



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

Grupo del ESPECTRO



colegio oficial
ingenieros de telecomunicación

Uso de las Bandas Libres de 5470-5725 MHz y 5725-5875 MHz en España

JULIO 2012





Grupo del Espectro

Presidente: José María Hernando Rábanos

Ramón	Agustí Comés
Jesús	Almazán Picazo
Luis	Arranz Carrión
Juan	Cañas Santos
Didier	Clavero Pérez
Miguel	Crisóstomo Mendiola
Leandro	de Haro Ariet
José A.	Delgado Penín
Javier	Dominguez Sanz
Marcos	Eguillor Fernández
Carlos	Fernandez Valdivielso
Alfonso	Flores Rubio
José María	Hernando Rábanos
Cayetano	Lluch Mesquida
Jaime	Mancebo Galán
Valeriano	Martín Manrique
Julio	Martínez Sabater
Noelia	Miranda Santos
Adolfo	Montalvo Santamaría
Isaac	Moreno Peral
Dionisio	Oliver Segura
Jaume	Pujol
Emilio	Rivas Sánchez
David	Rojo Alonso
Julio	Sánchez Agrelo
Juan Manuel	Vázquez Burgos
Fernando	Arconada San Martín
Josep	Ventosa Freixedes
Pilar	González Blanco García
José Vicente	Rodríguez Martín
Francisco Javier	De Paz Fernández
Pablo	Vila Rodríguez





ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	APLICACIONES DE LAS BANDAS LIBRES	8
3.	REGULACIÓN DE LAS BANDAS LIBRES DE 5GHZ.....	9
4.	TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LAS BANDAS LIBRES DE 5GHZ.....	12
5.	PROBLEMAS DETECTADOS	14
6.	POSIBLES MEJORAS	17





1. INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objeto analizar el uso de las bandas libres de 5470-5725 y 5725-5875 MHz en España. Estas bandas han demostrado ser aptas para la implementación de soluciones de telecomunicación a Administraciones Públicas y a empresas privadas, siendo empleadas también para proporcionar acceso a Internet en banda ancha en zonas rurales.

A pesar de la disponibilidad de espectro y de la existencia de tecnologías aptas para las aplicaciones mencionadas, el carácter libre del uso de dichas bandas ha provocado la saturación del espectro y la presencia de importantes interferencias en ciertos escenarios, lo que provoca la degradación del rendimiento de dichas redes.

El concepto de “uso libre” se ha interpretado más como “abuso libre”, de modo que el uso del espectro se está realizando sin ningún tipo de control y sin respetar unas mínimas normas de coexistencia entre los diferentes usuarios interesados en el uso de ese espectro. En este documento se analizan las posibles causas y las consecuencias de la falta de control y coordinación en el empleo de estas bandas.

La sección 2 introduce las aplicaciones principales de las redes inalámbricas en las bandas libres de 5GHz. La sección 3 resume la regulación de dichas bandas. La sección 4 describe brevemente las principales tecnologías inalámbricas empleadas en estas bandas. La sección 5 presenta los principales problemas detectados en el empleo de estas bandas, y por último la sección 6 propone algunas soluciones orientadas a mejorar el rendimiento de las redes inalámbricas en las bandas de uso libre.



2. APLICACIONES DE LAS BANDAS LIBRES

En España, las bandas libres de 5GHz se usan fundamentalmente para implementar redes de acceso fijo punto-multipunto y punto-punto con radios de cobertura de varios kilómetros en condiciones de línea de vista, lo que se traduce en el empleo de equipamiento de intemperie tanto en el punto concentrador como en los nodos remotos con antenas de gran directividad. Se diferencian dos mercados principales:

- 1) Proyectos llave en mano para Administraciones Públicas y empresas privadas

Estos proyectos se agrupan en diferentes mercados verticales en los que empresas integradoras de sistemas proporcionan soluciones de telecomunicación orientadas a múltiples aplicaciones bajo un modelo de proyecto llave en mano. Las aplicaciones típicas de estos proyectos son, entre otras:

- a) Interconexión de las diferentes dependencias de un ayuntamiento para crear una Intranet y proporcionar comunicaciones internas de voz y datos independientes de operadores
- b) Proyectos de vídeo-vigilancia
- c) Acceso a Internet a ciudadanos
- d) Control de tráfico con cámaras y sistemas de identificación de matrículas
- e) Vigilancia forestal con cámaras térmicas

- 2) Acceso a Internet en banda ancha y telefonía en escenarios rurales

El otro gran uso de tecnologías inalámbricas en bandas libres está orientado a proporcionar acceso a Internet y telefonía en escenarios rurales por parte de operadores de banda ancha (WISP). El tipo de servicio que se suele proporcionar es de 1-4Mbps en bajada y 256-1024kbps en subida, con opción de servicios simétricos de 2-8Mbps para empresas. En este sentido, las tecnologías inalámbricas presentan una ventaja frente a sistemas ADSL por la posibilidad de proporcionar servicios simétricos de alta capacidad.

3. REGULACIÓN DE LAS BANDAS LIBRES DE 5GHz

En España, las bandas libres de 5GHz para comunicaciones inalámbricas en banda ancha son tres: 5150-5350 MHz para comunicaciones en interiores, y las bandas de 5470-5725 y 5725-5875 MHz para comunicaciones en exteriores.

Bandas 5150-5350 y 5470-5725 MHz

Las bandas de 5150-5350 y 5470-5725 MHz están reguladas en España por la norma de utilización nacional UN-128, que se reproduce a continuación:

UN-128: RLANS en 5GHz

Espectro armonizado según la Decisión 2005/513/CE, modificada por la Decisión 2007/90/CE, en la banda de 5 GHz para sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, incluidas las redes de área local (WAS/RLAN).

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: *En esta banda el uso por el servicio móvil en sistemas de acceso inalámbrico incluyendo comunicaciones electrónicas y redes de área local, se restringe para su utilización 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. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia.*

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. El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios legalmente autorizados ni puede causar perturbaciones a los mismos.

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.). Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia.*

Adicionalmente, en esta banda de frecuencias 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



(p.i.r.e) deberá ser de 500 mW (p.i.r.e).

Estas instalaciones de redes de área local tienen la consideración de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios legalmente autorizados ni pueden causar perturbaciones a los mismos.

Los sistemas de acceso sin hilos incluyendo RLAN que funcionen en las bandas 5250-5350 MHz y 5475-5725 MHz deberán utilizar técnicas de mitigación que proporcionen al menos la misma protección que los requisitos de detección, operación y respuesta descritos en la norma EN 301 893 para garantizar un funcionamiento compatible con los sistemas de radiodeterminación

En resumen:

- El uso de la banda de 5150-5350 MHz está restringido al interior de recintos, por lo que no puede ser empleada en aplicaciones de acceso FBWA.
- La banda 5470-5725 MHz puede ser empleada en el interior o exterior de recintos, con las siguientes limitaciones:
 - PIRE limitada a 30dBm (1W)
 - El transmisor debe incluir control de potencia (TPC)
 - Se deben incluir técnicas de protección de los sistemas de radiodeterminación (DFS)

Banda 5725-5875 MHz

La banda de 5725-5875 MHz es de uso libre desde marzo de 2010, y está regulada en España por la norma de utilización nacional UN-143, que se reproduce a continuación:

UN – 143 Aplicaciones de acceso inalámbrico en 5,8 GHz

Sistemas de acceso inalámbrico con distintas capacidades de movilidad del terminal (FWA/NWA/MWA) y diferentes configuraciones de arquitectura de red, incluyendo aquellos con tecnologías de banda ancha (BFWA), podrán funcionar dentro de la banda de aplicaciones ICM de 5,8 GHz (5725-5875 MHz), en las siguientes subbandas de frecuencia: 5725-5795 MHz y 5815-5855 MHz.

Las instalaciones de estos sistemas en las frecuencias mencionadas, han de cumplir con los límites de potencia y densidad espectral de potencia, e incorporar técnicas de control de potencia (TPC) y selección dinámica de frecuencias (DFS) indicados en los anexos 1, 2 y 3 de la Recomendación ECC(06)04 sobre el uso de la banda 5725-5875 MHz (o parte de la misma) para acceso fijo de banda ancha (BFWA), las cuales se consideran requisitos necesarios para compatibilizar este uso con el resto de servicios y aplicaciones de radiocomunicaciones que pueden funcionar en esta banda de frecuencias.

En particular, los límites de potencia para las estaciones BFWA en estas frecuencias según la arquitectura del sistema, se indican en la tabla siguiente



Parámetro	P-MP	P-P	Malla	Desde y hacia cualquier punto
Máx. potencia media pire (1)	36 dBm	36 dBm	33 dBm	33 dBm
Máx. densidad media de potencia pire	23 dBm/MHz	23 dBm/MHz	20 dBm/MHz	20 dBm/MHz
Rango TPC	12 dB	12 dB	12 dB	12 dB

Estas utilizations tienen la consideración de uso común.

El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios autorizados ni puede causar perturbaciones a los mismos.

En resumen:

- Las bandas 5725-5795 MHz y 5815-5855 MHz pueden ser empleadas en aplicaciones FBWA:
 - PIRE limitada a 36dBm (4W)
 - El transmisor debe incluir control de potencia (TPC)
 - Se deben incluir técnicas de protección de otros sistemas que operen en la misma banda (DFS)

Además del uso indicado en la UN-143, la banda de 5725-5775 MHz también está contemplada para sistemas de banda ancha en situaciones catastróficas, según la UN-148, también de uso común:

UN-148 Sistemas de banda ancha en 5 GHz para situaciones catastróficas

Sin perjuicio de otros usos en la misma banda, se dispone de 50 MHz de ancho de banda en las frecuencias 5725-5775 MHz para los sistemas de banda ancha usados en situaciones catastróficas, conocidos por las siglas BBDR de sus iniciales en inglés.

Las condiciones técnicas de estos sistemas han de ajustarse a las características indicadas en la Recomendación ECC (08)04 de la CEPT, en particular, la densidad espectral de potencia no ha de exceder de 26 dBm/MHz (pire) para las estaciones base y de 13 dBm/MHz (pire) para los terminales de usuario.

Esta utilización tiene la consideración de uso común.



4. TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LAS BANDAS LIBRES DE 5GHZ

Las tecnologías inalámbricas empleadas en aplicaciones de acceso radio en banda ancha en España se pueden agrupar en tres categorías:

1) Soluciones basadas en el estándar 802.11 (Wi-Fi)

La tecnología 802.11 fue concebida para la creación de redes LAN inalámbricas, para uso doméstico, por lo que no es una tecnología eficiente en el uso del espectro y no soporta calidad de servicio. Las principales características de estas tecnologías son:

- a) Capa física OFDM diseñada para propagación en interior, con prefijo cíclico de 800ns capaz de soportar como máximo la dispersión temporal generada por dos rayos que recorren una diferencia de distancia de 240m, insuficiente para escenarios outdoor de última milla.
- b) Uso de canales de 20 (802.11a) y 40MHz (802.11n).
- c) Capa MAC CSMA/CD, no determinista, lo que impide conocer el tráfico neto del sistema, impide el soporte de QoS y conlleva una baja eficiencia espectral inferior a 1bps/Hz.
- d) Ausencia de una estructura de transmisión entramada, lo que impide sincronizar las transmisiones TDD de diferentes equipos colocados en una misma torre con objeto de eliminar interferencias
- e) Limitaciones de paquetes por segundo por el uso de microprocesadores de bajo coste, lo que implica que en escenarios de transmisión de paquetes pequeños el tráfico se limita por el número de paquetes por segundo que dicho microprocesador es capaz de procesar, y no por la capacidad de la interfaz aire.
- f) Ausencia de mecanismos de calidad de servicio (QoS)
- g) Degradación del rendimiento con el número de dispositivos debido a los protocolos de resolución de contienda CSMA/CD (algoritmos de backoff).

2) Soluciones basadas en el estándar 802.16 (WiMAX)

La tecnología 802.16 fue diseñada para proporcionar acceso en banda ancha de última milla, lo que se refleja en las principales características de este estándar, que son:

- a) Modulación OFDM con prefijo cíclico de hasta 6us para soportar diferencias de trayectos de propagación de hasta 1.800m
- b) Canales de 10MHz
- c) Capa MAC TDMA u OFDMA sin contienda, totalmente determinista y centralizada, lo que se traduce en una alta eficiencia espectral neta (3.5bps/Hz).



- d) Soporte de calidad de servicio a nivel 2
- e) Transmisión estructurada en tramas, lo que permite sincronizar equipos coubicados en una misma torre con objeto de evitar interferencias TDD.
- f) Capacidad neta agregada independiente del tamaño de paquetes y del número de usuarios conectados.

3) Soluciones propietarias no basadas en estándar

Estas soluciones son las menos comunes, y si bien copian parte de las especificaciones del estándar 802.16 en lo relativo a la capa física, presentan una capa MAC más sencilla que la especificada en el estándar, lo que se traduce en una menor eficiencia espectral neta y en un peor soporte de QoS.

5. PROBLEMAS DETECTADOS

1) Falta de solvencia técnica de los implementadores de soluciones inalámbricas

El carácter libre de las bandas de 5GHz ha motivado la aparición de un gran número de empresas de integración de sistemas y de microoperadores rurales que proporcionan respectivamente soluciones llave en mano de telecomunicación inalámbrica a administraciones públicas y empresas privadas, y servicios de acceso a Internet en zonas rurales.

Gran número de estos operadores e integradores de sistemas no cuentan con personal cualificado capaz de proporcionar solvencia técnica a los proyectos. En concreto, es poco común encontrar ingenieros de telecomunicación en las plantillas de dichas empresas, por lo que se trata de un escenario donde abunda el intrusismo profesional.

Por otra parte, las tecnologías de acceso inalámbrico en banda ancha presentan una especial complejidad al combinar dos mundos tradicionalmente disjuntos como son el de la radiofrecuencia y el networking. Estos sistemas requieren un alto nivel de capacitación en ambos escenarios para lograr el rendimiento objetivo. No obstante, la aparente simplicidad técnica de los dispositivos inalámbricos de ámbito doméstico (routers Wi-Fi), animan a muchas empresas a abordar el sector inalámbrico para aplicaciones profesionales, sin tener en cuenta que se tratan de redes de telecomunicación con numerosos puntos técnicos a considerar, lo que se traduce en propuestas técnicas con importantes deficiencias.

La ausencia de barreras de entrada, la falta de personal cualificado y la especial complejidad de estas tecnologías a pesar de su aparente simplicidad, generan un escenario donde la calidad técnica de los proyectos es más que mejorable, lo que se traduce en un elevado número de proyectos fallidos que no logran las expectativas debido a importantes errores técnicos, lo que en ocasiones repercute en la reputación de las tecnologías inalámbricas.

2) Problemas detectados en licitaciones

Del mismo modo que en las empresas de integración de sistemas y operadores se ha detectado una baja cualificación técnica, en general el nivel de conocimiento técnico del personal de las Administraciones Públicas (especialmente municipales) encargadas de la elaboración de pliegos técnicos nuevamente es mejorable, en ocasiones motivado precisamente por estar asesoradas por las mencionadas empresas.

Esta falta de conocimiento técnico se traduce en pliegos técnicos de licitaciones públicas que plantean importantes errores técnicos. Algunos ejemplos son:

- a) Licitaciones que solicitan el uso de tecnologías sin mecanismos de soporte de calidad de servicio (QoS) como Wi-Fi o Mesh para aplicaciones que sí requieren de QoS, como la transmisión de vídeo o datos
- b) Licitaciones que exigen una determinada capacidad neta de transmisión de datos y requieren el uso de tecnologías que no cuentan con mecanismos de control del tráfico neto.
- c) Licitaciones que exigen la agregación de dispositivos inalámbricos en un determinado punto con objeto de lograr una elevada capacidad de transmisión, cuando dicha capacidad solicitada requeriría disponer de mayor espectro del que realmente existe.

En conclusión, muchos pliegos técnicos solicitan rendimientos imposibles o el uso de tecnologías inapropiadas para la aplicación objetivo, lo que se traduce en propuestas técnicas de los licitantes totalmente carentes de fundamento técnico sólido, y en un alto índice de proyectos fallidos, con el consecuente desperdicio de fondos públicos tan preciados en estos días.

3) Interferencias y saturación del espectro

Quizás el problema más reportado por los usuarios de las bandas libres de 5GHz es la saturación del espectro y la presencia de interferencias, lo que se puede traducir en una degradación del rendimiento de las redes desplegadas. No obstante esta percepción se limita a las instalaciones realizadas en torres de telecomunicación, siendo llamativo el hecho de que el espectro está prácticamente libre en lugares alejados de dichas torres, incluso en entornos urbanos. Esta saturación y las interferencias detectadas en las torres de telecomunicación se deben fundamentalmente a tres motivos:

- a) Empleo de tecnologías ineficientes en el uso del espectro. La baja eficiencia espectral de gran parte de las tecnologías empleadas, por debajo de 1bps/Hz) obliga al uso de canales de 40MHz e incluso 80MHz (generalmente soluciones basadas en 802.11) para lograr las capacidades demandadas que podrían ser igualmente satisfechas por canales de 10MHz si se empleasen tecnologías más eficientes, con eficiencia espectral superior a 3bps/Hz, como ocurre en tecnologías 802.16. El bajo coste de este tipo de equipamiento ineficiente refuerza la percepción de que el espectro es gratuito, por lo que una misma empresa no duda en instalar tantos dispositivos como sean necesarios en una misma ubicación con objeto de lograr la capacidad deseada, lo que se traduce en la automática saturación del espectro disponible en dicha ubicación.
- b) Empleo de tecnologías sin soporte de calidad de servicio (QoS). A la hora de proporcionar soluciones a aplicaciones con necesidades de QoS como la transmisión de vídeo o voz, muchas empresas optan por el uso de tecnologías sin soporte de QoS, e intenta suplir dicha carencia mediante el sobredimensionamiento de la capacidad del sistema, de modo que se minimicen las probabilidades de competición por la capacidad disponible entre los diferentes servicios. Nuevamente este sobredimensionamiento de la capacidad con objeto de suplir las carencias de QoS redundan en la saturación del espectro.
- c) Interferencias TDD por el empleo de tecnologías con protocolos de acceso al medio CSMA/CD y transmisión a ráfagas sin una estructura bien definida. Como ya se ha comentado, el uso de las



bandas libres se implementa con duplexión TDD, por lo que la transmisión y la recepción se alternan en el tiempo compartiendo la misma frecuencia. Al emplearse tecnologías que carecen de una estructura entramada bien definida, es imposible determinar cuándo un equipo se encuentra en fase de transmisión o en fase de recepción, por lo que no es posible coordinar diferentes equipos coubcados en una misma torre. Esta descoordinación genera fuertes interferencias incluso en equipos que trabajen en diferentes canales, debido a la saturación de las primeras etapas de radiofrecuencia de los receptores por la presencia de un equipo cercano en fase de transmisión.

- d) Por último, el tipo de aplicaciones objeto de estas tecnologías suelen requerir la instalación de los equipos en torres de telecomunicación en ubicaciones privilegiadas capaces de proporcionar grandes extensiones de cobertura, lo que es motivo de la alta concentración de equipamiento en dichas torres, lo que combinado con los puntos indicados anteriormente es fuente de saturación del espectro.

6. POSIBLES MEJORAS

Tal y como se ha comentado anteriormente, los problemas detectados en el uso de las bandas de 5GHz se pueden resumir en:

- 1) Falta de solvencia técnica de las empresas integradoras que proporcionan soluciones basadas en tecnologías inalámbricas, lo que se traduce también en deficiencias técnicas de las licitaciones.
- 2) Interferencias y saturación del espectro debido al uso de tecnologías poco eficientes, sin QoS y sin posibilidad de sincronismo TDD.
- 3) Acumulación excesiva de dispositivos en determinadas torres de telecomunicación.

Algunas soluciones posibles a los problemas detectados son:

- 1) Respecto a la acumulación de equipos en las torres de telecomunicación, los propietarios de dichas torres son también los principales perjudicados por el uso de tecnologías poco eficientes que limitan el número de equipos que podrían instalarse, por lo que su negocio de alquiler de espacio en torre se ve limitado. Convendría que explorasen un modelo de alquiler en función del espectro ocupado en lugar de un alquiler por antena o equipo instalado, pues realmente el número de equipos que la torre puede albergar no es un problema de espacio, sino de espectro disponible. Esto llevaría al uso de tecnologías más eficientes que podrían multiplicar el número de equipos que tienen cabida en una misma torre.
- 2) Por otra parte, dichos propietarios de torres deberían considerar exigir el uso de tecnologías que permitan sincronizar las transmisiones TDD a una misma referencia, de modo que el espectro disponible fuese de mayor calidad.
- 3) En cuanto a la solvencia técnica y al uso de tecnologías ineficientes, convendría considerar un cambio en la normativa que exigiese la elaboración de proyectos que fuesen aprobados por el organismo regulador, manteniendo el carácter libre del espectro, pero sujeto a un cierto orden y eficiencia mínima. Este modelo es el que se sigue por ejemplo en Chile, donde la Subsecretaría de Telecomunicaciones (Subtel) debe autorizar todas las instalaciones en banda libre tras comprobar que las propuestas técnicas presentadas por las empresas instaladoras cumplen con la normativa.
- 4) El punto anterior podría reforzarse con la obligatoriedad de presentar un proyecto que deba estar firmado por un ingeniero de telecomunicación, siendo deseable la intervención del Colegio para avalar la solvencia técnica de las propuestas y evitar el intrusismo profesional.