

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

Grupo del ESPECTRO



colegio oficial
ingenieros de telecomunicación

Introducción al estado de la situación de los “TV White Spaces” y “LSA” propiciados por la Radio Cognitiva

ABRIL 2013

Grupo del Espectro

Presidente: José María Hernando Rábanos

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

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS TVWS	8
3.	OPERATIVA PARA LOS TVWS	11
4.	“USE CASES” PARA TVWS	13
4.1.	Wi-Fi	13
4.2.	M2M.....	13
4.3.	BACKHAUL	13
4.4.	BANDA ANCHA RURAL	13
4.5.	EXTENSIÓN DE COBERTURA, CAPACIDAD Y OFF-LOADING EN REDES CELULARES.....	14
5.	REGULACIÓN	15
6.	ESTANDARIZACIÓN	19
7.	ESTIMACION DE ESPECTRO DISPONIBLE EN LOS TVWS	21
8.	ASA /LSA	23
9.	CONCLUSIONES	25
	ANEXO. Spectrum Occupancy Data Base (SPOC-Data Base) ..	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 8

Figura 2 11

Figura 3 21

Figura 4 22

Figura 5 22

1. INTRODUCCIÓN

La percepción de que una gran parte del espectro asignado presenta una baja ocupación tanto en el espacio como en el tiempo, en particular en las bandas de TV, es algo conocido desde hace tiempo. Sin embargo, fue la aparición de la tesis doctoral de J. Mitola: “Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for software defined radio. Ph. D. Thesis, Swedish, Royal Institute of Technology, 2000” y con ella la acuñación del término radio cognitiva, lo que ha catapultado el interés en estos últimos años por explotar mejor el espectro asignado tanto en su dominio espacial como temporal. La radio cognitiva es consciente de su entorno, capaz de averiguar que frecuencias están libres y de adaptar el ancho de banda, la potencia y en general los diferentes parámetros de transmisión acorde a la circunstancias. La radio cognitiva debería habilitar los mecanismos “inteligentes” necesarios de asignación dinámica de frecuencias y potencia a un terminal radio para que pudiera utilizar las bandas de frecuencia asignadas a un incumbente, pero que no utiliza en su plenitud, sin que éste se viera interferido. Una radio cognitiva ya más evolucionada extendería sus capacidades a cualquier otro aspecto donde se explotase el conocimiento adquirido a través del aprendizaje del comportamiento radioeléctrico del entorno.

Dejando aparte las consideraciones técnicas de la radio cognitiva, que se han ido desarrollando enormemente en estos últimos diez años hasta convertirse en un tópico de máximo interés, no cabe duda que el éxito de la radio cognitiva requiere como condición necesaria la colaboración de los organismos reguladores y de elaboración de estándares. La razón es clara. Los organismos reguladores, en tanto que gestionan los derechos de uso del espectro en sus diferentes acepciones, y los organismos de estandarización, ya que al final habilitan las economías de escala suficientes para su aceptación final por el consumidor.

En este documento introduciremos primero los principios básicos de lo TVWS, describiendo a continuación la operativa finalmente adoptada y los casos de uso identificados más habituales. Para llegar a esta situación actual, detallaremos brevemente cómo ha sido necesario un largo proceso regulatorio (EE.UU. y la EU) y de estandarización. Ilustraremos también evaluaciones de la cantidad de espectro disponible realizadas en Europa, así como resultado de medidas reales en la zona metropolitana de Barcelona. Finalmente veremos, cómo la radio cognitiva y los TVWS están derivado finalmente en un abanico de otras posibles manifestaciones de la compartición de espectro que va más allá de los derechos de uso exclusivos actuales. En particular, introduciremos el LSA (“Licensed Shared Access”) como nuevo modelo de compartición espectral.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS TVWS

La banda de TV ha sido la que más ha atraído la atención de la radio cognitiva. La banda de 470-862 MHz que estaba prácticamente asignada en su totalidad a la TDT, se reducirá a una banda de 470-790 MHz en 2015, debido a la irrupción del dividendo digital. El particular atractivo que ha tenido esta banda para la radio cognitiva viene en gran medida derivado del hecho de que las emisiones de los distintos canales de TV estén geográficamente entrelazadas. Es decir, que las típicas emisiones de TV de alta potencia dejan espacios entre sus áreas naturales de cobertura para evitar interferencias (Figura 1). La idea inicial es que estos espacios en blanco o TVWS (“TV White Spaces”) podrían entonces usarse con dispositivos de menor potencia conocidos como los WSD (“White Space Devices”) por parte de usuarios no licenciados, o usuarios secundarios, emitiendo en la misma frecuencia.

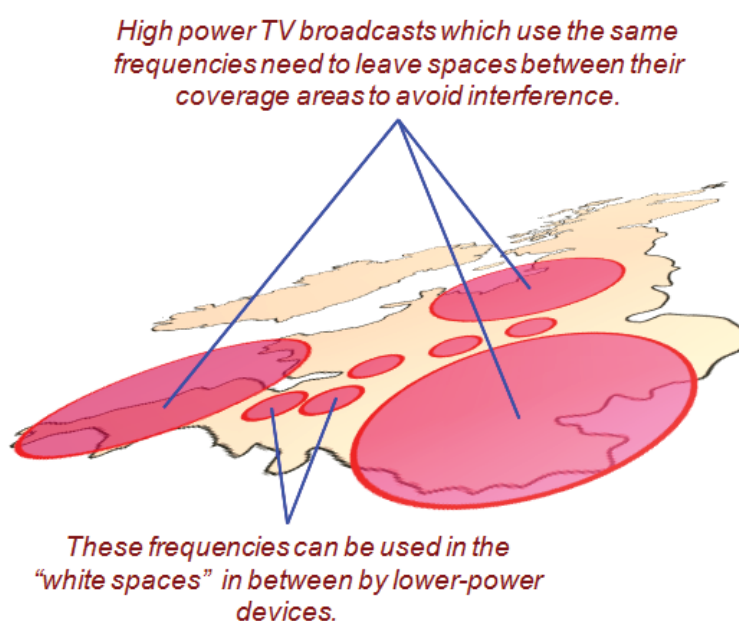


Figura 1

De una manera más precisa, un TVWS es el conjunto de ubicaciones espaciales U tales que para un canal F de TV verifican los dos siguientes requisitos:



1. La potencia recibida P_r del canal F en U es menor que la sensibilidad, S , del receptor de TV menos un margen de protección especificado, MP . Es decir:

$$P_r(U) < S - MP \text{ (Umbral} = S - MP)$$

2. La potencia recibida P_r en los canales adyacentes de F , a consecuencia de una emisión de P watios por un usuario secundario en el canal F y en la ubicación U , para cualquier otra ubicación U' , es menor que la sensibilidad, S , del receptor de TV (que suponemos sin efectos no lineales, a efectos de brevedad) menos un margen de protección especificado, MP , mas la selectividad del receptor al canal adyacente, ACS , es decir:

$$P_r(U') < S - MP + ACS \text{ (Umbral} = S - MP + ACS)$$

La apertura de la banda UHF de TV para compartir el espectro es atractiva por otra parte debido a la excelente propagación en estas bandas, y el hecho de que la TV Digital Terrena tiene asignaciones de canal estática y predecible en el caso de transmisión discontinua. Dado que la mayor ocupación espectral en TV se concentra en las zonas de alta densidad de población, los TVWS tienden a ocupar en mayor medida las áreas de baja densidad poblacional. Es por ello, que pareció razonable desde buen principio el que se pudieran desplegar redes rurales de acceso a internet de banda ancha en los TVWS, aprovechando el largo alcance de las señales UHF y la gratuidad de acceso a espectro sin licencia. Esta es la primera idea comercial al respecto aparecida en los EEUU y actualmente conocida como super-Wi-Fi¹.

Es cierto no obstante que con tales TVWS habilitados con usuarios secundarios exentos de licencias de uso, no hay un mínimo de espectro predecible disponible para cada ubicación. Varios usuarios secundarios pueden requerir espectro al mismo tiempo y en la misma ubicación, sin posibilidad en definitiva de garantizar un grado suficiente de calidad de servicio (QoS) como ya ocurre actualmente con los sistemas Wi-Fi, pero con el agravante de que no necesariamente todos los usuarios comparten un MAC común como sí es el caso de la Wi-Fi. Hay por consiguiente en estos casos una necesidad de limitar de entrada las potencias transmitidas, y en consecuencia, el radio de cobertura. Reorganizaciones de las bandas de TV pueden también cambiar la disponibilidad de espectro para ubicaciones determinadas. No

1 <http://www.tomshardware.com/news/White-Space-Super-Wi-Fi-Wilmington-Spectrum-Bridge-Hugh-MacRae,14572.html>



obstante la falta de predictibilidad, radio de cobertura y en definitiva QoS, lo que supone serias limitaciones para los TVWS o similares en un futuro, se vislumbran los TVWS como un espectro muy interesante para usar en muchas situaciones y escenarios, contando necesariamente con su aportación para abordar el enorme incremento de tráfico de datos previsible (x1000) para un horizonte 2020.

3. OPERATIVA PARA LOS TVWS

El modelo finalmente aprobado por la “Federal Communications Commission” (FCC) en EEUU de conceder el acceso a usuarios secundarios en los TVWS se conformará a partir de la habilitación de una base de datos geolocalizada (varias en realidad), a la que los WSD, previamente homologados por la autoridad de certificación correspondiente, han de pedir acceso, que se le concederá, en su caso, en forma de una potencia y una banda de frecuencias, a partir de su ubicación geográfica y otros parámetros característicos de cada WSD, tal como se ilustra en la Figura 2. Este procedimiento habilitado a partir de una forma simple de radio cognitiva, pero tremendamente eficaz, en contra de otros inicialmente propuestos como el “sensing”, permite controlar adecuadamente los accesos de usuarios secundarios, que ya no son autónomos, y abre paso a una gestión futura más eficiente de la compartición del espectro en tiempo real. El método de “sensing” presupondría que el terminal de radio WSD es capaz de detectar señales de TV en un umbral muy por debajo de la sensibilidad requerida por un receptor estándar de TV. De no detectar señal por debajo de dicho umbral en una ubicación determinada, se deduciría que hay un TVWS. Sin embargo, el procedimiento de “sensing” como único procedimiento para acceder al espectro está ya descartado, entre otras cosas por no tener la aprobación de los operadores de TV.

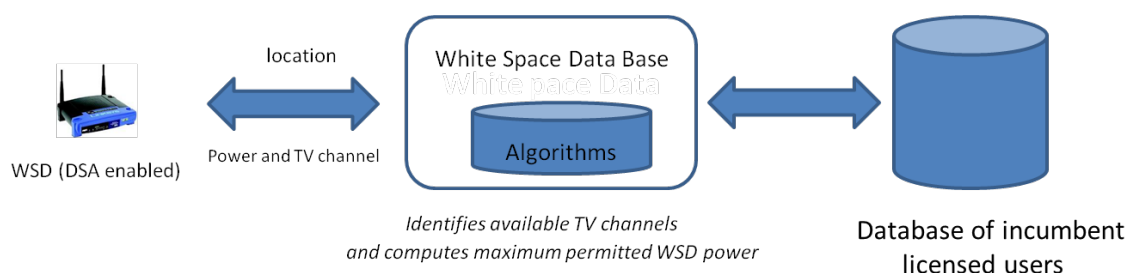


Figura 2

A modo de ejemplo, en la referencia² se ilustra una base de datos específica con los procedimientos correspondientes que cumple las especificaciones del FCC. Por su parte, la opinión del CEPT-ECC está alineada con la del FCC, en la línea de usar bases de datos geolocalizadas. En Enero de 2013 el ECC aprobó un documento³ en el que se establecen los

² Rohan Murty, Ranveer Chandra, Thomas Moscibroda, Paramvir Bahl “SenseLess: A Database-Driven White Spaces Network, IEEE Dyspan 2011, Aachen

³ <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ECCREP186.PDF>



requisitos técnicos y operacionales de un WSD para que puedan ser usados por los distintos reguladores nacionales.

Nótese en todo caso que inicialmente la única misión de la base de datos, y por lo que se crea, ha sido el garantizar que no se interfiera al incumbente, es decir a un receptor de TV. Sin embargo, no se ha utilizado para garantizar la coexistencia entre los WSD, que podrían interferirse mutuamente si no pertenecen a un mismo estándar. Este es otro efecto que impacta el QoS y que a medio/largo plazo podría tener un impacto importante, en la línea de las WIFI actuales.

4. “USE CASES” PARA TVWS

Son muchos los entornos de aplicación (“Use Cases”) que se han ido proponiendo para los TVWS desde diferentes fuentes^{4 5 6}. A continuación describimos muy sucintamente algunos de ellos, que están entre los que han gozado de un mayor predicamento.

4.1. Wi-Fi

La aparición de nuevas bandas de frecuencia en los TVWS permitiría aliviar la ya muy congestionada Wi-Fi en las bandas de 2.4Ghz en particular. El uso de los TVWS puede por otra parte aumentar el alcance hasta en 3 veces en comparación con la operación en las bandas ISM, al presentar una menor atenuación a las paredes y enlaces de visión no directa en general. Estas características son deseables para los despliegues metropolitanos y de interior-exterior.

4.2. M2M

El uso de los TVWS para comunicaciones M2M parece ser una buena opción dada la explosión que se prevé en el futuro próximo de dispositivos M2M. Algunos de estos dispositivos requieren una baja latencia y conectividad garantizada, pero la mayoría no requieren de una operación estricta en tiempo real y son compatibles con los protocolos de acceso oportunistas. Una ventaja adicional de los TVWS para estas comunicaciones es su mayor alcance frente a otras opciones que operan en bandas de frecuencia más altas.

4.3. BACKHAUL

La provisión de enlaces fijos entre estaciones de base y con el núcleo de red puede ser un problema real en áreas que no cuenten con conexiones ADSL/cable y en las que se pretendan desplegar pico-células o femto-células. Incluso aun contando con infraestructura fija como ADSL, ésta puede no ser suficiente para vehicular anchos de bandas elevados en aplicaciones de banda ancha, por lo que los TVWS también constituyen una solución adecuada para hacer frente a esta problemática.

4.4. BANDA ANCHA RURAL

⁴ <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/whitespaces/annexes/workshop.pdf>

⁵ [http://www.ict-cogeu.eu/pdf/COGEU_D3.1%20\(ICT_248560\).pdf](http://www.ict-cogeu.eu/pdf/COGEU_D3.1%20(ICT_248560).pdf)

⁶ Reconfigurable Radio Systems (RRS). Use Cases for Operation in White Space Frequency Bands ETSI TR 102 907 V1.2.1 (2012-11)



Una de las propuestas más extendidas es la banda ancha rural dada la confluencia de una mayor disponibilidad de TVWS en zonas rurales con la mayor dificultad que representa acometer un despliegue en zonas de poca población. Las ventajosas condiciones de propagación de los TVWS irían de la mano de una reducción de costes en las infraestructuras desplegadas.

4.5. EXTENSIÓN DE COBERTURA, CAPACIDAD Y OFF-LOADING EN REDES CELULARES

El inevitable crecimiento del tráfico de datos en redes móviles hace pensar que los TVWS pueden ser un buen complemento a utilizar en situaciones en las que se presentan picos de tráfico, a base de agregar portadoras, o simplemente para extender la cobertura, favoreciendo comunicaciones directas entre terminales dentro del área de cobertura con otros que no lo están. El “offloading” consistiría en el desvío de tráfico desde las infraestructuras celulares convencionales a puntos de acceso, por ejemplo Wi-Fi, operados en bandas de TVWS, lo que permitiría aliviar situaciones de congestión que pudieran surgir en las redes celulares.



5. REGULACIÓN

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los EE.UU. es el primer regulador que, a la luz de la radio cognitiva y de la baja ocupación espectral de hecho existente, claramente apostó por explorar métodos no tradicionales de concesión de los derechos de uso del espectro. Así, ya en 2002 la FCC estableció un grupo de trabajo de política del espectro ante la escasez del mismo para cubrir las crecientes necesidades de tráfico radioeléctrico. Este hecho propició que en Mayo de 2004 lanzase un “Notice of proposed rulemaking” (NPRM) con la intención de dar cabida a servicios operando en las bandas de TV. Esta propuesta fue seguida en octubre de 2006 con un primer informe y en Noviembre de 2008 la FCC publicó un “report and order” (R&O)⁷ regulando el acceso sin licencia a los TVWS para usuarios secundarios operando WSD. En 2010, la FCC publicó las normas definitivas que regulaban el funcionamiento en los TVWS de los usuarios secundarios sin licencia. Los WSD se dividen en dos categorías⁸: fijo y personal / portátil. Los dispositivos fijos pueden transmitir hasta 4 W de potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP), y deben tener la capacidad de geo localización y un mecanismo para reconocer una lista de canales disponibles residentes en una base de datos autorizada. A los dispositivos personales / portátiles se les permite un máximo de 100 mW EIRP en los canales no adyacentes a los servicios de difusión de televisión y 40 mW en canales adyacentes. El 22 de Diciembre de 2011 la FCC anuncia un sistema de bases de datos para proporcionar el primer servicio en TVWS a partir del 26 de Enero de 2012⁹.

A partir del esfuerzo desplegado desde la FCC para habilitar nuevas fuentes de un mejor aprovechamiento espectral de la banda de TV, el interés suscitado ha sido muy elevado a nivel mundial y ello ha ido de la mano del paulatino desarrollo de la radio cognitiva. Sin embargo, hasta recientemente, este interés no ha sido aparentemente notorio por lo que se refiere a nivel de regulación en Europa, con la excepción del regulador OFCOM en UK. En particular, la “European Conference of Postal and Telecommunications” (CEPT) inicia en 2008 una primera

⁷ FCC “Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order, in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900mhz and in the 3 GHz Band (et docket 08-260),” Nov. 2008

⁸ Unlicensed Operations in the TV Broadcast Bands, Second Memorandum Opinion and Order, FCC 10-174, Sept. 23, 2010

⁹ <http://www.fcc.gov/document/chairman-announces-approval-white-spaces-database-spectrum-bridge>



toma de contacto con los TVWS y la Radio Cognitiva¹⁰ en respuesta a la Comisión Europea sobre consideraciones en relación a la armonización del dividendo digital.

Desde entonces, “The Radio Spectrum Policy Group” (RSPG), que es un grupo de expertos de alto nivel que asesora a la Comisión Europea en el desarrollo de la política del espectro radioeléctrico, ha comenzado a tomar un papel activo en el desarrollo de la misma, ya que finalmente se ha entendido que su impacto afecta a toda la economía europea. En la referencia¹¹, después de un análisis del estado actual de desarrollo de la radio cognitiva, se identifican una serie de acciones a abordar con el fin de facilitar un desarrollo exitoso. También se especifica la base de datos necesaria para albergar un repositorio que actualice los parámetros de interés en relación a las estaciones de televisión. Esta información es la que finalmente permitirá determinar la disponibilidad de TVWS para una ubicación determinada. En la referencia¹² se incluye un anexo con más detalle de la situación en EE.UU.

La CEPT, por medio del “Electronic Communications Committee” (ECC), atendiendo a su misión de garantizar la compatibilidad entre distintos sistemas de radiocomunicaciones, publicó una recopilación detallada de posibles especificaciones técnicas y distintos escenarios en relación a la protección de los servicios de TV al usar los TVWS en el contexto europeo¹³. Sin embargo, mientras tres técnicas cognitivas (“sensing”, geo-localización con base de datos y “beacon”) se consideraron al inicio del estudio, la mayoría de los esfuerzos se han dedicado a la evaluación de la idoneidad de las técnicas de “sensing” y geo-localización para brindar protección a los servicios incumbentes de radio.

A la vista de la manifiesta poca eficiencia del espectro, tal como actualmente está regulado, cobra fuerza en la EU, en aras de un mejor aprovechamiento del mismo un cambio de paradigma regulatorio. El nuevo principio fundamental sería que “todo debe estar permitido excepto lo que está expresamente prohibido”, y no el principio que ha regido la regulación en radio desde sus inicios de que “todo está prohibido, excepto lo autorizado por el Estado”. Si ha de haber una transición de un modo de pensar a otro, ésta debe en cualquier caso ser evolutiva. El camino trazado por la EU es pues el de avanzar en la regulación del acceso

¹⁰ CEPT Report 24 Report C “A preliminary assessment of the feasibility of fitting new/future applications/services into non-harmonised spectrum of the digital dividend, Final Report on 27 June 2008

¹¹ RSPG10-306 Final, DG INFSO/B4/RSPG Secretariat Brussels, 11 February 2010

¹² RSPG10-306 Final Radio Spectrum Policy Group Report On “Cognitive Technologies” February 2010, Annex 1

¹³ ECC REPORT 159 “Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the ‘white spaces’ of the frequency band 470-790 MHz” Cardiff, January 2011

compartido al espectro, ayudándose de las tecnologías precisas y cada vez con menos restricciones.

Con esto en mente, el “Radio Spectrum Policy Group” (RSPG) recientemente lanzó un informe sobre el uso colectivo del espectro (“Collective Use of Spectrum” (CUS)) y otras fórmulas de acceso¹⁴. En este documento el RSPG analiza y recomienda el camino a seguir con enfoques “dinámicos” de la compartición del espectro e investiga cómo implementar o mejorar el marco regulatorio con propuestas de compartición innovadoras para Europa. Se incluyen aquí los derechos de uso del espectro exentos de licencia o con licencias “light”, en la línea de los actuales usos no licenciados (banda ISM, etc.) y se introducen otros esquemas nuevos como los mencionados TVWS y el “Licensed Shared Access” (LSA).

En este documento¹⁵ la Comisión Europea aboga claramente por adentrarse definitivamente en la utilización del espectro compartido. En un estudio¹⁶ realizado para la Comisión Europea se desprende que la búsqueda de recursos compartidos adicionales de espectro para la banda ancha inalámbrica podría generar importantes beneficios económicos netos para la UE. Así, para un incremento de entre 200 y 400 MHz de espectro a explotar con acceso compartido, se desprende un incremento neto en el valor de la economía europea del orden de varios cientos de millones de euros en 2020 para los escenarios de banda ancha evaluados en ese estudio.

En un mandato¹⁷ reciente la EU entiende que la FCC ya ha tomado medidas reglamentarias para impulsar las tecnologías de la radio cognitiva en el ámbito de los TVWS, y otras áreas comerciales podrían seguir rápidamente. Será todo un desafío para Europa el no perder la ventaja competitiva en estas nuevas tecnologías, y la ventana de tiempo para que la EU tome las acciones pertinentes, por las que el documento anterior aboga, es por lo tanto limitado. Algunos estados miembros de la EU ya están en el proceso de considerar la regulación que permita el uso de los TVWS con acceso a una base de datos para operar en la banda de TV UHF. El concepto de un dispositivo de acceso cognitivo para acceder a una banda a través de una base de datos geolocalizada también puede crear un abanico más amplio de oportunidades, por ejemplo, bajo la denominada licencia de acceso compartido (LSA), si bien

¹⁴ http://rspg.groups.eu.int/documents/documents/meeting/rspg26/rspg11_392_report_CUS_other_approaches_final.pdf

¹⁵ Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Region. Promoting the shared use of radio spectrum resources in the internal market. Brussels, 3.9.2012

¹⁶ Perspectivas sobre el valor del acceso espectro compartido, los Asociados SCF, febrero de 2012 (SCF 2012)

¹⁷ Standardisation Mandate to CEN, CENELEC and ETSI for Reconfigurable Radio Systems, M/512 EN, 19/11/2012

es un concepto completamente diferente a los TVWS. Teniendo en cuenta estos elementos, este mandato¹⁷ tiene la intención de estimular la estandarización con tecnologías de radio cognitiva en el área de aplicaciones pre-comerciales y comerciales y las adaptaciones pertinentes de los marcos regulatorios. En este sentido, el CEPT ha puesto en marcha el “FM Project Team 53 on Reconfigurable Radio Systems (RRS) and licensed shared access (LSA)” que pretende ilustrar modos de operación de bases de datos geolocalizadas para provisión de servicios a los WSD, incluyendo diferentes proveedores de bases de datos.

En relación a Europa, y tal como hemos mencionado, si bien podemos afirmar que cada vez hay mayor interés en usar TVWS, no obstante, el hecho es que hay muchos países que todavía no tienen un plan para autorizar tales TVWS en la banda de UHF. La excepción mas destacada ha sido OFCOM, el regulador del Reino Unido, que siempre ha adoptado posiciones más avanzadas, buscando un cierto alineamiento con la FCC. Una visión actualizada de los TVWS proporcionada por OFCOM puede encontrarse en la referencia⁴.

También existe la posibilidad regulatoria, por ahora no implementada y muy poco elaborada, de concesión de licencias para operar los TVWS. Sin embargo ello es visto como algo más complejo que la concesión de licencias de bandas de frecuencias, como por ejemplo la banda de 800 MHz del dividendo digital. Las licencias en los TVWS tendrían que definir los derechos en diferentes lugares y diferentes frecuencias, y naturalmente hacer frente a los criterios de protección¹⁸. En uno de los pocos estudios¹⁹ realizados, se ha argumentado incluso, que a la luz de estas dificultades percibidas y basándose solo en argumentos económicos, un uso puramente sin licencia de los TVWS no se sostendría. Se añade no obstante que el valor asociado a la innovación en este caso es desconocido.

¹⁸ Hanna Bogucka, Marcin Parzy, Paulo Marques, Joseph W. Mwangoka, Tim Forde “Secondary Spectrum Trading in TV White Spaces” IEEE Communications Magazine, November 2012

¹⁹ C. Bazelon, “Licensed or Unlicensed: The Economic considerations in Incremental Spectrum Allocations”, IEEE Communications Magazine, Mar. 2009, vol. 47, no. 3, pp. 110-116

6. ESTANDARIZACIÓN

Las atractivas características de los TVWS han motivado una actividad abrumadora hacia su estandarización, que se inicia con el IEEE 802.22 en 2004.

IEEE Std 802.22™-2011 es el estándar IEEE 802.22 ya finalizado, pensado inicialmente para zonas de baja densidad de población, a fin de facilitar el acceso de banda ancha para redes de datos. Es la base del denominado en EE.UU. Super Wi-Fi. Una aplicación típica puede ser la cobertura del área rural alrededor de un pueblo con un radio de cobertura entre 10 km y 30 km. Una estación de base que cumpla con este estándar deberá ser capaz de proporcionar servicio de alta velocidad en Internet hasta 512 equipos clientes fijos o portátiles. Se está trabajando en versiones más ligeras del mismo para que pueda operar en comunicaciones Máquina-Máquina.

Por otra parte, el IEEE 802.11af²⁰ es un estándar que modifica la capa física y MAC del IEEE 802.11 para permitir que los sistemas Wi-Fi puedan acceder a los TVWS satisfaciendo los requerimientos legales de coexistencia. Su finalización está prevista en 2013 y se espera pueda ser aceptado en la “Wi-Fi Alliance”. Requiere la necesidad de una base de datos sobre las frecuencias utilizadas en la banda de TV y que la “Wi-Fi Alliance” IEEE certifique este estándar 802.11af. Soporta anchos de banda de 5, 10, 20 y 40 MHz.

Otros estándares en los que actualmente se trabaja en el IEEE son el IEEE 802.19.1TG, que se focaliza en el desarrollo de mecanismos de coexistencia a alto nivel entre potenciales estándares diferentes operando en los TVWS, incluyendo mecanismos para el descubrimiento de otras redes, y el IEEE SCC41 que define las capas por encima del MAC y PHY para habilitar una asignación dinámica de frecuencias. Ambos se presentan como complementarios a otros estándares. En todo caso, en esta línea se trabaja también con soluciones propietarias que incorporan una mayor riqueza cognitiva a las bases de datos (eg. Managed Spectrum Access²¹), en aras a una mejor coexistencia entre WSD's.

ECMA-392²² es un estándar que opera en los TVWS auspiciado por las actividades en ECMA Grupo Técnico de Trabajo del Comité 48 1(TC48-TG1) para la creación de normas PHY y MAC que permitan la operación en TVWS. El 3 de diciembre de 2009, la Asamblea General de la 98a Internacional ECMA, celebrada en San José (EEUU), aprobó la publicación de la primera versión del ECMA-392. Soporta anchos de banda de 6 MHz, 7 MHz y 8 MHz. Está pensado para redes

²⁰ http://whitespace.i2r.astar.edu.sg/TVWS_Workshop/Slides/12_3_NICT_Japan_201210-I2R-WS2_r1.pdf

²¹ <http://www.spectrumbridge.com/Technology/ManagedSpectrumAccess.aspx>

²² <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-392.pdf>

ad-hoc y para entornos confinados tales como redes de interiores (ej. “home networks”), zonas vecinales, etc.

Weightless²³ es un estándar diseñado para proporcionar un costo relativamente bajo de comunicaciones máquina a máquina (M2M) que utiliza los TVWS. Weightless está optimizado para M2M en el sentido de que minimiza el consumo de potencia y aprovecha la buena propagación de los TVWS para tener alcances mucho mayores que los alcanzados con sistemas como Bluetooth, Zigbee, etc., que operan en frecuencias más elevadas. El Grupo de Interés Especial (SIG) Weightless que ha propiciado el estándar anunció en Febrero de 2013 la construcción de los primeros chips (transceptores) capaces de sintonizar en toda la banda de TVWS (470 - 790MHz) utilizando la especificación Weightless.

El IETF está desarrollando la estandarización de un protocolo PAWS²⁴ (Protocol to Access White Space database) que permita a un dispositivo que opera en un TVWS, que se acoja al estándar, las siguientes operaciones a grandes rasgos:

1. determinar la base de datos correspondiente (puede haber varias), para conectarse utilizando un método de acceso bien definido,
2. registrarse en la base de datos, para lo que deberá indicarse su ubicación geográfica y otros datos requeridos utilizando un formato bien definido,
3. recibir en respuesta una lista de los canales o frecuencias disponibles en un formato bien definido.

²³ <http://www.weightless.org/media/resources>

²⁴ <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-paws-problem-stmt-usecases-rqmts-08>

7. ESTIMACION DE ESPECTRO DISPONIBLE EN LOS TVWS

Diferentes estudios se han llevado a cabo para determinar la disponibilidad de espectro dentro de las bandas de TV. En esta referencia²⁵ se desprende de estudios realizados en 11 países de Europa en las bandas de 470–790MHz, que se podrían utilizar como TVWS unos 10 canales de 8 MHz (80 MHz en media por país), exigiendo mantener libres los dos canales adyacentes a los usados por la TV. En el caso de que no se restrinja la transmisión en las dos bandas adyacentes al propio canal TVWS, es este caso la banda disponible en media aumenta a unos 22 canales (176 MHz). En España, las primeras medidas publicadas²⁶ de ocupación espectral se llevaron a cabo en Barcelona en 2008. Más específicamente, y por lo que respecta a la banda de TV de 470 a 862 MHz, correspondiente a la banda normalizada en esta fecha, se llevaron a cabo también una primera valoración de los TVWS en la zona metropolitana de Barcelona, cuyos resultados se ilustran en las Figuras 3 y 4. Las dos curvas muestran la banda agregada disponible en el supuesto de que la granularidad sea 3 canales de TV libres contiguos y 1 canal de TV libre, respectivamente. La disponibilidad del espectro es mayor en este estudio que en el anterior²⁵, si bien hay que contar que la banda del dividendo digital estaba todavía contabilizada para TV en el estudio realizado en la zona metropolitana de Barcelona, tal como indica la Figura 5, que casualmente para esta zona es donde concentraba la mayor parte de canales de TV. Descontando este hecho los resultados entre ambos estudios serían más parejos.

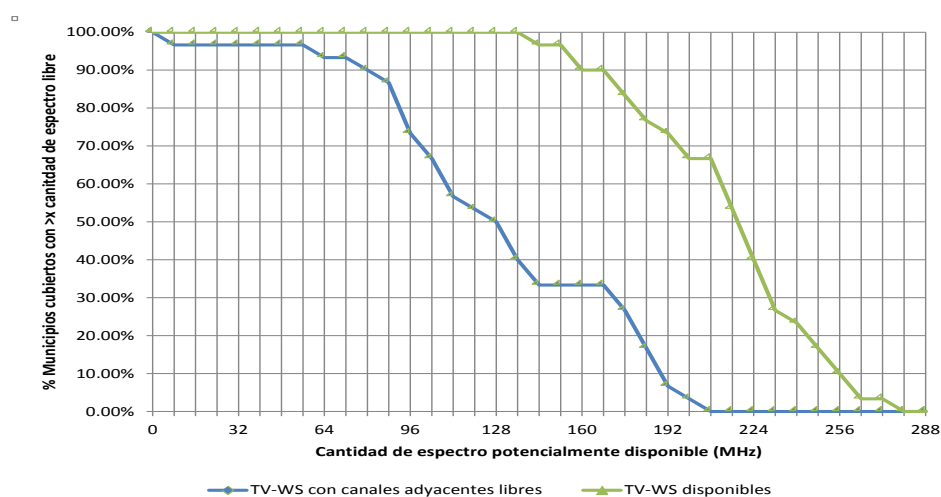


Figura 3

²⁵ Jaap Van De Beek, Janne Riihijarvi, Petri Mahonen “Intrinsic challenges (and opportunities) to deploy LTE in Europe’s TV white spaces” Future Network and Mobile Summit 2012

²⁶ M. Lopez-Benitez, A. Umbert, F. Casadevall (2009) “Evaluation of Spectrum Occupancy in Spain for Cognitive Radio Applications”, IEEE Vehicular Technology Conference Spring, 2009, <http://202.194.20.8/proc/VTC09Spring/DATA/03-06-03.PDF>

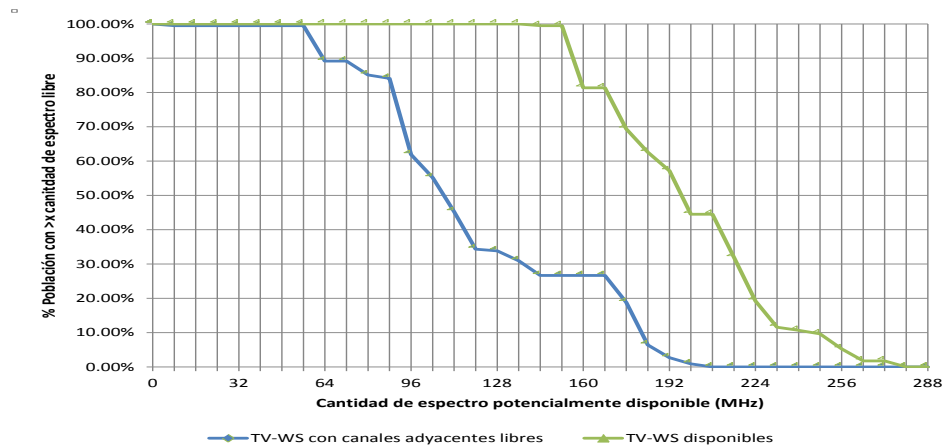


Figura 4

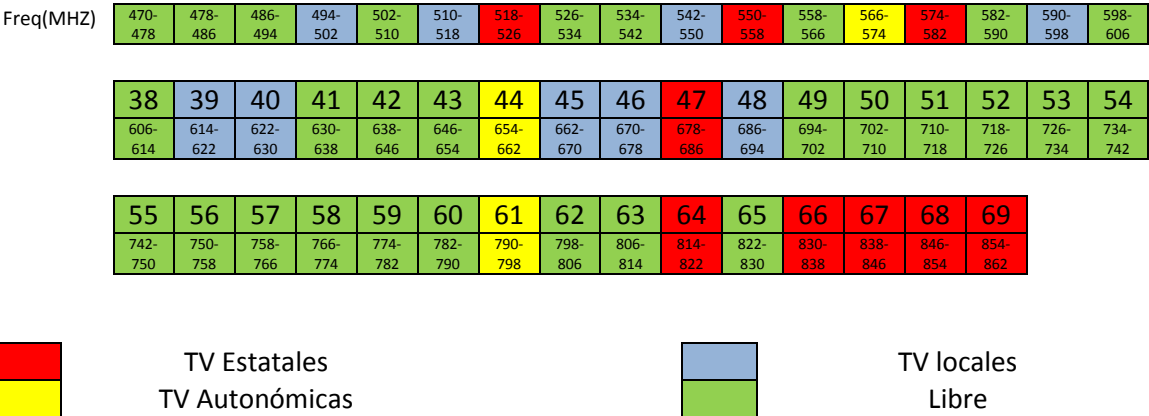


Figura 5

En el Anexo se describe un repositorio de las medidas efectuadas en Barcelona y parte del área metropolitana a partir de 2009, así como la metodología instrumental adoptada. Estos datos son públicos y accesibles vía web y van más allá de los estrictamente TVWS, habilitando en todo caso zonas espectralmente “ociosas” susceptibles de ser mejoradas con la radio cognitiva.



8. ASA / LSA

El ASA²⁷ (“Authorized Shared Access”), también conocido como LSA (“Licensed Shared Access”), es una normativa de uso compartido del espectro con condiciones bien definidas y predecibles, evitando los inconvenientes de compartir bandas exentas de licencia. EL ASA es un concepto diferente de los TVWS, aunque sin duda su nacimiento está en relación a los mismos y a la radio cognitiva de la que hace uso, ofreciendo una opciones adicional de compartición espectral. La normativa LSA permitiría emitir licencias de uso adicionales a las del incumbente, supuesta garantizada la ausencia de interferencias entre licenciados, o lo que es lo mismo, una QoS para todos los usuarios que comparten el espectro. Es decir se establecería una estricta ortogonalidad en el dominio espacial-temporal de los usuarios que vayan a compartir el espectro con el incumbente. Un claro argumento a favor del LSA reside en que los procesos de liberalización de bandas de espectro, y la consiguiente necesidad de la migración, son largos y costosos. Por lo tanto, una solución alternativa basada en el concepto de un pre-acuerdo entre las partes, hecho a nivel de administración / regulador, es invocado como un mecanismo de acortar y facilitar la evolución desde el estado regulatorio actual. Los términos y condiciones acordados entre los usuarios con licencias LSA pueden ser estáticos, con zonas de exclusión definidas para periodos largos de tiempo, o más dinámicos, atendiendo a asignaciones acordadas previamente de las componentes espacio-tiempo para cada usuario y naturalmente a las características del incumbente.

Si bien LSA es por lo tanto un concepto diferente de los TVWS, todavía se piensa en la radio cognitiva como unos de sus habilitadores, en especial para situaciones de uso compartido en modo dinámico. Una banda candidata en Europa podría ser 2300-2400 MHz. Otras pueden seguir. La razón de identificar bandas concretas reside en el interés de todos los actores: fabricantes, operadores y usuarios en favorecer economías de escala en los equipos que vayan a trabajar en tales bandas LSA. En particular esta banda es usada en Asia para LTE. Es decir, las condiciones de compartición del espectro tienen que ser lo suficientemente atractivas y predecibles como para proporcionar un incentivo para los nuevos usuarios a invertir en equipos y redes.

Los TVWS, no son estrictamente incompatibles con LSA a nivel regulatorio. Los mismos TVWS podrían ser operados también en modo LSA por un grupo de usuarios licenciados. La misma idea de los TVWS se podría aplicar también a otras bandas de frecuencia actualmente ocupadas por servicios tales como aeronáuticos, etc. si bien todo ello está aún en fase previa de estudio a nivel académico. Hay que insistir no obstante en que actualmente los modos de

²⁷ Nokia Siemens Networks on Authorized Shared Access, April 2012

uso previstos por los reguladores, y antes mencionados, consideran los TVWS solamente para usuarios no licenciados y WSD homologados.

Finalmente, la ECC ha aprobado recientemente la iniciativa CEPT (FM Project Team 52) cuyo objetivo es armonizar las medidas de aplicación para múltiples redes (incluidos los sistemas inalámbricos de banda ancha) operando en la banda de frecuencias 2300 - 2400 MHz. Esto puede incluir la elaboración de disposiciones reglamentarias basadas en el régimen LSA para asegurar el uso continuado del titular de la banda para las administraciones que deseen mantener dicho uso. Un primer resultado se prevé que se presentará al ECC para su examen en 2014. Una descripción más detallada sobre la situación actual de la banda 2300 - 2400 MHz en algunos de los países de la CEPT se puede encontrar en la sección 8.2 de la ETSI TR 102 837.

9. CONCLUSIONES

Esta contribución pretende resumir cual es la situación actual de la radio cognitiva en relación principalmente con los TVWS, incluyendo también una pequeña mención al nuevo paradigma de compartición espectral LSA. En particular, se muestran los conceptos técnicos básicos en los que se sustenta la radio cognitiva en relación a una explotación oportunista de los huecos de ocupación espectral que aparecen en las bandas de TV. Se adelantan algunos casos de aplicación mayoritariamente aceptados. Se hace también un breve recorrido histórico, siempre reciente, de las políticas de regulación en EEUU, auspiciadas desde la FCC, y en Europa, así como del estado de la estandarización de las tecnologías de Radio Cognitiva que habilitan de manera práctica una explotación de los TVWS. Se muestran datos numéricos en relación a la magnitud de los TVWS, acompañados en algunos casos de campañas de medidas. Finalmente se resume la situación actual del modelo de compartición espectral LSA.



ANEXO. Spectrum Occupancy Data Base (SPOC-Data Base)

La denominada Spectrum Occupancy Data base ó SPOC Data base (<http://spoc.upc.edu>) es una base de datos del grupo de investigación en comunicaciones móviles (<http://www.grcm.tsc.upc.edu>) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) en donde se almacenan medidas del espectro radioeléctrico en la banda de 75 MHz a 3 GHz. Está previsto almacenar medidas en las siguientes bandas:

- PMR/PAMR (75 a 78 MHz)
- Aeronáutica 137-144MHz
- Micrófonos inalámbricos(174-195 MHz)
- PMR/PAMR (223 a 235 MHz)
- TETRA (410 a 430 MHz)
- DVB-T (470 a 862 MHz)
- E-GSM UL (880- 915 MHz)
- E-GSM DL (925-960 MHz)
- Radioenlaces fijos (1427 a 1452 MHz)
- Radioenlaces fijos (1492 a 1517 MHz)
- DCS 1800 UL (1710-1785 MHz)
- DCS 1800 DL (1805-1880 MHz)
- UMTS UL (1920-1980MHz)
- UMTS DL (2110-2170 MHz)
- Radioenlaces fijos (2025 a 2110 MHz)
- Radioenlaces fijos (2200 a 2290 MHz)

En la actualidad hay medidas en todas las bandas, para la ubicación #1 del Campus Nord de la UPC, que es una ubicación exterior en el tejado del edificio que alberga los laboratorios del grupo de investigación en comunicaciones móviles.

En el caso particular de canales de TV, además de medidas en el Campus Nord de UPC, se han realizado medidas en todos los municipios de las comarcas Alt Penedes, Garraf y Baix Llobregat, todas ellas cercanas a Barcelona, y pertenecientes a lo que se podría denominar como región Metropolitana.

Las medidas se han realizado utilizando un analizador de espectros al que se le han incorporado algunos dispositivos externos para mejorar sus prestaciones (capacidad de detectar niveles muy pequeños de señal).

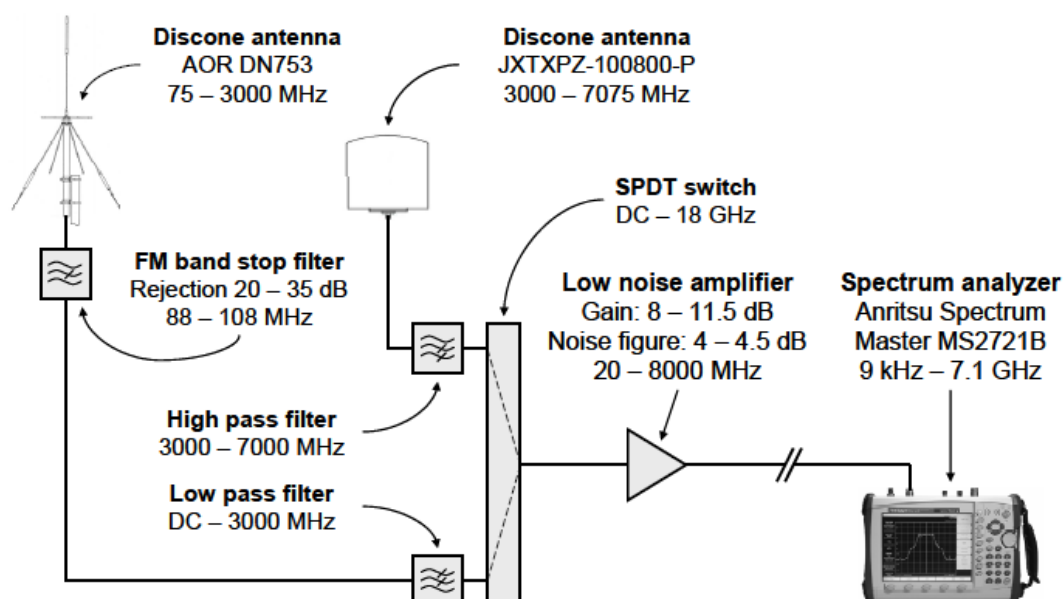


Figura A1.- Diagrama de bloques del sistema de medición

La estructura básica del sistema de medición, cuyo esquema de bloques se muestra en la figura A1, está compuesto por dos antenas dicono de banda ancha que en total cubren la banda de 75MHz a 7,075 GHz, un conmutador de RF (SPDT²⁸ switch) que permite seleccionar la antena de medida, distintos filtros destinados a limitar el nivel de las señales de la banda de FM y señales fuera de banda que, debido a la cercana ubicación del Campus Nord de UPC con la torre de comunicaciones de Collserola, podían saturar al equipo de medida, un amplificador de bajo nivel de ruido para aumentar la sensibilidad del sistema de medida y poder detectar niveles de señal muy bajos y finalmente un analizador de espectros controlado por un PC portátil para almacenar las muestras de la actividad espectral medida.

A la web se accede mediante la dirección URL <http://spoc.upc.edu> entrando en modo invitado (Guest) y se solicita simplemente el nombre y correo electrónico para tener un registro de las personas y empresas que han accedido a esta base de datos. Además, en la página principal existe la posibilidad de descargar un par de documentos pdf, uno con la descripción de la metodología utilizada para las medidas mientras que el otro es un informe sobre medidas de ocupación espectral realizadas en la ubicación #1 del Campus Nord de UPC antes mencionada.

²⁸ Single-Pole Double-Throw

Para seleccionar medidas sobre ocupación del espectro radioeléctrico en la banda de TV hay que seguir los siguientes pasos

1. **Seleccionar el punto de medida.** Esta selección se realiza escogiendo uno de los cuatro ámbitos de medida (Campus Nord, Alt Penedes, Baix Llobregat ó Garraf) y una vez seleccionada la comarca se elige el municipio y el punto de medida, si hay más de una ubicación por municipio.
2. **Seleccionar la banda.** La banda de TV medida es la comprendida entre 470 y 862 MHz
3. **Seleccionar el periodo temporal de observación.** En algunos puntos se ha medido en diversos días y con diferentes periodos temporales.
4. **Seleccionar la medida a visualizar.** En particular se puede seleccionar entre:
 - a. **Potencia.** Permite visualizar la potencia media, mínima y máxima para cada radio canal primario ó bien estos mismos valores promediados en toda la banda según consideremos los resultados a nivel de canal ó banda.
Como alternativa también podemos visualizar la función de distribución acumulativa (CDF) que establece la probabilidad o el porcentaje de tiempo que la potencia del radio canal o de la banda está por encima de cierto nivel predeterminado.
Una tercera opción es trabajar con la función de distribución de probabilidad de amplitud (APD). APD básicamente es un histograma tridimensional con un eje que representa el nivel de potencia recibido) otro que representa la frecuencia y un tercero que representa para cada nivel y frecuencia (radiocanal) la probabilidad de obtener dicho nivel a lo largo de todo el período de medición.
 - b. **Ciclo de Trabajo (Duty Cycle).** Permite visualizar el valor del ciclo de trabajo ó bien la función de distribución acumulativa de dichos valores. También contempla la medida de la denominada “banda efectiva libre”, entendida como $(1-DC) \cdot B$, siendo DC el valor del ciclo de trabajo y B la banda total observada. Estas medidas pueden hacerse a nivel de canal ó de banda.
 - c. **Dimensión temporal.** En este caso se pueden visualizar las estadísticas de periodos ocupados ó periodos libres. Las estadísticas que pueden obtenerse son o bien la función de distribución acumulativa (CDF) ó bien la media,

mediana, valor máximo, valor mínimo y moda²⁹. Ambas estadísticas pueden obtenerse a nivel de canal ó para toda la banda.

- d. **Dimensión Frecuencial.** En este caso se visualiza los huecos espectrales libres ó las porciones de espectro ocupadas. Como en el caso anterior las estadísticas que pueden obtenerse son o bien la función de distribución acumulativa (CDF) ó bien la media, mediana, valor máximo, valor mínimo y moda. Ambas estadísticas pueden obtenerse a nivel de canal ó para toda la banda.

Los resultados obtenidos pueden descargarse de la aplicación WEB utilizando ficheros MATLAB ó bien en forma de texto plano, para su posterior procesado si fuera el caso.

²⁹ En ocasiones puede ser más apropiado utilizar el valor mediano en lugar del valor medio. Ambos parámetros permiten resumir en un único valor numérico una secuencia de valores (para la duración de los huecos o para el tiempo de aparición entre huecos). Cuando la secuencia se caracteriza por valores máximos o mínimos que difieren significativamente entre sí, el valor medio en ocasiones resulta menos representativo de los valores presentes en la secuencia, ya que unas pocas muestras con valores muy altos o muy bajos pueden alterar de manera significativa el valor promedio de la secuencia. En tal caso, el valor mediano resulta un parámetro más apropiado para resumir los valores presentes en la secuencia. Este podría ser el caso si tenemos en cuenta que un hueco puede deberse a un periodo de inactividad temporal durante una transmisión primaria (hueco corto) o bien a un periodo de inactividad entre sesiones (hueco largo).