



# REGULACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS Wi-Fi

**José Manuel Riera Salís**  
**Universidad Politécnica de Madrid**  
**E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación**



## ÍNDICE

- Normativa técnica. Estándar IEEE 802.11. Certificación Wi-Fi.
- Regulación sobre el uso del espectro.
- Regulación sobre las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria.



## REDES INALÁMBRICAS DE DATOS

- Ventajas:
  - Ubicuidad.
  - Instalación sencilla y rápida.
  - Flexibilidad y escalabilidad.
- Inconvenientes:
  - Interferencias intrasistema e intersistema.
  - Cobertura y capacidad limitadas.
  - Seguridad comprometida, aunque los nuevos protocolos han mejorado este aspecto.



## ESTANDARIZACIÓN DE WLAN

- El estándar IEEE 802.11 fue aprobado en 1997. En 1999 se aprobaron dos enmiendas (802.11a y 802.11b) que aumentaban la velocidad de transmisión.
- En paralelo: HIPERLAN/2 de ETSI y MMAC.
- Otros sistemas como DECT, IrDa, HomeRF o Bluetooth, para conectividad entre equipos.
- Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) es el nombre de la certificación que gestiona la *Wi-Fi Alliance*, creada en 1999 para promover la comercialización de equipos, basados inicialmente en 802.11b, con gran éxito de mercado.



## EVOLUCIÓN DE IEEE 802.11

- Estándar original en 1997, define MAC (Control de acceso al medio) y tres modalidades de capa física con 1 y 2 Mbit/s.
- Enmiendas relativas fundamentalmente al nivel físico:
  - 802.11a. (1999). Nivel físico de alta velocidad en 5 GHz.
  - 802.11b. (1999). Extensión de la capa física de 2,4 GHz con velocidad más alta. Permite llegar a 11 Mbit/s.
  - 802.11g (2003). Extensión de la capa física de 2,4 GHz para velocidades aún más altas, hasta los 54 Mbit/s.
  - 802.11h (2004) Adaptación a la regulación europea en 5 GHz.
  - 802.11n (*Draft* aprobado en 2007). Permitirá velocidades del orden de 100 Mbit/s para el usuario.



## EVOLUCIÓN DE IEEE 802.11(2)

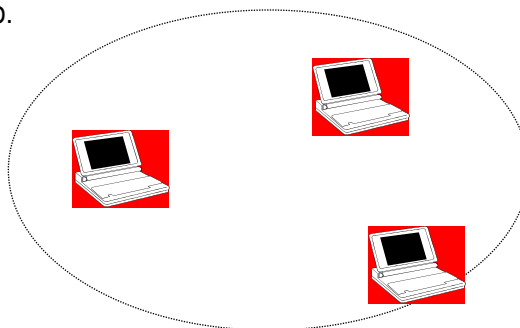
- Otras enmiendas:
  - 802.11d (2001) Permite la operación en entornos regulatorios diferentes de los previstos inicialmente (Europa, USA, Japón)
  - 802.11e (2003 y 2005) Para soporte de calidad de servicio.
  - 802.11f (2003) Relativa al sistema de distribución (conexión entre puntos de acceso). Retirada en 2006.
  - 802.11i (2004) Seguridad mejorada. Sistema WPA. (*Wi-Fi Protected Access*).
  - 802.11j (2004) Operación en las bandas de 4.9 y 5 GHz de Japón

## OBJETO DEL ESTÁNDAR

- Describe las funciones y servicios que debe implementar un dispositivo para poder integrarse en una red 802.11 y poder moverse dentro de ella.
- Permite la superposición de diferentes redes 802.11 en una misma zona sin problemas de funcionamiento en cada una de ellas ni de transferencia de tráfico entre ellas.
- Incluye procedimientos de autenticación y cifrado de las comunicaciones para garantizar la privacidad de las mismas.
- Se incluyen dos tipos de redes: Redes “ad-hoc” y redes basadas en infraestructura.

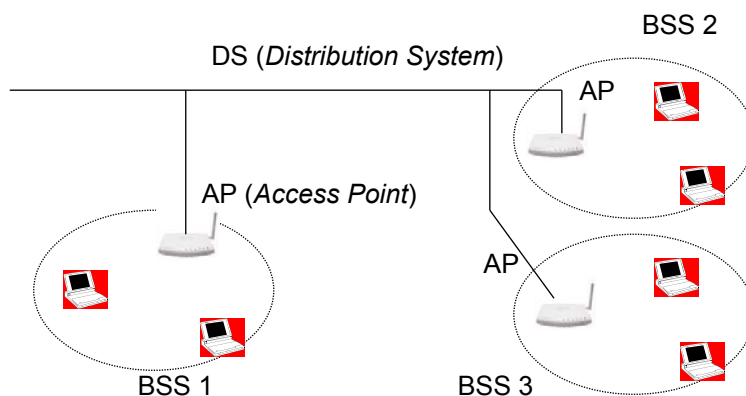
## REDES “AD-HOC”

- Las redes “ad-hoc” se generan de manera espontánea y muchas veces por tiempo limitado, por ejemplo durante una reunión de trabajo.



Red *ad-hoc*  
o  
BSS (*Basic Service Set*)

## REDES BASADAS EN INFRAESTRUCTURA



## EQUIPOS

- Wi-Fi incorporado en portátiles. Terminales PCI, PCMCIA ó USB. Puntos de acceso autónomos con Ethernet.
- Terminales: Antenas integradas, omnidireccional, con diversidad.
- Puntos de acceso: por defecto antenas lineales. Numerosos modelos de antenas, con ganancias de hasta 20 dB.
- La selección de la antena debe hacerse en función de las características de la zona a la que se desea dar servicio.



## EQUIPOS (2)

- Ejemplos de antenas en los AP:
  - Antenas de techo, con diagrama orientado hacia abajo.
  - Paneles para colocar en paredes, con cobertura en un ángulo de 180°.
  - Paneles sectoriales, similares a los que se utilizan en telefonía móvil, para coberturas exteriores.
  - Antenas aún más directivas, tipo Yagi u otros.



## REDES RADIO. GESTIÓN DEL ESPECTRO.

- Utilización del espectro. Atribución de bandas con diferentes usos:
  - Uso común: Solamente en banda ICM (Industrial, Científico y Médico) y otras señaladas para este uso. No precisa título habilitante, pero no puede reclamar protección ni producir interferencias frente a servicios de otras categorías.
  - Uso especial: Compartido, sin exclusión de terceros. Radioafición y otros sin valor económico.
  - Uso privativo: Requiere título habilitante. Va asociado a un servicio determinado o explotación de una red de telecomunicaciones.



## USO COMÚN vs. USO PRIVATIVO

- A partir del éxito del Wi-Fi, muchas voces reclaman la atribución de nuevas bandas para uso común, actualmente muy limitado.
- Ventajas: Uso por todos, sin solicitud ni canon.
- Desventajas: Menores alcances (derivados de la limitación de potencia) y ausencia de protección frente a interferencias.
- Es relevante el espacio en que se vayan a utilizar las redes. Los problemas de interferencias son menores en interiores y en zonas con baja densidad de población, como zonas rurales o urbanizaciones aisladas.



## ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS.

- Atribución de bandas de frecuencias. A nivel internacional en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.
- A nivel nacional: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
- Las bandas de uso común en general eran de definición nacional, aunque crece la coordinación internacional, como ha ocurrido con las bandas de 2,4 y 5 GHz.
  
- Las regulaciones del CNAF se refieren a la gestión del espectro, no a la influencia sobre la salud de las personas.



## REGULACIÓN ESPAÑOLA. CNAF

### UN - 85 Banda 2400 a 2483,5 MHz

a) Acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local...

Las condiciones técnicas de uso han de ser conforme a la Decisión ERC/DEC/(01)07 y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 3. La potencia isotrópica radiada equivalente total será inferior a 100 mW (p.i.r.e.).

...resto de características técnicas ... ETSI EN 300 328. Esta utilización se considera de uso común.



## REGULACIÓN ESPAÑOLA. CNAF (2)

### U N – 128 RLANs en 5 GHz

... Las bandas de frecuencia indicadas seguidamente podrán ser utilizadas por el servicio móvil en sistemas y redes de área local de altas prestaciones, de conformidad con las condiciones que se indican a continuación. Los equipos utilizados deberán disponer del correspondiente certificado de conformidad de cumplimiento con la norma EN 301 893 o especificación técnica equivalente.

Banda 5150 – 5350 MHz: ... únicamente en el interior de recintos. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será de 200 mW (p.i.r.e.), siendo la densidad máxima de p.i.r.e. media de 10 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz.





## REGULACIÓN ESPAÑOLA. CNAF (3)

### U N – 128 RLANs en 5 GHz

...Adicionalmente, en la banda 5250-5350 MHz el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima deberá ser de 100 mW (p.i.r.e). Resto de características técnicas han de ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08.

Las utilizaciones indicadas anteriormente se consideran de uso común.



## REGULACIÓN ESPAÑOLA. CNAF (4)

### U N – 128 RLANs en 5 GHz

Banda 5470 - 5725 MHz: Esta banda puede ser utilizada para sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local en el interior o exterior de recintos, y las características técnicas deben ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. La potencia isotrópica radiada equivalente será inferior o igual a 1 W (p.i.r.e.).

En caso de no usar técnicas TPC, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima (p.i.r.e) deberá ser de 500 mW (p.i.r.e).

Estas ... redes de área local tienen la consideración de uso común. ...



## CONCEPTO DE P.I.R.E.

P.I.R.E. Potencia isotrópica radiada equivalente.

- Referencia: Antena isótropa. Radia por igual en todas las direcciones del espacio.
- Antena real: Concentra la radiación en algunas direcciones, restándola de otras. La concentración de la potencia la mide la Ganancia de antena.
- Ej. : Una ganancia de 4 (6 dB) supone que en esa dirección la intensidad de radiación es 4 veces superior a la que se tendría con una antena isótropa que radiara la misma potencia.



## CONCEPTO DE P.I.R.E. (2)

- Para un transmisor conectado a un antena real, la p.i.r.e. en una cierta dirección es la potencia que tendría que emitir una antena isótropa para producir el mismo efecto en esa dirección.
- Ejemplo: Un transmisor de 1 W conectado a una antena con 6 dB (en una cierta dirección) produce el mismo efecto que un transmisor de 4 W conectado a una antena isótropa. La p.i.r.e. del transmisor sería de 4 W (6 dBW). En general: p.i.r.e. = potencia x ganancia/pérdidas en cables de conexión.
- En dB: P.I.R.E. = Potencia (dBW) + Ganancia (dB) – Pérdidas (dB).
- Atención a la configuración de puntos de acceso/cables/antenas.



## LEY GENERAL DE TELECOMUNICACIONES

- Ley 32/2003 de 3 de noviembre, constituye la norma principal en la materia en España.
  - **El Título V** de la LGT trata sobre el Dominio Público Radioeléctrico. Tiene tres artículos (43 a 45).
  - **Artículo 43. Gestión del dominio público radioeléctrico.** Atribuye al Estado esta gestión
  - **Artículo 44. Facultades del Gobierno para la gestión del dominio público radioeléctrico.** Debe regular como mínimo:
    - Niveles tolerables de emisiones, que no supongan peligro para la salud pública. Esos niveles deben respetarlos las demás administraciones.



## REGLAMENTO DE USO DEL ESPECTRO

- Reglamento de desarrollo de la LGT en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico. (BOE 15-3-00).
  - Define el dominio público radioeléctrico como el espacio por el que pueden propagarse las ondas radioeléctricas.
  - Define competencias en relación a Planes de utilización y CNAF.
  - Define el Registro Nacional de Frecuencias (RENAFE). En él se inscriben los datos del titular de una asignación y las características técnicas de la misma.
  - Describe las condiciones técnicas y administrativas para el uso del espectro radioeléctrico, en sus diferentes categorías de uso común, uso especial y uso privativo.



## REAL DECRETO 1066/2001

- Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
  - Publicado en el BOE de 29-9-01, en respuesta a la alarma social creada en torno a las estaciones radioeléctricas.
  - Sigue la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de Ministros de Sanidad europeos, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.



## REAL DECRETO 1066/2001(2)

- Se establecen límites de exposición a las emisiones. Los límites son de dos tipos:
  - Restricciones básicas. Según la frecuencia se expresan en términos de inducción magnética (B), densidad de corriente (J), densidad de potencia (S) o índice de absorción específica de energía (SAR).
  - Niveles de referencia. A efectos prácticos, y para facilitar las mediciones, se dan niveles de intensidad de campo eléctrico (E) o magnético (H), inducción magnética (B) o densidad de flujo de potencia (S). El cumplimiento de los niveles de referencia garantiza el de las restricciones básicas.



### REAL DECRETO 1066/2001(3)

- Los operadores deberán medir los niveles de exposición en zonas cercanas a sus instalaciones en las que puedan permanecer habitualmente personas. Si se superan los límites deberá señalizarse y vallarse la zona. Se establecen procedimientos de inspección.
- Obligación legal para operadores con licencia de tipo B2 y C2, así como los operadores que dan soporte a los servicios de radiodifusión sonora y de televisión. Estudios previos y certificaciones basadas en mediciones.



### DESARROLLO DEL R.D. 1066/2001

- Orden CTE/23/2002 del MCyT, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones...
  - Regula los contenidos y formatos de los estudios y certificaciones que deben presentar los operadores.
  - Las medidas deben estar realizadas por un técnico competente, visadas por su Colegio profesional.
  - Tres fases:
    - Fase 1. Medidas con sonda isotrópica. Se debe recorrer el entorno, identificar los máximos, tomar medidas de detalle.
    - Si no se superan los niveles de decisión (6 dB menos que los de referencia) no se pasa a fase 2 y 3.



## DISTANCIA Y VOLUMEN DE REFERENCIA

- Se utilizan en los estudios teóricos sobre el impacto de una nueva estación radioeléctrica:
  - Distancia de referencia: Distancia a la que los niveles de campo coinciden con los límites del R.D. 1066/2001.
  - Volumen de referencia: Volumen que contiene todos los puntos en que se superan los límites del R.D. 1066/2001.
  - El volumen de referencia puede calcularse de diferentes maneras, algunas más sencillas y otras más precisas pero complejas.
  - El objetivo es comprobar si incide sobre zonas en que puedan permanecer personas de manera habitual.



## DISTANCIA DE REFERENCIA

- Se calcula con la siguiente expresión:

$$D_{max} = \left[ \frac{M \cdot PIRE}{4 \cdot \pi \cdot S_{max}} \right]^{1/2}$$

- Donde:

- PIRE: Producto de potencia máxima por ganancia isótropa de la antena, en unidades naturales (W)
- $S_{max}$ : Límite de densidad de flujo de potencia, en W/m<sup>2</sup>
- M: Factor que tiene en cuenta la posible reflexión. M = 1 en su ausencia. M = 4 es caso peor (combinación en fase). M = 2,56 valor típico (suma en potencia).
- $D_{max}$  se obtiene en metros.



## EJEMPLO DE CÁLCULO

- En las bandas de Wi-Fi el límite de seguridad que fija la normativa es de 10 W/m<sup>2</sup>. Tenemos tres casos:
  - Con PIRE = 0,1 W (máximo en la banda de 2,4 GHz):

$$D_{\max} = \left[ \frac{M \cdot \text{PIRE}}{4 \cdot \pi \cdot S_{\max}} \right]^{1/2} = \left[ \frac{2,56 \cdot 0,1}{4 \cdot \pi \cdot 10} \right]^{1/2} \cong 4,5 \text{ cm}$$

- Con PIRE = 0,2 W (máximo para interiores en la banda de 5 GHz):

$$D_{\max} = \left[ \frac{M \cdot \text{PIRE}}{4 \cdot \pi \cdot S_{\max}} \right]^{1/2} = \left[ \frac{2,56 \cdot 0,2}{4 \cdot \pi \cdot 10} \right]^{1/2} \cong 6,3 \text{ cm}$$



## EJEMPLO DE CÁLCULO (2)

- Con PIRE = 1 W (máximo para exteriores en la banda de 5 GHz):

$$D_{\max} = \left[ \frac{M \cdot \text{PIRE}}{4 \cdot \pi \cdot S_{\max}} \right]^{1/2} = \left[ \frac{2,56 \cdot 1}{4 \cdot \pi \cdot 10} \right]^{1/2} \cong 14,2 \text{ cm}$$

- En distancias tan cortas, duplicar la distancia supone dividir por cuatro la densidad de flujo de potencia. Pasar del orden de 10 cm al orden de 1 m supone dividir por 100 la densidad de flujo de potencia.



## CONCLUSIONES

- Los sistemas Wi-Fi utilizan bandas de frecuencias de uso común, en las cuales no es necesario solicitar una licencia de uso. A cambio, tienen estrictas regulaciones sobre la potencia máxima que pueden emitir.
- Estas regulaciones afectan por igual a los puntos de acceso/routers y a los terminales de usuario, y se establecen en términos de p.i.r.e., pero no son relevantes en cuanto a los efectos sobre la salud. Por ejemplo, en EE.UU. se permite 1 W de p.i.r.e. en 2,4 GHz.
- Los equipos deben cumplir la normativa y llevar el marcado CE correspondiente, además de la certificación Wi-Fi.



## CONCLUSIONES (2)

- La regulación sobre emisiones radioeléctricas no impone ninguna obligación sobre estas redes, ni relativa a estudios previos ni a certificaciones.
- Los estudios realizados a modo de ejemplo confirman que a escasos centímetros de los terminales y puntos de acceso se respetan suficientemente los límites de seguridad en cuanto a la exposición a las emisiones radioeléctricas.
- En caso de ser conveniente la realización de medidas, éstas deben ser realizadas por un técnico competente, con la instrumentación adecuada, según la O.M. CTE/23/2002.