directa.
- 4 Mbps mediante Infrarrojos portadora modulada.
- 10 Mbps Infrarrojos con modulación de múltiples portadoras.

### Clasificación:

De acuerdo al ángulo de apertura con que se emite la información en el transmisor, los sistemas infrarrojos pueden clasificarse en sistemas de corta apertura, también llamados de rayo dirigido o de línea de vista (line of sight, LOS) y en sistemas de gran apertura, reflejados o difusos (diffused).

- Los sistemas infrarrojos de corta apertura, están constituidos por un cono de haz infrarrojo altamente direccional y funcionan de manera similar a los controles remotos de las televisiones: el emisor debe orientarse hacia el receptor antes de empezar a transferir información, limitando por tanto su funcionalidad. Resulta muy complicado utilizar esta tecnología en dispositivos móviles, pues el emisor debe reorientarse constantemente. Este mecanismo solo es operativo en enlaces punto a punto exclusivamente. Por ello se considera que es un sistema inalámbrico pero no móvil, o sea que esta más orientado a la portabilidad que a la movilidad.
- Los sistemas de gran apertura permiten la información en ángulo mucho más amplio por lo que el transmisor no tiene que estar alineado con el receptor. Una topología muy común para redes locales inalámbricas basadas en esta tecnología, consiste en colocar en el techo de la oficina un nodo central llamado punto de acceso, hacia el cual dirigen los dispositivos inalámbricos su información, y desde el cual ésta es difundida hacia esos mismos dispositivos.

La dispersión utilizada en este tipo de red hace que la señal transmitida rebote en techos y paredes, introduciendo un efecto de interferencia en el receptor, que limita la velocidad de transmisión (la trayectoria reflejada llega con un retraso al receptor). Esta es una de las dificultades que han retrasado el desarrollo del sistema infrarrojo en la norma 802.11.



Fig. 11: Transmisión por infrarrojos

Las velocidades de transmisión de datos no son suficientemente elevadas y solo se han conseguido en enlaces punto a punto. Por ello, lejos de poder competir globalmente con las LAN de radio frecuencia, su uso está indicado más bien como apoyo y complemento a las LAN ya instaladas, cableadas o por radio, cuando en la aplicación sea suficiente un enlace de corta longitud punto a punto que, mediante la tecnología de infrarrojos, se consigue con mucho menor coste y potencia que con las tecnologías convencionales de microondas.

### Capas y protocolos:

El principio de funcionamiento en la capa física es muy simple y proviene del ámbito de las comunicaciones ópticas por cable: un LED (Light Emitting Diode), que constituye el dispositivo emisor, emite luz que se propaga en el espacio libre en lugar de hacerlo en una fibra óptica, como ocurre en una red cableada. En el otro extremo, el receptor, un fotodiodo PIN recibe los pulsos de luz y los convierte en señales eléctricas que, tras su manipulación (amplificación, conversión a formato bit -mediante un comparador- y retiemprización) pasan a la UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) del ordenador, de forma que para la CPU todo el proceso luminoso es absolutamente transparente. En el proceso de transmisión los bits viajan mediante haces de pulsos, donde el cero lógico se representa por existencia de luz y el uno lógico por su ausencia. Debido a que el enlace es punto a punto, el cono de apertura visual es de 30 y la transmisión es half duplex, esto es, cada extremo del enlace emite por separado.

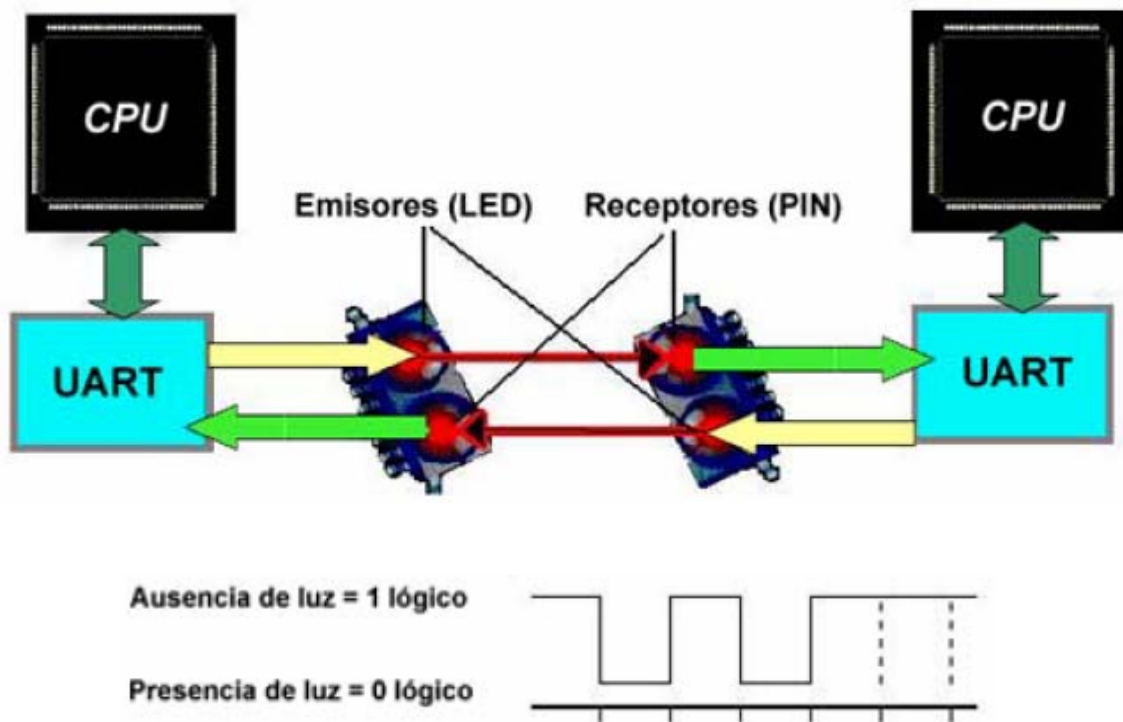


Fig. 12: Dispositivos necesarios para una transmisión Full-Duplex

- Tras la **capa física** se encuentra la capa de enlace, conocida como IrLAP, (Infrared Link Access Protocol) que se encarga de gestionar las tareas relacionadas con el establecimiento, mantenimiento y finalización del enlace entre los dos dispositivos que se comunican. IrLAP constituye una variante del protocolo de transmisiones asíncronas HDLC (Half Duplex Line Control) adaptada para resolver los problemas que plantea el entorno radio. El enlace establece dos tipos de estaciones participantes, una actúa como maestro y otra como esclavo. El enlace puede ser punto a punto o punto a multipunto, pero en cualquier caso la responsabilidad del enlace recae en el maestro, todas las transmisiones van a o desde ella.
- La **capa de red** esta definida por el protocolo IrLMP (Infrared Link Management Protocol), la capa inmediatamente superior a IrLAP, se encarga del seguimiento de los servicios (como impresión, fax y módem), así como de los recursos disponibles por otros equipos, es decir, disponibles para el enlace.
- Finalmente, la **capa de transporte**, IrTP (Infrared Transport Protocol) se ocupa de permitir que un dispositivo pueda establecer múltiples haces de datos en un solo enlace, cada uno con su propio flujo de control. Se trata, pues, de multiplexar el flujo de datos, lo cual permite, por ejemplo, el spool de un documento a la impresora mientras se carga el correo electrónico del servidor. Este software, de carácter opcional -dado que no es necesario para la transferencia básica de ficheros- resulta útil cuando se ha de establecer un enlace, por ejemplo, entre un PDA (Personal Digital Assistant) y la LAN.

### Dispositivos:

En las aplicaciones de LAN inalámbricas, el modo operativo consiste en modular la intensidad de la luz infrarroja producida por el emisor mediante una señal modulada eléctricamente. El detector percibe las variaciones de intensidad de la señal infrarroja y las convierte directamente en una señal eléctrica equivalente. Este modo de operación se llama *modulación de intensidad con detección directa* (IMDD) y se emplean diversos métodos de modulación, incluida la modulación en banda base.

Hay dos tipos de emisores de infrarrojo: *diodos láser* y *diodos emisores de luz*. Los diodos de láser se usan mucho en los sistemas de transmisión por fibra óptica; producen una fuente de luz coherente que tiene una banda muy angosta de frecuencias y, que al estar confinada en un área muy pequeña, tiene una densidad de potencia poco elevada.

En las aplicaciones de LAN inalámbricas, como la luz no necesita propagarse dentro de los confines de una fibra óptica, es preciso hacerla más difusa para que no cause daños en los ojos de las personas. En contraste, los diodos emisores de luz (LED) producen una luz que comprende una banda de frecuencias que, con los bajos niveles de potencia de salida empleados, es totalmente segura. El ancho de banda disponible para la modulación con los LED es de unos 20 MHz, lo que limita a menos de 10 Mbps la tasa de bits máxima que es posible usar. En virtud de su bajo costo, lo normal es utilizar LED en los casos en que se requieren tasas de bits de este nivel o menores.

Si queremos tasas de bits mayores que 10 Mbps es necesario usar diodos de láser. En ancho de banda de modulación disponible con estos dispositivos es de varios cientos de

MHz. La amplia banda de frecuencias asociada a los LED obliga a usar en el receptor un filtro óptico con un pasabanda ancho que permita detectar toda la señal transmitida.

No obstante, esto incrementa la señal de ruido en el receptor, y esto a su vez dificulta el diseño del receptor cuando la tasa de bits es alta.

### Topologías:

Los enlaces de infrarrojo pueden utilizarse en uno de los dos modos: *punto a punto* o *difuso*. En el modo punto a punto, el emisor apunta directamente hacia el detector (que en la práctica es un fotodiodo), y esto permite usar emisores de más baja potencia y detectores menos sensibles. Este modo de funcionamiento es más apropiado para establecer un enlace inalámbrico entre dos equipos; por ejemplo, cuando se quiere transferir archivos de un ordenador portátil a otro computador.

En las aplicaciones de LAN inalámbricas se requiere un modo de operación de uno a muchos (difusión). Para lograr esto, la salida de la fuente de infrarrojo se difunde ópticamente de modo que la luz se distribuya por un área angular amplia. Este es el modo difuso, tiene tres modos de operación alternativos que se ilustran en las siguientes figuras.

En el modo básico –figura 13- cada computador tiene asociado un emisor óptico de ángulo grande y un detector. La señal de infrarrojo producida por cualquier emisor se recibe en todos los detectores después de múltiples reflexiones dentro del recinto. El efecto de este modo operativo es que varias copias de la misma señal fuente llegan a cada detector con distintos retardos de propagación, determinados por el camino físico que haya seguido cada señal. Esto es lo que se denomina como *dispersión multicamino* y su efecto es una dispersión de retardo, ya que los pulsos que representan a los bits individuales dentro del flujo de bits transmitidos se extienden o ensanchan. Como con las ondas de radio, la amplitud de las diversas señales reflejadas varía respecto a la de la señal más directa en función del camino seguido y de la atenuación en que hayan incurrido. En una oficina ordinaria, es posible recibir señales significativas con dispersiones de retardo tan altas como 100 ns. Este modo de operación sólo es satisfactorio con tasas de bits hasta 1 Mbps, ya que con tasas mayores los efectos de ISI se incrementan considerablemente.

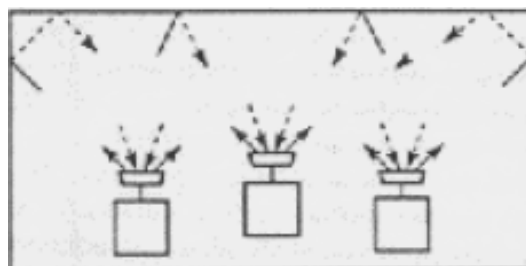


Fig. 13: Enlace básico.

Con infrarrojo (y radio), además de la ecualización, podemos reducir los efectos de la dispersión del retardo empleando múltiples emisores y detectores direccionales como se muestra en la figura 14. Cuando se sigue esta estrategia todos los emisores y detectores se orientan de modo que apunten en la dirección general de una cúpula reflectora fija en el techo, denominada satélite. A fin de maximizar la potencia de la señal recibida y minimizar las reflexiones, la señal de origen se enfoca ópticamente para formar un haz relativamente angosto. La forma de la cúpula reflectora se escoge de modo que asegure que todas las señales transmitidas serán recibidas por todos los detectores. Para reducir los efectos de multicamino, la abertura de los detectores se reduce de modo que sólo reciban la señal directa del satélite.

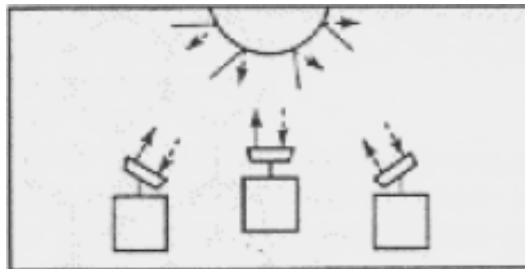


Fig. 14: Enlace con satélite pasivo.

El satélite anterior actúa sólo como reflector de la luz. Por tanto, si queremos obtener una potencia de señal aceptable en el detector, la potencia de la señal emitida tendrá que ser relativamente alta. En el caso de dispositivos portátiles que obtienen su potencia de baterías, esta es una desventaja que hace necesario refinar el esquema básico para utilizar un satélite activo como se muestra en la figura 15. En este esquema se distribuye una serie de detectores alrededor de la cúpula, junto con un conjunto de emisores de infrarrojo. Todas las señales recibidas por uno o más conjuntos de detectores serán repetidas después por los emisores. Esto significa que la potencia de la señal emitida por cada dispositivo portátil puede ser mucho más baja, ya que sólo necesita ser lo suficientemente alta como para formar un camino directo hacia el satélite.

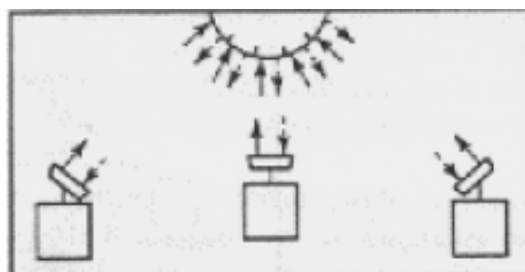


Fig. 15: Enlace con satélite activo.

### Comparativa entre las capas físicas del IEEE 802.11

Especificado en el Estándar	Frecuencia de Radio (RF)	Infrarrojo (IR)	Mecanismo	Máxima Tasa de Transferencia (Mbps)
802.11	2.4 GHz ISM		DSSS	2
802.11	2.4 GHz ISM		FHSS	2
802.11		850-950 nm	IR Difuso	2
802.11a	5 GHz ISM		OFDM	54
802.11b	2.4 GHz ISM		DSSS	11

La especificación del FHSS de 2.4 GHz, y la especificación IR original del 802.11 normalmente no se usan. El rango limitado (aproximadamente 15 metros) del OFDM 5GHz para la capa física lo hace menos atractivo para la mayoría de los usuarios. Actualmente **la mayoría de los productos implementan la tecnología DSSS del 802.11b** para una velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps por su ventaja de precio/desempeño.

## 4. La Capa MAC

En consecuencia, así como necesitamos recurrir a un método de MAC con las LAN por cable de medio compartido para asegurarnos de que sea un solo transmisor el que está usando el medio, también se necesita un método de MAC con las LAN inalámbricas.

Diseñar un protocolo de acceso al medio para las redes inalámbricas es mucho más complejo que hacerlo para redes cableadas. Ya que deben de tenerse en cuenta las dos topologías de una red inalámbrica:

- Ad-hoc: redes peer-to-peer. Varios equipos forman una red de intercambio de información sin necesidad de elementos auxiliares. Este tipo de redes se utilizan en grupos de trabajo, reuniones, conferencias...
- Infraestructura: La red inalámbrica se crea como una extensión a la red existente basada en cable. Los elementos inalámbricos se conectan a la red cableada por medio de un punto de acceso o un PC Bridge, siendo estos los que controlan el tráfico entre las estaciones inalámbricas y las transmisiones entre la red inalámbrica y la red cableada.

Además de los dos tipos de topología diferentes se tiene que tener en cuenta:

- Perturbaciones ambientales (**interferencias**)
- Variaciones en la **potencia** de la señal
- **Conexiones y desconexiones** repentinas en la red
- **Roaming**. Nodos móviles que van pasando de celda en celda.

A pesar de todo ello la norma IEEE 802.11 define una única capa MAC (divida en dos subcapas) para todas las redes físicas. Ayudando a la fabricación en serie de chips.

## 4.1 Mecanismos de Acceso

Hay de dos tipos:

- Protocolos con arbitraje
  - FDMA: (Frequency Division Multiple Access).
  - TDMA: (Time Division Multiple Access).
- Protocolos de contienda:
  - CDMA: (Code Division Multiple Access).
  - CSMA/CD: (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detetection).
  - CSMA/CA: (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

Aunque también se han diseñado protocolos que son una mezcla de ambos.

### Protocolos con arbitraje:

#### TDMA

Las siglas TDMA significan *acceso múltiple por división de tiempo*. Con este esquema cada transmisor tiene un intervalo o ranura de tiempo específico y, una vez alcanzada la ranura de tiempo de un transmisor, éste transmite por el ancho de banda completo durante el periodo fijo de la ranura. Casi siempre la duración de cada ranura de tiempo es corta y se escoge de modo que la probabilidad de ocurrencia de errores en ese lapso sea baja.

Por lo regular se emplea TDMA cuando hay una sola estación base a través de la cual se realizan todas las transmisiones. Por ejemplo, en una aplicación de reemplazo de cableado fijo la PAU actúa como estación base y es ella la que establece la estructura de ranuras/tiempos. A cada computador/ terminal portátil en el campo de cobertura de la estación base se le asigna una ranura de tiempo específica o, lo que es más común, se proporciona una ranura de tiempo independiente (de señalización) para que cada uno de los dispositivos portátiles pueda solicitar a la estación base una ranura de tiempo libre en caso de tener una trama por transmitir. Las transmisiones desde la estación base a los portátiles se realizan ya sea en un modo difundido mediante una ranura de tiempo específica – con la dirección del destinatario en la cabecera de la trama transmitida – o en una ranura de tiempo específica establecida por medio del canal de señalización. Este

modo de funcionamiento se conoce también como *Aloha ranurado con asignación por demanda*. Como alternativa, para controlar cada ranura de tiempo puede emplearse una subranura de señalización independiente incorporada.

Existe una *banda de protección* y una *secuencia de sincronía* al principio de cada ranura de tiempo. La banda de protección compensa los diversos retardos de propagación entre el conjunto distribuido de portátiles y la estación base, en tanto que el intervalo de sincronización permite al receptor sintonizarse con el transmisor antes de recibir el contenido de la ranura.

## FDMA

El *acceso múltiple por división de frecuencias* (FDMA) se aplica a los sistemas de radio y, al igual que el TDMA, requiere una estación base para controlar su funcionamiento. Con el FDMA, el ancho de banda de frecuencias total asignado se divide en varias subbandas de frecuencia o canales que, en principio, son similares al espectro disperso por salto de frecuencia. Sin embargo, en el caso del FDMA, una vez que se ha asignado un canal de frecuencia específico a una estación, lo utiliza durante todo el periodo todo el periodo de transmisión de una trama. Lo normal es que los canales de frecuencia se asignen por demanda mediante un canal de señalización aparte.

En general, la estación base de un sistema FDMA es más compleja que la de los sistemas TDMA, razón por la cual estos últimos son más comunes. También se emplean esquemas híbridos que utilizan FDMA para obtener varios canales de frecuencia, que entonces se manejan con TDMA.

## Protocolos de contienda:

### CDMA

El *acceso múltiple por división de código* (CDMA) se aplica específicamente a los sistemas de radio de espectro disperso. Los esquemas tanto por secuencia directa como por salto de frecuencia se basan en una secuencia pseudoaleatoria única dispersión/salto. En virtud de ello, es posible asignar una secuencia pseudoaleatoria distinta a cada nodo, y todos los nodos pueden conocer el conjunto completo de secuencias. Para comunicarse con otro nodo, el transmisor sólo tiene que seleccionar y usar la secuencia pseudoaleatoria del destinatario considerado. Esto hace posible la realización concurrente de múltiples comunicaciones entre diferentes pares de nodos.

En la práctica, esto sólo es posible con los sistemas de salto de frecuencia, pues en los que son por secuencia directa puede presentarse un fenómeno denominado *efecto cercano-lejano*. Esto sucede cuando está operando un segundo transmisor que está más cerca del destinatario (A) que el otro participante en la comunicación (B).

Aunque las transmisiones procedentes del nodo X quedan suprimidas por el proceso de antidispersión en el nodo A, la mayor cercanía de la señal de interferencia (dispersa) puede hacer que este tenga mayor potencia que la señal requerida del nodo B y haga que el receptor del nodo A no capte la transmisión. Esto se conoce también como *efecto de terminal oculta*.

En contraste, con el salto de frecuencia, como los dos transmisores están cambiando constantemente de canales, es muy baja la probabilidad de que ambos operen en el mismo canal al mismo tiempo, que puede reducirse aun más si se planean con mucho cuidado las secuencias de salto. La desventaja de ambos esquemas, radica en que todos los nodos deben conocer la secuencia pseudoaleatoria de todos los demás nodos, lo cual no es fácil de gestionar en una LAN inalámbrica.

## CSMA/CD

En las LAN inalámbricas el método CSMA también permite a un nodo en espera ceder ante otro nodo que puede estar usando ya el medio difundido. En el caso de radio e infrarrojo, no es posible transmitir y recibir al mismo tiempo, de modo que entonces no sirve la detección de colisiones en su forma básica. No obstante, se ha propuesto una variación de la función de detección de colisiones, llamada *detección de colisiones (peine)*, para las LAN inalámbricas.

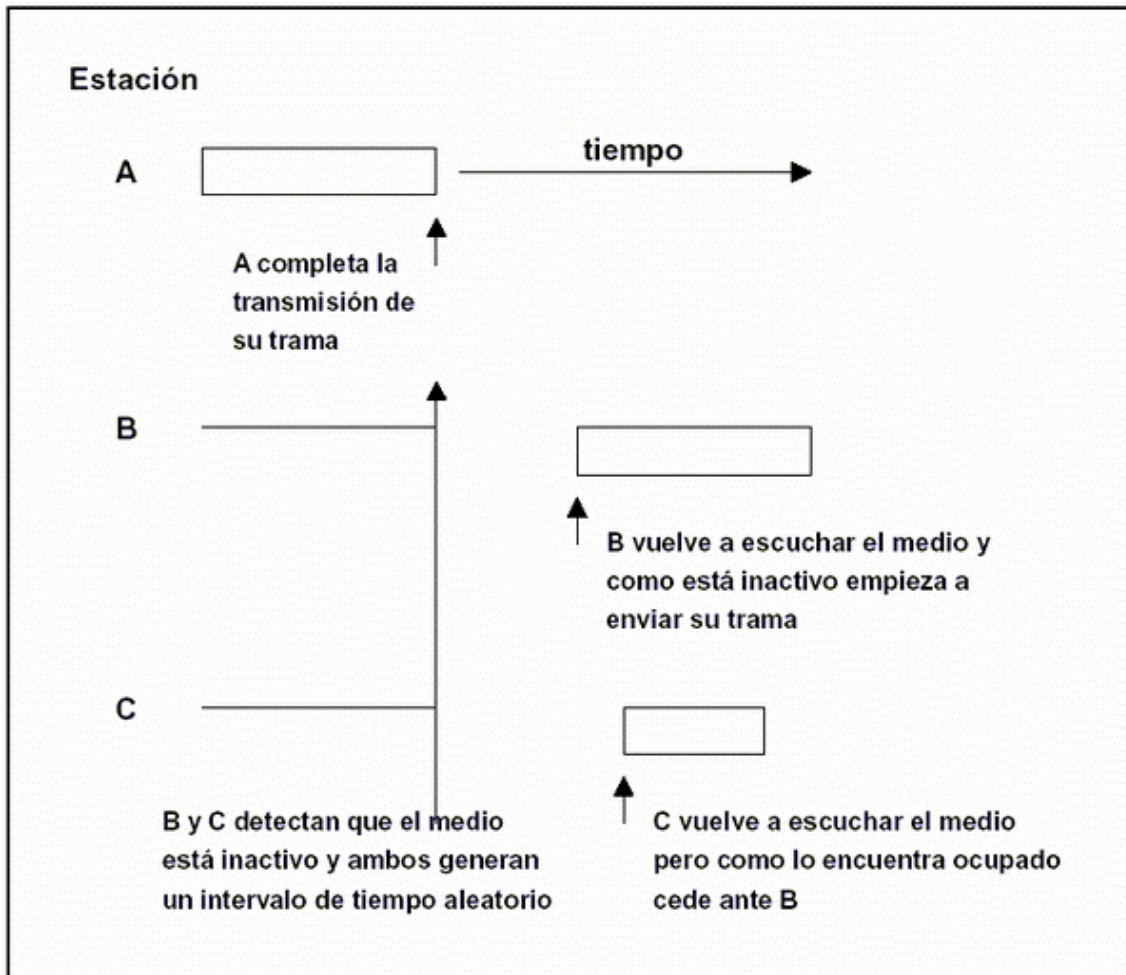
En este esquema cuando un nodo tiene una trama para transmitir, lo primero que hace es generar una secuencia binaria pseudoaleatoria corta – denominada peine – y la añade al preámbulo de la trama. A continuación, el nodo realiza la operación normal de detección de portadora y, suponiendo que el medio está inactivo, procede a transmitir la secuencia de peine. Para cada 1 binario de la secuencia, el nodo transmite una señal durante un corto periodo de tiempo, pero cuando la secuencia incluye un 0 binario, el nodo cambia al modo de recepción. Si un nodo detecta la transmisión de una señal mientras está en el modo de recepción, se elimina a sí mismo de la competencia por el canal y espera hasta que los otros nodos hayan transmitido su trama.

La eficiencia del esquema depende del número de bits de la secuencia pseudoaleatoria – el peine – ya que si dos nodos generan la misma secuencia puede ocurrir una colisión. En la práctica es probable que el número de nodos en competencia, en un momento dado, sea bajo, así que la longitud del peine puede ser relativamente corta. Además, como hay un límite máximo para la velocidad con que un transmisor de radio puede conmutar entre los modos de transmisión y de recepción, con un peine más corto se reduce la duración del periodo de resolución de competencia (detección de colisiones).

## CSMA/CA

También existe otra adaptación de CSMA/CD, que se llama *CSMA con evitación de colisiones*. En lugar de iniciar la transmisión de una trama inmediatamente después de que el medio queda inactivo, el nodo espera un lapso aleatorio adicional corto, y sólo si el medio sigue inactivo después de este intervalo comienza a transmitir. De esta manera,

si hay otros nodos en espera, el nodo que calcula el tiempo más corto obtendrá el acceso primero y los nodos restantes cederán ante él. Una vez más, la eficiencia del esquema es una función del número de incrementos de tiempo – y por tanto de bits en la secuencia pseudoaleatoria – que tiene el periodo de evitación de colisiones máximo.



La capa MAC opera junto con la capa física probando la energía sobre el medio de transmisión de datos. La capa física utiliza un algoritmo de estimación de desocupación de canales (CCA) para determinar si el canal está vacío. Esto se cumple midiendo la energía RF de la antena y determinando la fuerza de la señal recibida. Esta señal medida es normalmente conocida como RSSI. Si la fuerza de la señal recibida está por debajo de un umbral especificado, el canal se considera vacío, y a la capa MAC se le da el estado del canal vacío para la transmisión de los datos. Si la energía RF está por debajo del umbral, las transmisiones de los datos son retrasadas de acuerdo con las reglas protocolares. El Standard proporciona otra opción CCA que puede estar sola o con la medida RSSI. El sentido de la portadora puede usarse para determinar si el canal está disponible. Esta técnica es más selectiva ya que verifica que la señal es del mismo tipo de portadora que los transmisores del 802.11. En comunicaciones inalámbricas, este modelo presenta todavía una deficiencia debida al problema conocido como de la terminal oculta (o nodo escondido).

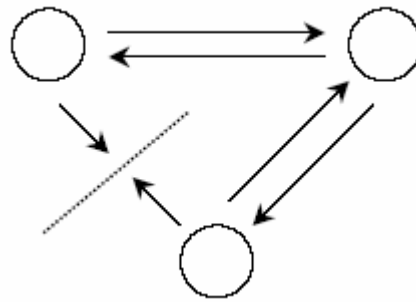


Fig. 16: Ejemplo de “nodo escondido”.

Un dispositivo inalámbrico puede transmitir con la potencia suficiente para que sea escuchado por un nodo receptor, pero no por otra estación que también desea transmitir y que por tanto no detecta la transmisión. Para resolver este problema, la norma 802.11 ha añadido al protocolo de acceso CSMA/CA un mecanismo de intercambio de mensajes con reconocimiento positivo, al que denomina Reservation-Based Protocol, que es la 2ª subcapa MAC.

Surge otro problema a resolver cuando se utiliza radio porque no hay ninguna garantía de que el interlocutor considerado esté en contacto de radio con el nodo de origen. Así, aunque el algoritmo de CSMA/CA o CSMA/CD, asegure que un nodo obtendrá acceso al medio, el o los destinatarios de la trama nunca lo reciban porque están fuera del alcance de radio. Es por esta razón que en el protocolo de MAC se incorpora un procedimiento de saludo adicional, anterior al método de MAC básico. Como la intención es que este procedimiento sirva a los diferentes tipos de métodos de MAC, se le ha denominado *protocolo de MAC inalámbrico de fundamento distribuido (DFW MAC)*. El procedimiento de saludo de cuatro vías utilizado está diseñado tanto para aplicaciones de infraestructura como de ad-hoc.

Siempre que una unidad portátil necesita enviar una trama, lo primero que hace es enviar un mensaje/ trama de control corto de *solicitud de transmisión (RTS)* mediante uno de los métodos MAC que se acaban de describir: CSMA/CD o CDMA/CA. El mensaje de control RTS contiene la dirección de MAC de las unidades tanto de origen como de destino. Si el destinatario recibe este mensaje y esta en condiciones de recibir una trama, difundirá un mensaje/trama de contestación *preparado para transmitir (CTS)* con el mismo par de direcciones aunque en orden inverso. Como alternativa, si el receptor no está preparado para recibir una trama, devolverá una contestación de *receptor ocupado (RxBUSY)*. Si la respuesta es positiva, la unidad solicitante transmitirá la trama en espera (DATA) que, si es recibida correctamente por el destinatario, se contestará con un mensaje de *confirmación (ACK)* positivo. Por otro lado, si la trama esta alterada, el destinatario devolverá un mensaje de *confirmación negativa (NAK)* y el origen tratará de enviarlo otra vez. Este procedimiento va a repetirse hasta que se cumpla un número previamente definido de reintentos.

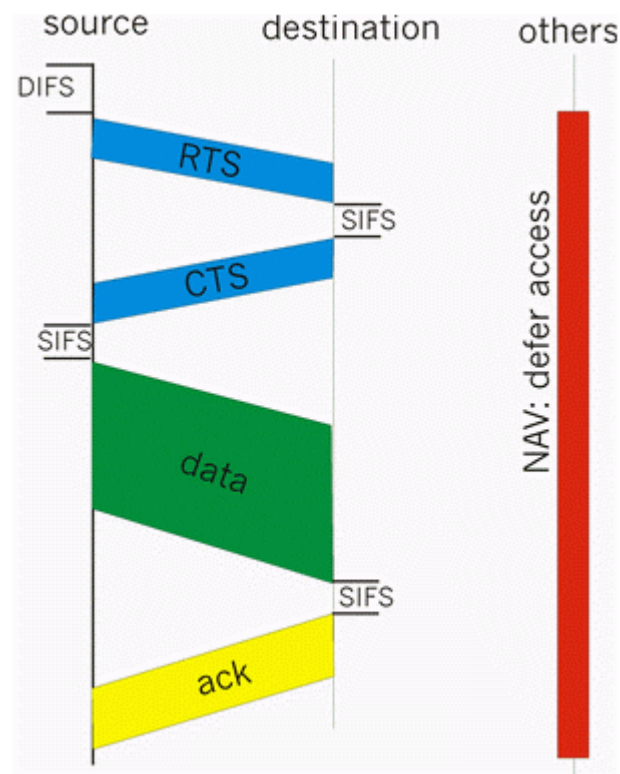


Fig. 17: Ejemplo de transmisión de datos entre dos estaciones.

Aún así permanece el problema de que las tramas RTS sean enviadas por varias estaciones a la vez, sin embargo estas colisiones son menos dañinas ya que el tiempo de duración de estas tramas es relativamente corto.

## 4.2 Seguridad

Una red con cable está dotada de una seguridad inherente en cuanto a que un posible ladrón de datos debe obtener acceso a la red a través de una conexión por cable, lo que normalmente significa el acceso físico a la red de cables. Sobre este acceso físico se pueden superponer otros mecanismos de seguridad.

Cuando la red ya no se sustenta con cables, la libertad que obtienen los usuarios también se hace extensiva al posible ladrón de datos. Ahora, la red puede estar disponible en vestíbulos, salas de espera inseguras, e incluso fuera del edificio. En un entorno doméstico, la red podría extenderse hasta los hogares vecinos si el dispositivo de red no adopta o no utiliza correctamente los mecanismos de seguridad.

Desde sus comienzos, 802.11 ha proporcionado algunos mecanismos de seguridad básico para impedir que esta libertad mejorada sea una posible amenaza. Por ejemplo, en los puntos de acceso (o conjuntos de puntos de acceso) 802.11 se pueden configurar con un *identificador del conjunto de servicios* (SSID).

La tarjeta NIC también debe conocer este SSID para asociarlo al AP y así proceder a la transmisión y recepción de datos en la red. Esta seguridad, si se llegase a considerar como tal, es muy débil debido a estas razones:

- Todas las tarjetas NIC y todos los AP conocen perfectamente el SSID.
- El SSID se envía por ondas de manera transparente (incluso es señalizado por el AP).
- La tarjeta NIC o el controlador pueden controlar localmente si se permite la asociación en caso de que el SSID no se conozca.
- No se proporciona ningún tipo de cifrado a través de este esquema.

Las especificaciones 802.11 proporcionan seguridad adicional mediante el algoritmo WEP (Wired Equivalent Privacy). WEP proporciona a 802.11 servicios de autenticación y cifrado. Se basa en proteger los datos transmitidos en el medio RF, usando claves de 40, 64, 128... bits, y el algoritmo de encriptación RC4 (desarrollado por RSA Security Inc.). El sistema WEP hace que el enlace LAN inalámbrico en una red sea comparable, en protección contra escucha y atributos de seguridad, a una red cableada.

A la hora de la verdad, la instalación de esta función es opcional, aunque sumamente sencilla de poner en marcha. Simplemente habrá que seleccionar el tipo de encriptación WEP que se desea implementar, 40, 64 o 128 bits, y a continuación elegir la clave que se utilizará. Obviamente, si la función WEP está activada en uno o más puntos de acceso, todos los dispositivos inalámbricos de la red deberán tener el mismo código WEP, que se establece fácilmente mediante las utilidades de software suministradas.

La clave se configura en el punto de acceso y en sus estaciones (clientes wireless), de forma que sólo aquellos dispositivos con una clave válida puedan estar asociados a un determinado punto de acceso.

WEP, cuando se habilita, sólo protege la información del paquete de datos y no protege el encabezamiento de la capa física para que otras estaciones en la red puedan escuchar el control de datos necesario para manejar la red. Sin embargo, las otras estaciones no pueden distinguir las partes de datos del paquete. Se utiliza la misma clave de autenticación para encriptar y desencriptar los datos, de forma que solo las estaciones autorizadas puedan traducir correctamente los datos.

### 4.3 Funcionalidad Adicional

En las LAN inalámbricas la capa de MAC, además de efectuar la función de controlar el acceso al medio, desempeña otras funciones: • Fragmentación • Control de flujo • Manejo de múltiples tasas de transmisión • Gestión de potencia En los diferentes tipos de LAN por cable es posible usar tramas grandes gracias a errores de bit bajos bajo ( $10^{-9}$  a  $10^{-11}$ ). En las LAN inalámbricas, el multicamino y las interferencias pueden elevar considerablemente los valores de errores de bit ( $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ ). Para poder transmitir eficientemente por estos medios, hay que reducir el tamaño de las tramas. La capa MAC se encarga de fragmentar las tramas en otras más pequeñas antes de transmitir las

por el medio inalámbrico. De la misma manera deberá ensamblar las tramas para obtener la trama original antes de entregarla a la capa superior. También debe cumplir un control de flujo, cada vez que un segmento sea pasado a la capa física, deberá esperar que este sea transmitido antes de enviar el próximo segmento.

La gestión de la potencia se apoya en el nivel MAC para esas aplicaciones que requieren movilidad bajo el funcionamiento de la pila. Se hacen provisiones en el protocolo para que las estaciones portátiles pasen a "modo dormido" durante un intervalo de tiempo definido por la estación base.

## 5. NORMATIVA

En la actualidad, el mercado ofrece una gran cantidad de productos inalámbricos, cada uno de ellos creados por compañías distintas y que difieren significativamente entre sí. En su momento se reconoció la necesidad de desarrollar normas internacionales, para regular el uso de estas redes inalámbricas. En la actualidad existen dos ramas, por una parte la desarrollada en EEUU, patrocinada por la institución IEEE, la norma *802.11*, y por otro lado la europea, desarrollada por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI), conocida como *HiperLAN*. Ambas normas incluyen las características descritas anteriormente.

A parte de estas dos normas, el crecimiento de las comunicaciones inalámbricas ha dado pie a nuevas tecnologías como Bluetooth o HomeRF, que surgen en torno al protocolo 802.11.

### 5.1 IEEE 802.11

Dependiendo del rango de frecuencia, de la modulación y de la velocidad de transmisión, se definen tres estándares diferentes para la 802.11.

#### ➤ 802.11

La norma 802.11, antes de evolucionar a posteriores revisiones, contempla una gama de normas de la capa física distintas basadas en los dos tipos de medios (radio e infrarrojo). Estas normas son:

- 1 y 2 Mbps mediante radio de espectro disperso por salto de frecuencia
- 1 y 2 Mbps mediante radio de espectro disperso por secuencia directa
- 1 y 2 Mbps mediante infrarrojo con modulación directa
- 4 Mbps mediante infrarrojo de portadora modulada
- 10 Mbps mediante infrarrojo con modulación de múltiples subportadoras

➤ **802.11a**

Fue la primera aproximación a las wireless y llega a alcanzar velocidades de hasta **54 Mbps** dentro de los estándares del IEEE y hasta 72 y 108 Mbps con tecnologías de desdoblamiento de la velocidad ofrecidas por diferentes fabricantes, pero que no están (a día de hoy) estandarizadas por el IEEE. Esta variante opera dentro del rango de los **5 Ghz**. Inicialmente se soportan hasta 64 usuarios por Punto de Acceso.

Sus principales ventajas son su velocidad, la base instalada de dispositivos de este tipo, la gratuidad de la frecuencia que usa y la ausencia de interferencias en la misma.

Sus principales desventajas son su **incompatibilidad con los estándares** 802.11b y g, la no incorporación a la misma de QoS (posibilidades de aseguro de Calidad de Servicio, lo que en principio impediría ofrecer transmisión de voz y contenidos multimedia online), la **no disponibilidad de esta frecuencia en Europa** dado que esta frecuencia está reservada a la HyperLAN2 (ver apartado siguiente) y la parcial disponibilidad de la misma en Japón.

➤ **802.11b**

Es la segunda aproximación de las wireless, que apareció en 1999. Alcanza una velocidad de **11 Mbps** estandarizada por el IEEE y una velocidad de 22 Mbps por el desdoblamiento de la velocidad que ofrecen algunos fabricantes pero sin la estandarización (a día de hoy) del IEEE. Opera dentro de la frecuencia de los **2'4 Ghz**. Inicialmente se soportan hasta **32 usuarios por PA**.

Adolece de varios de los inconvenientes que tiene el 802.11a como son la falta de QoS, además de otros problemas como la masificación de la frecuencia en la que transmite y recibe, pues en los 2'4 Ghz funcionan teléfonos inalámbricos, teclados y ratones inalámbricos, hornos microondas, dispositivos Bluetooth..., lo cual puede provocar interferencias.

En el lado positivo está su rápida adopción por parte de una gran comunidad de usuarios debido principalmente a unos muy bajos precios de sus dispositivos, la gratuidad de la banda que usa y su disponibilidad gratuita alrededor de todo el mundo.

Aparece también el consorcio de fabricación **WECA** (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), que establece un estándar llamado **Wi-Fi** (Wireless Fidelity), que certifica la interoperatividad, compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes, y otros aspectos como facilidad de configuración, unanimidad de protocolos y modo de funcionamiento

➤ **802.11g**

Es la tercera aproximación a las wireless, y se basa en la compatibilidad con los dispositivos 802.11b y en el ofrecer unas velocidades de hasta **54 Mbps**, lo que

permitirá dar servicio a **4 ó 5 veces más de usuarios** y extender el uso de las redes 802.11 a servicios bastante demandados como la transmisión inalámbrica de **video-multimedia y la difusión de MPEG**. Ha sido estandarizada en Junio de 2003. Opera también dentro de la frecuencia de **2'4 Ghz**.

Dispone de los mismos inconvenientes que el 802.11b

Las ventajas de las que dispone son las mismas que las del 802.11b, además de su mayor velocidad y un mayor número de usuarios conectados a un mismo PA.

## 5.2 HIPERLAN (ETSI)

Pertenece al ETSI y tiene dos revisiones, una inicial, HIPERLAN, y otra en fase de estandarización actualmente, la HIPERLAN/2.

### ➤ HIPERLAN

La norma HiperLAN está pensada para aplicaciones tanto de infraestructura como de ad hoc que se vieron al principio del trabajo, y la especificación es la siguiente:

- Tasa de bits de usuario de 10 a 20 Mbps
- Alcance operativo de 50 metros
- Medio de radio
- Modulación de portadora única mediante una versión modificada de la modulación de cambio de fase en cuadratura – llamada *QPSK desplazada* – y un ecualizador.
- Método de MAC CSMA/CD o CSMA/CA

A fin de adaptarse a los diferentes tipos de modulación y medios, la capa física comprende dos subcapas: la *subcapa de convergencia de capas físicas (PLC)* y la *subcapa dependiente del medio físico (PMD)*. La subcapa PMD es diferente para los distintos tipos de modulación y medios, y los servicios que proporciona dependen de ellos. La subcapa de PLC realiza las funciones de convergencia necesarias para hacer corresponder los servicios estándar que se ofrecen en la interfaz de la capa física con los provistos por la subcapa PMD específica que están en uso.

### ➤ HIPERLAN/2

A día de hoy, el ETSI dispone de la especificación HyperLAN2, que mejora notablemente las características de su antecesora, ofreciendo una mayor velocidad de transmisión en la capa física de **54 Mbps**, para lo cual emplea el método de **modulación OFDM** (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) y ofrece soporte QoS.

Bajo esta especificación se ha formado, cómo no, con un grupo de reconocidas firmas el HiperLAN2 Global Forum (H2GF), con la intención de sacar al mercado productos basados en ese competitivo estándar.

Sin duda alguna, las características y prestaciones que presenta la especificación HiperLAN/2 sobrepasan ampliamente las mostradas por el resto de sus rivales en este particular sector del mercado inalámbrico.

Para empezar, la gran velocidad de transmisión de la capa física se extiende hasta los más que significativos 54 Mbps.

Para lograr este espectacular aumento de la velocidad se hace uso de un sofisticado método de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) para la transmisión de las señales analógicas, mostrando su mayor efectividad en los entornos donde existe una gran dispersión de las señales como, por ejemplo, en las oficinas en las cuales haya numerosos puntos de reflexión de las señales. Asimismo, y por encima de la capa física, el protocolo de la capa de Acceso al Medio (MAC) es totalmente nuevo y presenta un método dúplex de división dinámica del tiempo para permitir una mayor eficiencia en la utilización de los recursos de radio.

Por lo que respecta a las conexiones que se pueden establecer bajo esta especificación, en una red de HiperLAN/2 los datos se transmiten en conexiones entre el MT (Terminal Móvil) y el AP (Punto de Acceso), en las cuales se han establecido previamente prioridades para la transmisión mediante el empleo de funciones de señalización del panel de control del HiperLAN/2.

Como era de esperar, hay dos tipos de conexiones, punto a punto y punto a multipunto. Por una parte, las conexiones punto a punto son bidireccionales, mientras que las conexiones punto a multipunto son unidireccionales y siempre en el sentido hacia el MT.

Por otra parte, la naturaleza de las conexiones HiperLAN/2 permite la verdadera implementación y soporte de QoS (Quality of Service). Es decir, asignar a cada conexión a un nivel de prioridad con respecto a otras conexiones, donde a cada conexión se le pueda asignar un nivel QoS específico, en el cual se determinen parámetros relacionados con el ancho de banda a utilizar, el retraso máximo entre paquetes y la tasa de error, entre otros.

Este soporte QoS, en combinación con una alta velocidad de transmisión, facilita el flujo simultáneo de numerosos tipos diferentes datos como, por ejemplo, vídeo, voz, y datos.

Sin embargo, y a pesar de que esta especificación dispone de otro buen número de características interesantes, este novedoso estándar se encuentra en una fase de evolución demasiado prematura, en comparación con las otras tecnologías, aspecto que puede ser determinante para una futura consolidación en el mercado.

ESTÁNDAR	RANGO FREC	MAX.TASA TRANSF.	CAPA FISICA	CAPA MAC
<b>802.11</b>	2.4 GHz	2 Mbps	DSSS/FHSS	CSMA/CA
<b>802.11a</b>	5 GHz	54 Mbps	OFDM	CSMA/CA
<b>802.11b</b>	2.4 GHz	11Mbps	DSSS	CSMA/CA
<b>802.11g</b>	2.4 GHz	54 Mbps	DSSS	CSMA/CA
<b>IR</b>	850-950 nm		IR DIFUSO	
<b>HIPERLAN</b>	2.4 GHz	10-20Mbps	PIC/PMA	CSMA/CA
<b>HIPERLAN/2</b>	5 GHz	54 Mbps	OFDM	DDT

Comparativa de las distintas normativas existentes.

## 6. ASPECTOS IMPORTANTES EN LAS REDES INALÁMBRICAS

### 1.- Cobertura

La distancia que pueden alcanzar las ondas de radiofrecuencia o de infrarrojos es función del diseño del producto y del camino de propagación, especialmente en lugares cerrados. Las interacciones con objetos, paredes, metales, e incluso las personas, afectan a la propagación de la energía. Los **objetos sólidos bloquean las señales de infrarrojo**, y esto impone aún más dificultades a las redes inalámbricas por infrarrojos. La mayor parte de los sistemas de redes inalámbricas usan **radiofrecuencia porque pueden atravesar la mayor parte de los lugares cerrados** y toda clase de obstáculos. El rango de cobertura de una LAN inalámbrica típica va de 30m a 100m. Puede extenderse y tener posibilidad de alto grado de libertad y movilidad utilizando puntos de acceso que permiten navegar por toda la LAN.

### 2.- Rendimiento

El rendimiento de una LAN inalámbrica va a depender, al igual que todas las redes, de una serie de parámetros:

- Puesta a punto de los productos
- Número de usuarios
- Factores de propagación (cobertura, diversos caminos de propagación, etc)

- Tipo de sistema inalámbrico utilizado
- Del retardo de la red
- De los cuellos de botella de la parte cableada de la red

Para la más comercial de las redes inalámbricas los datos que se tienen hablan de un rango de 2 Mbps. Los usuarios de Ethernet o Token Ring no experimentan generalmente gran diferencia en el funcionamiento cuando utilizan una red inalámbrica. Estas proporcionan suficiente rendimiento para las aplicaciones más comunes de una LAN en un puesto de trabajo, incluyendo correo electrónico, acceso a periféricos compartidos, acceso a Internet, y acceso a bases de datos y aplicaciones multiusuario, etc.

### **3.- Integridad y fiabilidad**

Estas tecnologías para redes inalámbricas se han probado durante más de 50 años en sistemas comerciales y militares. Aunque las interferencias de radio pueden degradar el rendimiento, éstas son raras en el lugar de trabajo. Los robustos diseños de las testadas tecnologías para LAN inalámbricas y la limitada distancia que recorren las señales, proporcionan conexiones que son mucho más robustas que las conexiones de teléfonos móviles y proporcionan integridad de datos de igual manera o mejor que una red cableada.

### **4.- Compatibilidad con las redes existentes**

La mayor parte LAN's inalámbricas proporcionan un estándar de interconexión con redes cableadas como Ethernet o Token Ring. Los nodos de la red inalámbrica son soportados por el sistema de la red de la misma manera que cualquier otro nodo de una red LAN, aunque con los drivers apropiados. Una vez instalado, la red trata los nodos inalámbricos igual que cualquier otro componente de la red.

### **5.- Interoperatividad de los dispositivos inalámbricos dentro de la red**

Los consumidores deben ser conscientes de que los sistemas inalámbricos de redes LAN de distintos vendedores pueden no ser compatibles para operar juntos. Tres razones:

- Diferentes tecnologías no interoperarán. Un sistema basado en la tecnología de frecuencia esperada (FHSS), no comunicará con otro basado en la tecnología de secuencia directa (DSSS).
- Sistemas que utilizan distinta banda de frecuencias no podrán comunicar aunque utilicen la misma tecnología
- Aún utilizando igual tecnología y banda de frecuencias ambos vendedores, los sistemas de cada uno no comunicarán debido a diferencias de implementación de cada fabricante.

### **6.- Interferencia y coexistencia**

La naturaleza en que se basan las redes inalámbricas implica que cualquier otro producto que transmita energía a la misma frecuencia puede potencialmente dar cierto grado de interferencia en un sistema LAN inalámbrico. Por ejemplo los hornos de microondas, pero la mayor parte de fabricantes diseñan sus productos teniendo en cuenta las interferencias por microondas. Otro problema es la colocación de varias redes inalámbricas en lugares próximos. Mientras unas redes inalámbricas de unos fabricantes interfieren con otras redes inalámbricas, hay otras redes que coexisten sin interferencia. Este asunto debe tratarse directamente con los vendedores del producto.

## **7.- Licencias**

Para poder vender productos de sistemas de LAN inalámbricos en un país en particular, el fabricante debe asegurar la certificación por la agencia encargada en ese país. En España, es el Ministerio de Fomento, el que se encarga de dar las licencias para poder utilizar la red inalámbrica. En Abril de 1999 surgió la noticia que este ministerio proporcionaría 8 nuevas licencias para acelerar la competencia en este campo. Fomento estudió conceder tres licencias para operar en la banda de 3,5 GHz, otras tres en la banda de 25 GHz y dos en la de 28 GHz..

Los servicios que utilicen la banda más baja – 3,5 GHz – podrán ofrecer menor capacidad de transmisión que los que usen las dos bandas superiores, pero a cambio, los equipos necesarios para el despliegue son más baratos y están más probados comercialmente. Con los equipos de 3,5 GHz, Fomento espera que se puedan proporcionar servicios semejantes a los de una línea telefónica convencional. En la banda de 25 GHz y 28 GHz, la tecnología, conocida como LMDS, permite ofrecer velocidades de transmisión hacia el cliente de 2 Mbps, lo que mejora considerablemente las prestaciones de las líneas telefónicas tradicionales y las acerca a las de las redes de cables.

## **8.- Simplicidad y facilidad de uso**

Los usuarios necesitan muy poca información a añadir a la que ya tienen sobre redes LAN en general, para utilizar una LAN inalámbrica. Esto es así porque la naturaleza inalámbrica de la red es transparente al usuario, las aplicaciones trabajan de igual manera que lo hacían en una red cableada. Los productos de una LAN inalámbrica incorporan herramientas de diagnóstico para dirigir los problemas asociados a los elementos inalámbricos del sistema. Sin embargo los productos están diseñados para que los usuarios rara vez tengan que utilizarlos.

Las LAN inalámbricas simplifican muchos de los problemas de instalación y configuración que atormentan a los que dirigen la red. Ya que únicamente los puntos de acceso de las redes inalámbricas necesitan cable, ya no es necesario llevar cable hasta el usuario final. La falta de cable hace también que los cambios, extensiones y desplazamientos sean operaciones triviales en una red inalámbrica. Finalmente, la naturaleza portable de las redes inalámbricas permite a los encargados de la red preconfigurar ésta y resolver problemas antes de su instalación en un lugar remoto.

Una vez configurada la red puede llevarse de un lugar a otro con muy poca o ninguna modificación.

## 9.- Seguridad en la comunicación

Puesto que la tecnología inalámbrica se ha desarrollado en aplicaciones militares, la seguridad ha sido uno de los criterios de diseño para los dispositivos inalámbricos. Normalmente se suministran elementos de seguridad dentro de la LAN inalámbrica, haciendo que estas sean más seguras que la mayor parte de redes cableadas. Es muy complicado que los receptores no sintonizados escuchen el tráfico que se da en la red. Complejas técnicas de encriptado hacen imposible para todos, incluso los más sofisticados, acceder de forma no autorizada al tráfico de la red. En general los nodos individuales deben tener habilitada la seguridad antes de poder participar en el tráfico de la red.

## 10.- Coste

La instalación de una LAN inalámbrica incluye los costes de infraestructura para los puntos de acceso y los costes de usuario para los adaptadores de la red inalámbrica. Los costes de infraestructura dependen fundamentalmente del número de puntos de acceso desplegados.

El coste de instalación y mantenimiento de redes inalámbricas generalmente es más bajo que el coste de instalación y mantenimiento de una red cableada tradicional, por dos razones:

- En primer lugar una red inalámbrica elimina directamente los costes de cableado y el trabajo asociado con la instalación y reparación.
- En segundo lugar una red inalámbrica simplifica los cambios, desplazamientos y extensiones, por lo que se reducen los costes indirectos de los usuarios sin todo su equipo de trabajo y de administración.

## 11.- Escalabilidad

Las redes inalámbricas pueden ser diseñadas para ser extremadamente simples o bastante complejas. Las redes inalámbricas pueden soportar un amplio número de nodos y/o extensas áreas físicas añadiendo puntos de acceso para dar energía a la señal o para extender la cobertura.

## 12.- Alimentación en las plataformas móviles

Los productos WLAN de los usuarios finales están diseñados para funcionar sin corriente alterna o batería de alimentación proveniente de sus portátiles, puesto que no tienen conexión propia cableada. Los fabricantes emplean técnicas especiales para maximizar el uso de la energía del computador y el tiempo de vida de su batería.

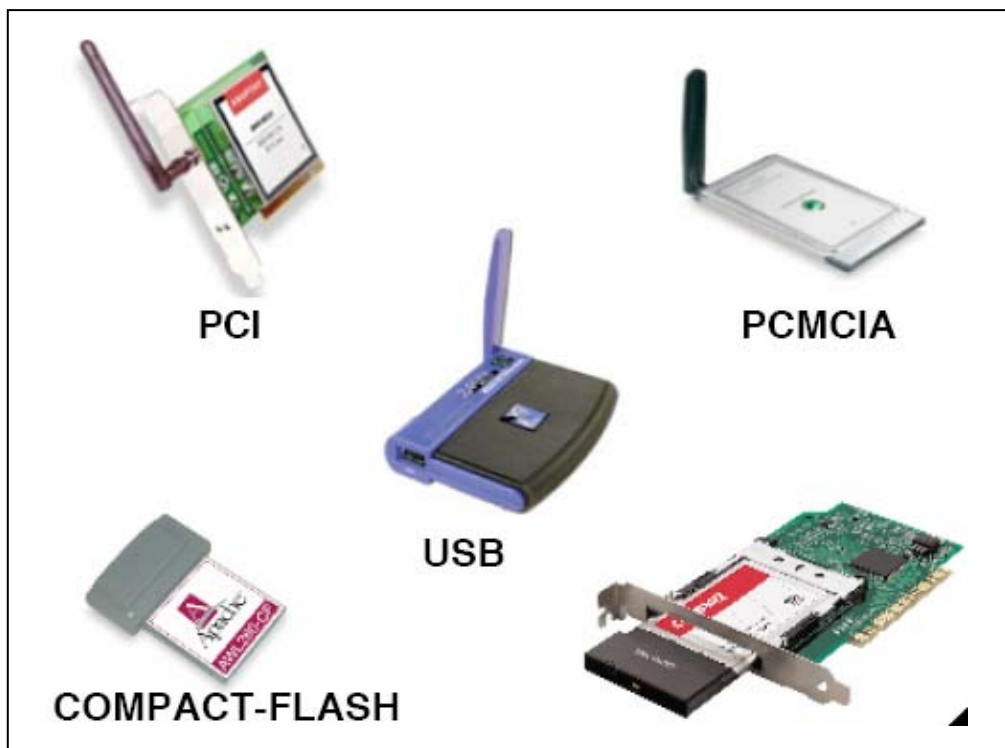
## 13.- Seguridad laboral

La potencia de salida de los sistemas WLAN es muy baja, mucho menor que la de un teléfono móvil. Puesto que las señales de radio se atenúan rápidamente con la distancia,

la exposición a la energía de radio-frecuencia en el área de la WLAN es muy pequeña. Las WLAN's deben cumplir las estrictas normas de seguridad dictadas por el gobierno y la industria. No se han atribuido nunca efectos secundarios en la salud a causa de una WLAN.

## 7. HARDWARE

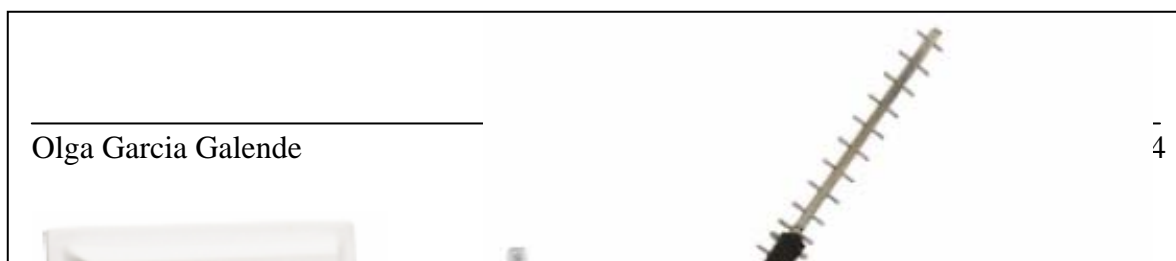
### 7.1 TARJETAS (CLIENTES)



### 7.2 PUNTOS DE ACCESO (AP's)



### 7.3 ANTENAS



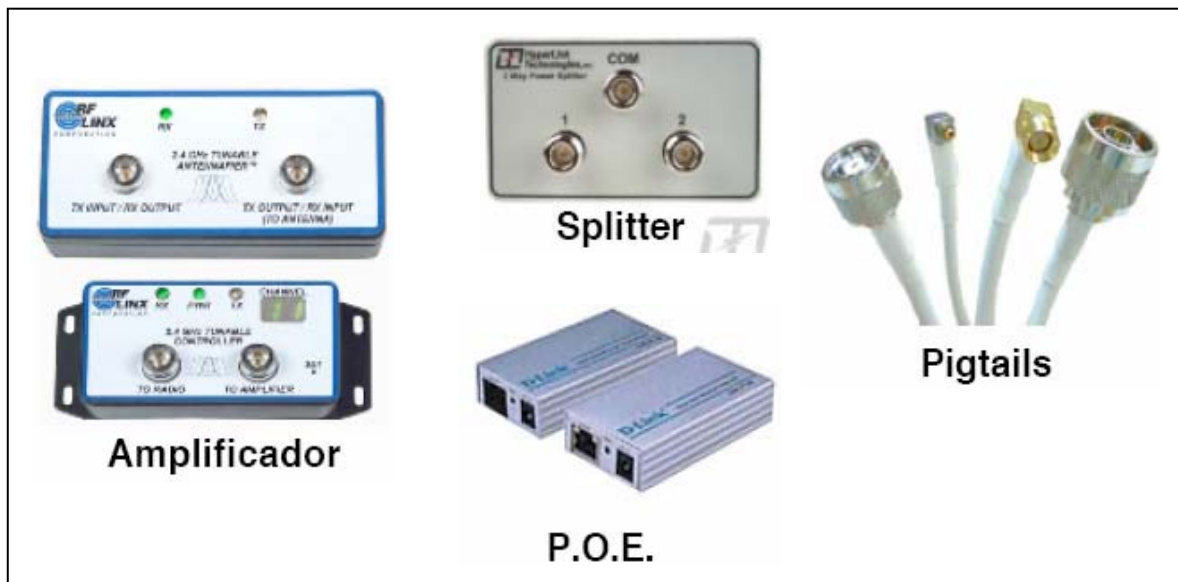
YAGI

PANEL  
(PARCHE)

OMNI

PARABÓLICA

### 7.4 ACCESORIOS



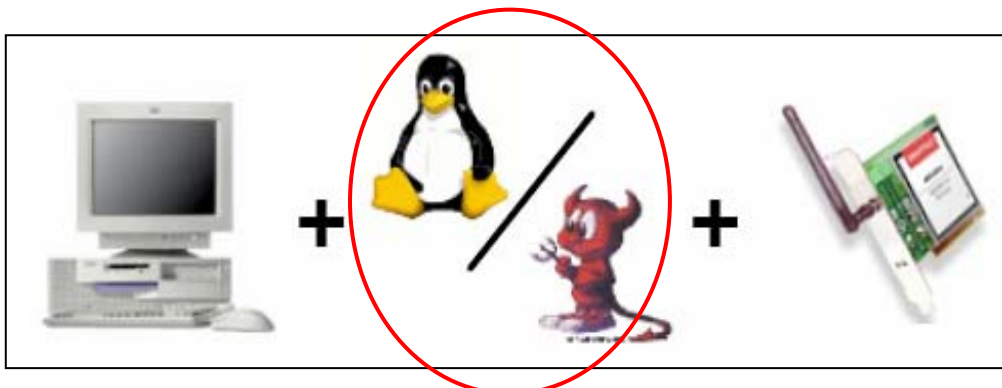
### 7.5 PUENTES



### 7.6 BRICOLAJE



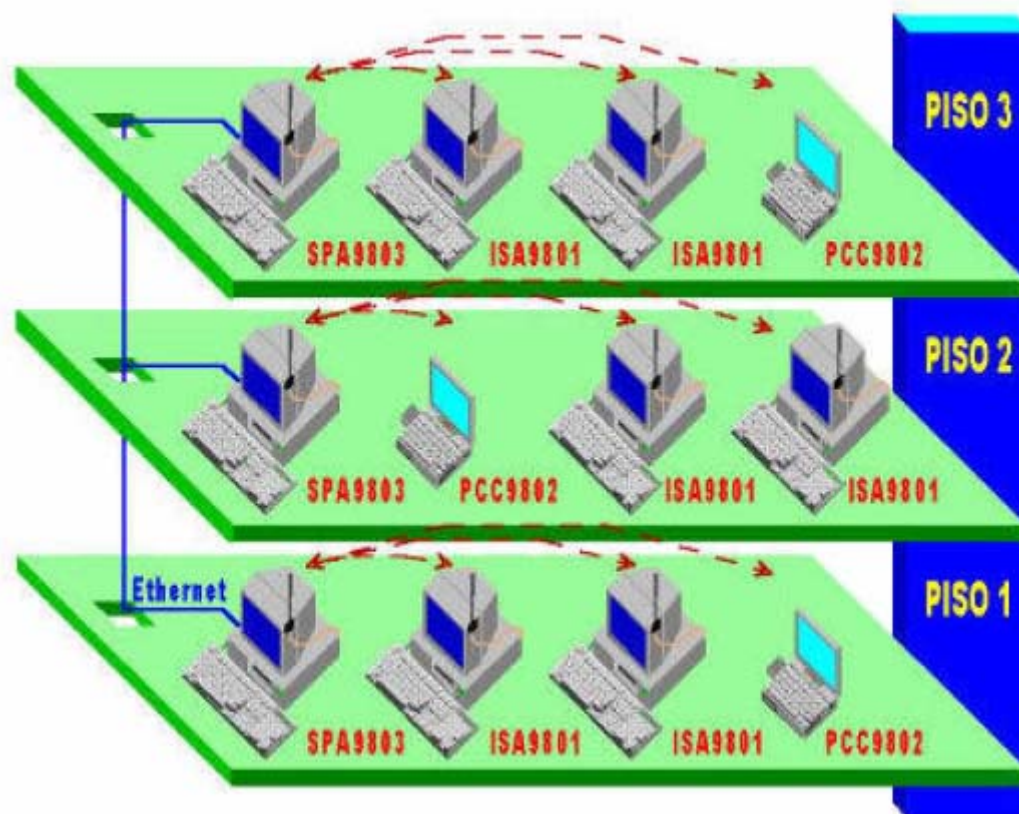
### 8. SOFTWARE



## 9. APLICACIONES

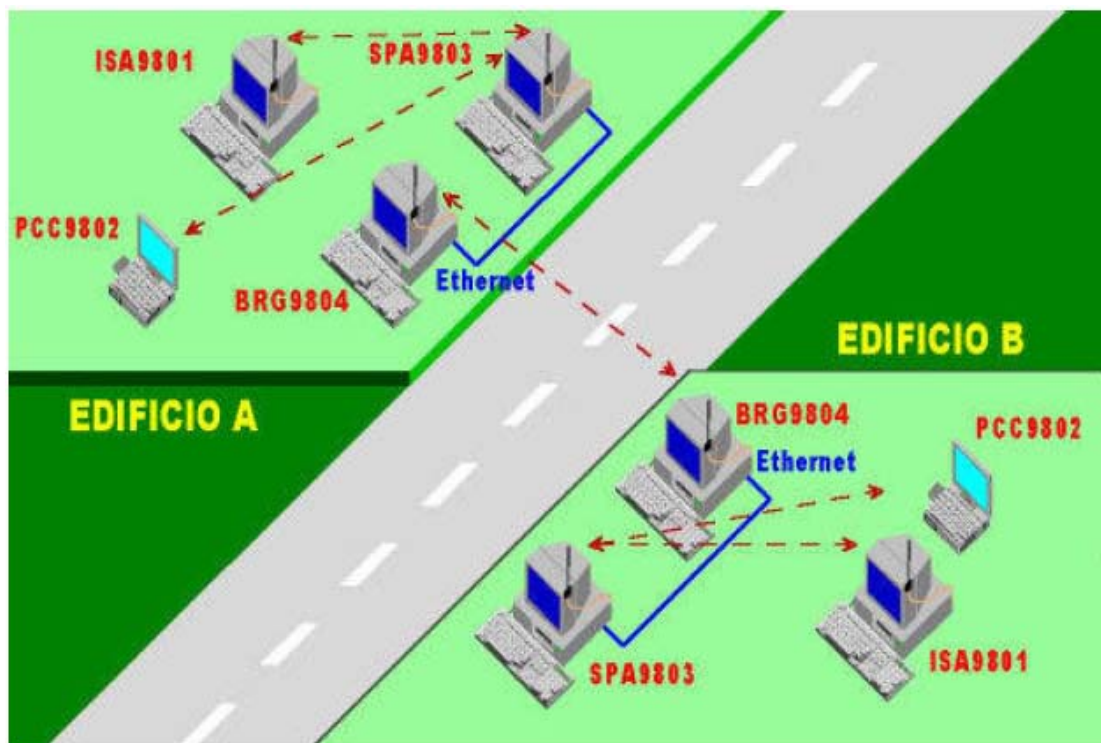
### 9.1 Enlace de áreas físicas independientes mediante Puntos de Acceso

El enlace entre redes inalámbricas situadas en diferentes plantas de un mismo edificio es un perfecto ejemplo del uso del Punto de Acceso SPA9803 para realizar el enlace entre redes inalámbricas independientes, mediante un mínimo cableado Ethernet, en aquellas situaciones de cobertura límite.



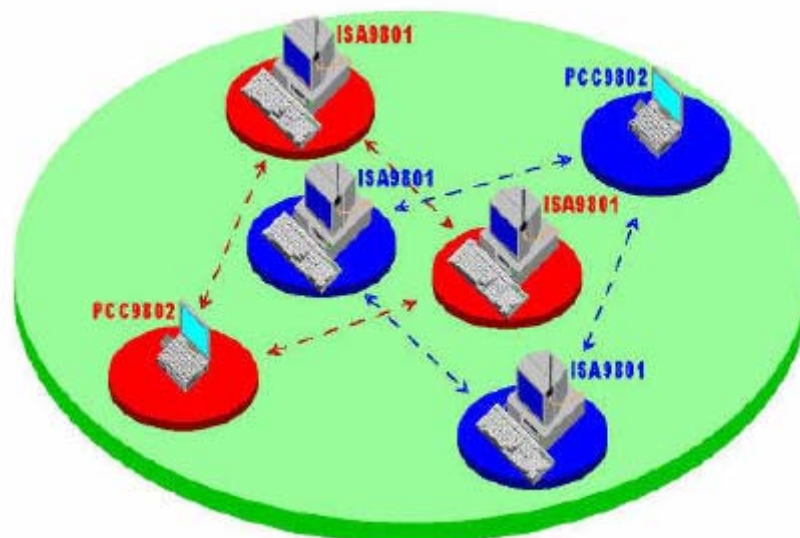
### 9.2 Enlaces entre redes locales próximas

La combinación del Punto de Acceso SPA9803 y el puente BRG9804 permite llevar a cabo el enlace entre dos áreas inalámbricas, cuando resulta imposible o demasiado caro realizar esta unión mediante un cable. Para una situación similar entre dos redes Ethernet existentes, el Puente BRG9804 permite enlazar ambas inalámbricamente salvando vía radio los obstáculos que impedirían su unión mediante un cable.



### 9.3 Redes inalámbricas en la misma área física

Dos o más redes inalámbricas, tanto en modo Ad-Hoc como de Infraestructura, pueden coexistir simultáneamente en la misma área física de cobertura de sus antenas, de forma totalmente transparente a los usuarios de cada una de las redes. Además, mediante una sencilla operación de asignación de canales en su configuración, ambas redes pueden operar a pleno rendimiento de su ancho de banda a 2 Mbps.



## 10. CONCLUSIÓN

Es difícil, después de la elaboración de este trabajo y de todo el tiempo empleado en investigar, dar una conclusión teniendo como base solo conocimientos teóricos acerca del tema. Tampoco resulta una buena idea buscar conclusiones en libros, revistas o páginas web; ¡la variedad de opiniones es inmensa!

Por ello he creído que qué mejor fuente para concluir con una opinión objetiva, real y actual, que una persona que sea parte de este “mundillo” de las redes inalámbricas que tan atractivo resulta...

Ha colaborado conmigo, facilitándome información y ofreciéndome esta conclusión final, **Johnathan Solís**, miembro de “Asturlinux” y del grupo “AsturiasWireless”.

Estas fueron, literalmente, sus palabras:

*“Wireless, es una **tecnología eminentemente doméstica**. Es una manera elegante y sencilla para intercomunicar máquinas (no tiene porqué ser ordenadores) sin cables). No es una tecnología de alto rendimiento ni mucho menos (poca potencia, el rango de frecuencias 2.4 es un muy problemático y está muy saturado, hay que tener contacto visual y si no, jugar a carambolas con rebotes, etc.). El que haya 4 ilusionados intentando llegar lo más lejos posible con una wireless, utilizando globos, botes de “Pringels”, etc., debería de ser un buen indicador de que si la gente se plantea ese tipo de metas es porque es ciertamente complicado.*

*Por esta y por más razones de peso, pienso que no se debe de sacar el WiFi del contexto, y debemos darle el uso para el que fue concebido, es decir: entornos corporativos, en casa, uniendo dos edificios a escasos metros, etc. Ya que **es ahí donde se le saca pleno rendimiento** sin tener que hacer malabarismos ni triquiñuelas.*

*Con esto no quiero criticar a la gente “ilusionada” del mundillo, porque estaría tirando piedras contra mi propio tejado. Pero es que es así.*

*Si quieres una demostración, fíjate en los usos que se le da al wireless en situaciones reales: Hoteles, oficinas,.. Seguro que no hay empresas que se hayan planteado unir dos sedes a varios Km. de distancia (aunque se pueda). La gente se decanta por lo **verdaderamente sencillo y fiable** como, por ejemplo, las VPN's o similar.”*

## BIBLIOGRAFÍA

- *“Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas abiertos”*  
Fred Halsall. Cuarta Edición. Addison Wesley Iberoamericana.
- *“Redes de ordenadores”*  
Andrew S. Tanenbaum. Segunda Edición. Prentice Hall Iberoamericana S.A.
- *“Informática sin cables”*.  
Revista PC-Actual, Abril de 2000.
- *“Tecnología Wireless. Redes sin cables”*.  
Revista PC-World, Octubre de 2002.
- Revista *“Comunicaciones”*.  
Publicaciones profesionales.
- *“Wireless Community Networks. Help for Network Administrators”*.  
Rob Flickenger. O’Reilly Publisher.
- *“Tecnologías para redes LAN inalámbricas”*  
Tom Fout. Microsoft Corporation (Julio 2001).



### PÁGINAS WEB DE REFERENCIA:

- <http://www.ieee802.org/11>
- <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- <http://www.wlana.com/learn/80211.htm>
- <http://www.wi-fi.com>
- <http://www.timagazine.net/magazine/0798/wireless.cfm>
- <http://www.timagazine.net/magazine/0898/wireless2.cfm>
- [http://www.redlibre.net/redes\\_inalámbricas](http://www.redlibre.net/redes_inalámbricas)
- <http://www.asturiaswireless.org>
- <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/wifi/>