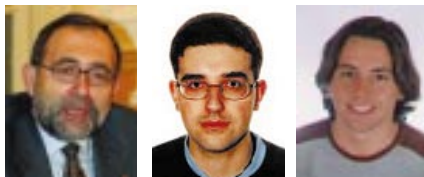


Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa



José I. Montes/Pablo Almorox González/José A. Rodríguez Salazar

Catedrático de Universidad. UPM/Ingeniero de Telecomunicación/Ingeniero de Telecomunicación

Las diferencias existentes entre la normativa técnica de EEUU y Europa relativas al despliegue de redes inalámbricas, en cuanto a bandas de frecuencia disponibles, número de canales y potencia de transmisión permitidas, pueden influir decisivamente en la calidad y tipos de servicios que puedan ofrecerse. Se hace necesaria una seria reflexión para que la normativa técnica no defraude las expectativas creadas con respecto a esta tecnología.

En los últimos años, las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, *Wireless Local Area Networks*) basadas en el estándar IEEE 802.11 [1] y sus derivados han conseguido unos altos niveles de implantación y desbordar el ámbito de aplicaciones y servicios para los que fueron inicialmente concebidas. De hecho, se han convertido en un fenómeno tecnológico.

Esta tecnología nació en Estados Unidos pero ha ido extendiéndose en todo el mundo, ganando cuota de mercado a otros estándares competidores (p.ej, HiperLAN en Europa). Una de las grandes ventajas de esta tecnología es que opera en una banda de uso común. Sin embargo, la disponibilidad de estas bandas no licenciadas depende de la regulación de cada país, por lo que los estándares WLAN del IEEE deben adaptar sus características técnicas (potencia, canales, etc.) a las restricciones que los distintos organismos reguladores del espectro imponen.

En el presente artículo se pretende analizar las diferencias que a este respecto contempla la *Federal Communications Commission* (FCC)

[2] y el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) [3].

LOS ESTÁNDARES IEEE 802.11b/g

Los estándares IEEE 802.11b y 802.11g utilizan diferentes modulaciones y consiguen distintas tasas de velocidad. Sin embargo, operan en la misma banda de frecuencias y utilizan los mismos canales, por lo que pueden ser analizados conjuntamente.

Tanto en Estados Unidos como en España la banda Industrial, Científica y Médica (ICM) de 2,4 GHz, de uso común, se extiende desde 2400 a 2483,5 MHz. Sin embargo, el estándar establece distinto número de canales para la implementación americana y la europea (a la cual se adapta la normativa española). La Tabla 1 indica que son 13 los canales en España y 11 en el caso de USA.

El estándar IEEE 802.11, aprobado en el año 1999, refleja sólo dos canales disponibles en esta banda →

Frecuencia (MHz)	Canal	FCC	ETSI
2412	1	SI	SI
2417	2	SI	SI
2422	3	SI	SI
2427	4	SI	SI
2432	5	SI	SI
2437	6	SI	SI
2442	7	SI	SI
2447	8	SI	SI
2452	9	SI	SI
2457	10	SI	SI
2462	11	SI	SI
2467	12	NO	SI
2472	13	NO	SI
2484	14	NO	NO

Tabla 1: Canales de frecuencia para los estándares IEEE 802.11b/g

Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa

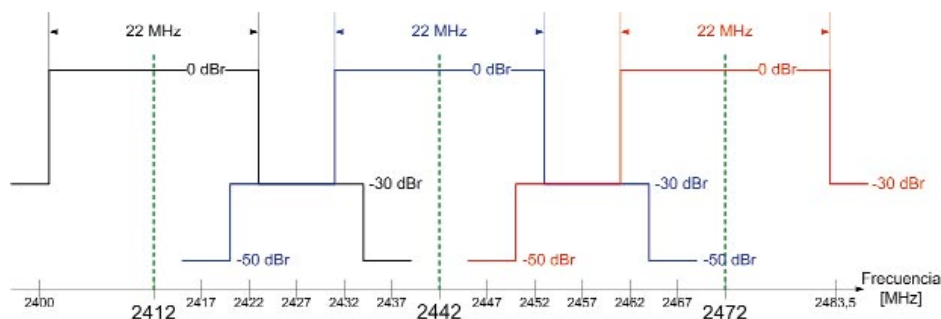


Figura 1: Canales no solapados utilizados en el espectro europeo.

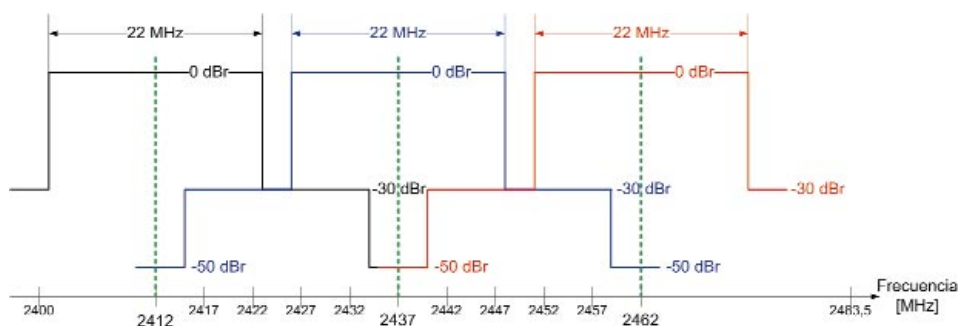


Figura 2: Canales no solapados utilizados en el espectro americano

(canal 10 y 11); sin embargo, con las modificaciones introducidas en el año 2000, ya están disponibles todos los canales especificados por la normativa europea. Pese a este hecho, todavía hoy en día se pueden encontrar muchas publicaciones incorrectas [4] que asignan únicamente dos canales en España, pues utilizan como fuente los estándares del IEEE.

Como la separación entre canales es 5 MHz y cada canal ocupa un ancho de banda de 22 MHz, todos los canales solapan con sus adyacentes.

Tanto en Estados Unidos como en España el número máximo de canales sin solapamiento se reduce a 3. Es decir, pueden ser utilizados 3 canales simultáneamente en puntos de acceso diferentes, consiguiendo así triplicar la capacidad

“La posibilidad de utilizar antenas directivas en EEUU permite la implementación de radioenlaces punto-punto”

total que ofrece la red a los usuarios. En el caso de España, los canales son el 1, 7 y 13, mientras que en Estados Unidos son el 1, 6 y 11, basándose en el criterio de usar los canales que estén más alejados unos de otros (véanse figuras 1 y 2).

En cuanto a potencias de transmisión, la diferencia es más nota-

ble puesto que la regulación es mucho más permisiva en Estados Unidos. A grandes rasgos, en esta banda, la FCC aprueba transmitir 40 veces, 16 dB más, la potencia máxima permitida en España.

Trás la última propuesta de modificación del CNAF, en su nota de utilización UN-85 se establece una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima de 20 dBm (100mW) para estas aplicaciones. Además, se indica que, en esta banda, es preferente el uso en el interior de edificios.

Por otro lado, la norma americana (FCC 15.247) establece una PIRE máxima de 36 dBm (4 W). La restricción de la FCC también se extiende a la potencia de transmisión máxima (TPO_{max}), de modo que si ésta aumenta ha de reducirse la ganancia de la antena. Para el caso de redes punto-multipunto, cada dB de aumento en la ganancia de la antena (sobre 6 dBi) implica la obligación de reducir 1dB el TPO. En este caso, se ha de cumplir siempre la PIRE máxima. Sin embargo, para redes punto a punto, por cada dB de aumento, sólo hay que reducir 1/3dB. La regulación es más permisiva en este caso para promocionar el uso de antenas directivas y reducir las interferencias pudiendo incluso rebasar los 36 dBm de PIRE.

Así, por ejemplo, una antena de 24 dBi está 18 dB por encima de la antena isotrópica (6 dBi), por lo que el transmisor deberá reducir su TPO en $18/3 = 6$ dB. Es decir, pasará de 1W (30 dBm) a 250 mW (24 dBm) de TPO. Para este ejemplo, la PIRE resultaría:

$$PIRE = TPO + G_{ant} = 24 \text{ dBm} + 24 \text{ dBi} = 48 \text{ dBm} (63W)$$

La potencia es muy grande en comparación con la norma española pero hay que tener en cuenta que

Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa

sólo se mediría ese valor en la dirección de apuntamiento de la antena.

LOS ESTÁNDARES IEEE 802.11a/h

La banda de 5 GHz dispone de un mayor ancho de banda que la banda de 2,4 GHz, y presenta un menor nivel de interferencias ya que en la banda de 5 GHz existen menos servicios que los que se pueden encontrar en la banda ICM. No es de extrañar entonces que se creara un estándar específico para hacer uso de estas frecuencias. Aún así, presenta otros problemas como que el uso de mayores frecuencias implica mayor atenuación en las transmisiones y la poca armonía que exis-

Banda de frecuencia (MHz)	Número canal	Frecuencia central (MHz)	FCC	CNAF
5150-5250	36	5180	SI	SI
	40	5200	SI	SI
	44	5220	SI	SI
	48	5240	SI	SI
5250-5350	52	5260	SI	SI
	56	5280	SI	SI
	60	5300	SI	SI
	64	5320	SI	SI
5470-5725	100	5500	SI	SI
	104	5520	SI	SI
	108	5540	SI	SI
	112	5560	SI	SI
	116	5580	SI	SI
	120	5600	SI	SI
	124	5620	SI	SI
	128	5640	SI	SI
	132	5660	SI	SI
	136	5680	SI	SI
5725-5825	140	5700	SI	SI
	149	5745	SI	NO
	153	5765	SI	NO
	157	5785	SI	NO
	161	5805	SI	NO

Tabla 2: Canales de frecuencia para los estándares IEEE 802.11a/h

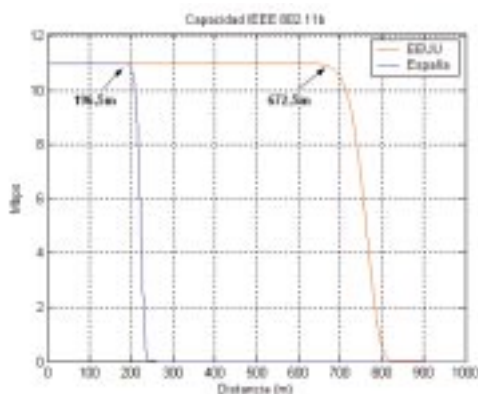


Figura 3: Capacidad vs. Distancia en IEEE 802.11b (2412MHz)

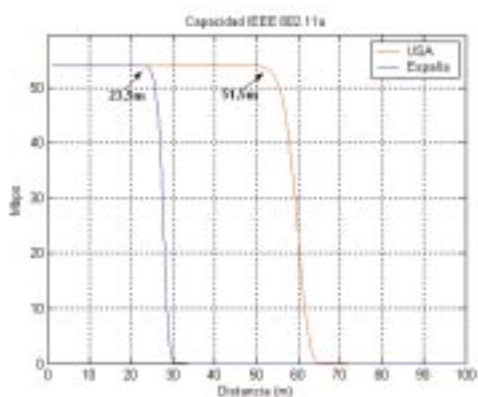


Figura 4: Capacidad vs. Distancia en IEEE 802.11a (5300MHz)

te a nivel internacional en cuanto a las bandas.

Inicialmente, en Europa se iba a desarrollar e implantar un estándar de comunicaciones de alta velocidad para redes inalámbricas en la banda de 5 GHz similar al IEEE 802.11 de EEUU, denominado HiperLAN/2 (5150–5350 MHz, 5470–5725 MHz). Sin embargo, la familia IEEE 802.11 ha acabado imponiéndose como estándar de facto para los productos comerciales utilizados en el despliegue de redes inalámbricas.

“El mayor nivel de potencia de transmisión tolerado por la FCC posibilita un despliegue con mayores alcances y zonas de cobertura”

IEEE 802.11 y 802.11b se hicieron fácilmente hueco en el mercado europeo ya que no existía ningún estándar de la ETSI en la banda de 2,4 GHz. No obstante, IEEE 802.11a no tuvo tanta suerte porque tenía que competir con el estándar de la ETSI HiperLAN/2, con el que además era incompatible técnicamente. La aparición de IEEE 802.11g, que ofrecía las ventajas operativas de los estándares de 5 GHz en la banda de 2,4 GHz, junto a la predisposición de los fabricantes hacia los productos IEEE, impidió el avance en la utilización de la banda de 5 GHz.

Debido a que en la banda de 2,4 GHz sólo se pueden proveer 3 canales sin solapamiento, lo cual resulta insuficiente en algunas planificaciones radio, es interesante el salto cualitativo a la banda de 5 GHz pues dispone de un mayor ancho de banda (19 canales sin solapamiento en Europa). De este modo, se desarrolló el estándar IEEE 802.11h, que adapta las características técnicas de IEEE 802.11a a la normativa europea.

Para el estándar IEEE 802.11a, las bandas sin licencia en 5GHz no coinciden →

Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa



ciden en Europa y en Norte América. Así, la FCC regula las bandas 5150–5250 MHz, 5250–5350 MHz, 5470–5725 MHz y 5725–5825 MHz por medio de la norma FCC 15.407, y la normativa española establece el uso de redes inalámbricas en las bandas 5150–5250 MHz, 5250–5350 MHz y 5470–5725 MHz en la UN-128 del CNAF.

El estándar IEEE 802.11a no contempla el uso de la banda 5470–5725 MHz pero la FCC, desde Noviembre del 2003, modifica las normas correspondientes para hacer disponible esta banda para uso de RLANs.

De este modo, el ancho de banda total que se destina en España en la banda de 5 GHz es menor. En concreto, la suma resulta 455 MHz frente a los 555 MHz del espectro americano. Esto se traduce en un mayor número de canales para la implementación americana del 802.11a (19 canales en España y 23 en EEUU). A continuación se detalla y compara la distribución de canales en la Tabla 2.

Los canales del estándar IEEE 802.11a tienen un ancho de banda 16,6 MHz y están separados 20 MHz (es decir, los canales se establecen de 4 en 4 en saltos de 5 MHz). En

este caso, el espectro de ningún canal solapa con algún otro colindante, por lo que pueden ser utilizados todos al mismo tiempo para planificar una red inalámbrica.

“El mayor número de canales no solapados y de bandas de frecuencia disponibles en la banda de 5 GHz en EEUU, permite una mejor calidad en la oferta de servicios”

En términos de potencias, la FCC sigue siendo menos restrictiva y permite mayores potencias de transmisión. Según la norma americana FCC 15.407 las potencias dependen de si la red es punto-multipunto o punto-punto, tal como se muestra en la Tabla 3.

Para beneficiarse del uso de antenas directivas (punto a punto), sólo se autoriza la banda alta (5725 a 5825 MHz) estableciendo el mismo valor de TPO_{max} (1 W). En este caso, por cada dB de ganancia de la antena sobre 23 dBi, el transmisor debe reducir su TPO en la misma cantidad. Esto se traduce en una PIRE máxima de:

$$PIRE_{max} = TPO_{max} + G_{ant} = 30 \text{ dBm} + 23 \text{ dBi} = 53 \text{ dBm} = 200 \text{ W}$$

La normativa española establece en la nota de Utilización Nacional UN-128 los límites de PIRE que aparecen en la Tabla 3.

RESUMEN DE LA NORMATIVA ASOCIADA A LOS ESTÁNDARES IEEE 802.11.

La Tabla 3 resume las bandas de frecuencias y potencias máximas permitidas para el uso de redes inalámbricas, según la FCC y el CNAF.

En España, la banda de frecuencias 5725–5825 MHz no es aplicable en el despliegue de redes inalámbricas ya que se utiliza para otros servicios descritos en las notas de Utilización Nacional UN-115 y UN-130. La nota UN-115, que hace referencia a “Dispositivos genéricos de corto alcance”, y la nota UN-130, sobre “Dispositivos de corto alcance en 5 GHz”, exigen el cumplimiento de los límites de potencia indicados en la Recomendación CEPT/ERC 70-03, que limita la potencia máxima a 25 mW (PIRE). En ambas notas la utilización se considera de uso común.

COMPARATIVA DE ALCANCE EN CAPACIDAD EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA TRANSMITIDA

Las figuras 3 y 4 muestran el cálculo de la capacidad en función de

Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa



la distancia para diferentes estándares y las distintas normativas. De esta forma, se compara la influencia de la potencia transmitida en la cobertura. Se puede observar, en ambos casos, que la mayor potencia de transmisión de la FCC permite obtener un mayor alcance.

un mayor alcance y, portanto, una mayor zona de cobertura para un mismo emplazamiento.

- En la normativa española contenida en el CNAF (*Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias*), aunque no se descarta el uso de antenas directivas, no distingue entre antenas omnidireccionales y direccionales a la hora de imponer el límite de la máxima potencia transmitida, ya que se restringe su nivel al valor en la máxima dirección de radiación. De este modo, mientras la norma americana permite transmitir más potencia en la medida en que se utilizan antenas más directivas y, por consiguiente, se producen menos interferencias, la regulación española no favorece el uso de este tipo de antenas.

EN RESUMEN

- La FCC (*Federal Communications Commission*), el organismo regulador americano, es menos restrictivo en cuanto a las potencias de transmisión. Esto implica conseguir
- En la planificación radio de redes inalámbricas de área local para la prestación de servicios de VoIP (*Voice over IP*), es preferible utilizar la banda de 5 GHz frente a

la de 2,4 GHz debido a que la primera posee un mayor número de canales de frecuencia no solapados. De esta forma, se producirán menos interferencias debido a una menor reutilización de los canales y, además, la red proveerá una mayor capacidad gracias a la posibilidad de agregar un mayor número de canales. Por otro lado, los esquemas de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) utilizados en la banda de 5 GHz son más robustos frente a la propagación multitrayecto que los esquemas DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) de la banda de 2,4 GHz.

- La FCC habilita una zona del espectro radioeléctrico mayor (23 canales) que la disponible en España (19 canales). Así, permite el uso de la banda 5725-5825 MHz para el despliegue de redes inalámbricas de área local con PIRE máxima de 4 W; mientras que en España esta banda está destinada al uso de dispositivos de corto alcance con una PIRE máxima de 25 mW.

		FCC		CNAF	Número canales
		Punto a multipunto	Punto a punto		
802.11b y 802.11g	Banda 2400-2483,5 MHz	36 dBm/4 W (si G_{ant} crece 1 dB sobre 6dBi, TPO** debe disminuir 1dB)	PIRE variable (TPO = 36dBm para G_{ant} = 6dBi, si G_{ant} crece 1 dB sobre 6dBi, TPO** debe disminuir 1dB)	20dBm/100mW (generalmente "indoor")	11 portadoras USA 13 portadoras España (con solapamiento)
	Banda 5150-5250 MHz	23 dBm/200 mW (TPO** = 30 mW)	N/A	23dBm/200mW (sólo "indoor") (sin TPO**)	4 portadoras separadas 20 MHz (sin solapamiento)
802.11n	Banda 5250-5350 MHz	30 dBm/1 W (TPO** = 250 mW)	N/A	20dBm/100mW (sin TPO** y con DFS) 23dBm/200mW (con TPO** y DFS) (sólo "indoor")	8 portadoras separadas 20 MHz (sin solapamiento)
	Banda 5470-5725 MHz	30 dBm/1 W (TPO** = 250 mW)	N/A	27dBm/500mW (sin TPO** y con DFS) 30dBm/1mW (con TPO** y DFS) ("indoor" y "outdoor")	11 portadoras separadas 20 MHz (sin solapamiento)
	Banda 5725-5825 MHz	36 dBm/4 W (TPO** = 1 W)	53 dBm/200 W (si G_{ant} crece 1 dB sobre 23dBi, TPO** debe disminuir 1 dB)	N/A	4 portadoras separadas 20 MHz (sin solapamiento)

Tabla 3: Comparación PIRE máximas en FCC y CNAF.
 (*) TPO = Potencia a la salida del transmisor.
 (**) TPC = Control de potencia transmitida.
 (x) DFS = Selección dinámica de frecuencia.

Referencias

- [1] Estándares IEEE 802.11. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>
- [2] Federal Communications Commission. <http://www.fcc.gov>
- [3] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. <http://www.setsi.mcyt.es/espectro/cnaf.htm>
- [4] Alex Hills, Bob Friday. *Radio Resource Managements in Wireless LANs*. IEEE Radio Communications. December 2004.
- [5] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. *Informe sobre la situación de las tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi")*. Septiembre 2004.