



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# Compartición del Espectro Radio Eléctrico entre Tecnologías Inalámbricas de Última Generación en la Banda de la Televisión Digital Terrestre

Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia  
Universitat Politècnica de València

Tesis para el título de  
Doctor en Telecomunicaciones  
Valencia, Abril 2018

Autor:

Gerardo Martínez Pinzón

Director:

Prof. Narcís Cardona Marcet

# Resumen

**La banda de frecuencias atribuida a los servicios de televisión ha tenido importantes cambios de atribución y reordenación en la última década. Esto es debido a la introducción de las tecnologías digitales y sistemas de compresión de información más eficientes en el campo de la televisión, los cuáles permitieron reducir el número de frecuencias necesarias para la transmisión de los servicios de televisión con tecnología digital respecto a la analógica.** En consecuencia, se permitió liberar un conjunto de bandas de frecuencias, conocidas como las bandas del dividendo digital. El primer dividendo digital, corresponde a la banda de frecuencias de 790 MHz a 862 MHz (conocida también como la banda de 800 MHz) en las Regiones 1 (Europa y África), y 3 (Asia y Oceanía), y la banda de 698 MHz a 806 MHz (conocida también como la banda de 700 MHz) en la Región 2 (América). El segundo Dividendo Digital (DD2), comprende el rango de frecuencias de 694 MHz a 790 MHz en las Regiones 1 y 3, y la banda de 614 MHz a 698 MHz en la Región 2 (conocida también como la banda de 600 MHz). **Estas bandas fueron atribuidas a título primario a los Servicios Móviles Internacionales 2000-2020 (IMT-2000-2020, en inglés), con el objetivo de satisfacer los requerimientos adicionales de espectro que demandan en la actualidad y el crecimiento exponencial que se proyecta para la próxima década.** Una de las principales razones que motiva la alta demanda de espectro de las tecnologías móviles de última generación se debe a la nueva revolución tecnológica que pretende la interconexión masiva de dispositivos u objetos a internet (del orden de billones de dispositivos). **Por lo tanto, la implementación de los servicios móviles en la banda de los dividendos digitales provoca retos importantes en la armonización del uso de la banda entre las redes de televisión y móviles de cuarta generación.**

**En la presente tesis proponemos que la armonización y uso eficiente de la banda de televisión puede afrontarse a través de tres enfoques:** El primero de ellos, es la migración de la televisión analógica a la digital, y, por ende, la liberación de la banda de los dividendos digitales para la posterior implementación de las redes móviles de última generación. El segundo de ellos, es garantizar la compatibilidad o convivencia entre las redes de televisión y las móviles en las bandas de los dividendos digitales, y el tercero de ellos, es el uso futuro de la banda de televisión después de los dividendos digitales.

El proceso de migración del apagón analógico a la digital es un cambio tecnológico que se viene abordando al menos hace dos décadas, Reino Unido y Estados Unidos fueron los primeros países en iniciar el proceso de transición del apagón analógico en el año 1998. **En Europa, la Comisión Europea propuso como fecha recomendada mayo de 2005, y como fecha límite para el apagón analógico en todos los países que la conforman en el año 2012.** En la actualidad, el número de países a nivel mundial son 54, los que han llevado a cabo completamente el proceso, convirtiéndose Holanda en el primer país en emitir todos los servicios de televisión con tecnología digital en el año 2006. **En Sudamérica, el proceso de apagón analógico a nivel nacional está aún en proceso, con diferencias temporales entre los países que la conforman. En América central, México se convirtió en el primer país en llevar a cabo el apagón en el año 2015, mientras que en Sudamérica ningún país hasta la fecha ha culminado el apagón analógico en su totalidad, cumpliendo al menos una década (Brasil) en este proceso.** Concretamente, se proyecta el apagón analógico para las siguientes fechas: Ecuador para el año 2018 (se espera que esta fecha se extienda temporalmente debido a los inconvenientes de los despliegues de las redes); Colombia, Argentina y Bolivia para el año 2019; Chile y Venezuela para el año 2020; Brasil para el año 2023 (para alcanzar una cobertura poblacional a nivel nacional  $\geq 90$  %); Paraguay para el año 2024; Perú para el año 2025; y Uruguay aún por definir

**La convivencia o compatibilidad de las redes de televisión y móviles en las bandas de los dividendos digitales aborda la definición de los requerimientos técnicos de operación de cada una de las redes operando en adyacencia, los cuales garanticen el correcto funcionamiento de cada uno de los servicios primarios sin que exista ninguna degradación de la calidad.** En Europa, la limpieza de la banda del primer dividendo digital y la implementación de las redes operando en la banda de 800 MHz ha sido llevada a cabo en los últimos años. **Asimismo, se proyectó que el despliegue de las redes móviles en la banda del segundo dividendo digital (banda de 700 MHz), sea realizado para el año 2020 con una diferencia temporal de  $\pm 2$  años.** En Sudamérica, ningún país ha llevado a cabo en su totalidad la limpieza de la banda de 700 MHz (primer dividendo para América y segundo para Europa), teniendo en cuenta los retrasos que han tenido con el apagón analógico.

En el año 2015, la Unión Internacional de Telecomunicaciones en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones determinó que en el año 2023, se realizarán revisiones acerca del uso futuro de la banda de televisión (banda restante una vez llevados a cabo los dividendos digitales), es decir, se discutirá si seguirá atribuida a título primario a los servicios de televisión, o podría ser atribuida a otros servicios de radiocomunicaciones a título co-primario o secundario, teniendo en cuenta principalmente tres perspectivas: **La primera de ellas, son los requerimientos adicionales de espectro de las tecnologías móviles**, debido a las altas velocidades de transmisión que se requieren por los nuevos servicios, y a la interconexión masiva de dispositivos a internet. **La segunda de ellas, por el uso ineficiente de las frecuencias libres de la banda de TDT o TV-White-Space en países con baja demanda.** Estados Unidos y Reino Unido fueron los primeros países en regular el uso de los TV-White-Spaces para dispositivos de baja potencia a modo de acceso compartido horizontal secundario. Otros países como Canadá y Colombia también han regulado el uso de los TV-White-Spaces. **La tercera de ellas, por la diversidad de cuotas de mercado en la difusión lineal de contenidos televisivos, que varía en función del país, por ejemplo, en Bélgica el mercado de televisión oscila en el 4% mientras en Italia alcanza hasta el 89%.** En la actualidad, hay una revolución y creciente aceptación de ver los contenidos audiovisuales por plataformas de video bajo demanda a través de internet (televisión no-lineal), tales como NetFlix, HBO, entre otros. Por todas estas razones, la ITU, solicitó estudios de compatibilidad que definan posibles casos de uso para la banda de televisión, que comprenden desde la definición de los requerimientos técnicos, así como también, las posibles tecnologías.

**La presente tesis aborda la problemática de la convivencia entre las redes de la televisión digital terrestre y móvil de cuarta generación en la banda del primer dividendo digital (banda de 700 MHz), en Sudamérica. Además, se proponen dos potenciales casos de uso de compartición de espectro para el uso futuro de la banda de televisión después de los dividendos digitales, como modo de acceso eficiente y flexible para el uso del espectro radioeléctrico.**

**Para garantizar la convivencia entre las tecnologías de televisión y móviles en la banda del primer dividendo digital en Sudamérica, se evalúa tanto el impacto de las redes móviles sobre las de televisión, así como el caso contrario, las redes de televisión sobre las móviles, teniendo en cuenta los parámetros técnicos de operación de cada una de las redes implicadas, los cuales son definidos por organismos de estandarización o parámetros reales de redes de Sudamérica. Dentro de los parámetros técnicos de operación que se definieron para las redes podemos citar: márgenes de protección entre las señales de televisión y móviles (máxima potencia interferente permitida a la entrada del receptor víctima sin que la calidad del servicio útil sea degradada); distancias de protección entre el transmisor interferente y el receptor víctima; ban-**

da de guarda requeridas entre las dos tecnologías; límites de emisiones interferentes fuera de banda; niveles de atenuación adicionales en las máscaras espectrales; evaluación de técnicas de mitigación de interferencias, entre otros. **Es importante resaltar, que las principales diferencias entre los estudios de convivencia en Sudamérica respecto a Europa son: la banda de guarda en Sudamérica son 5 MHz mientras en Europa son 9 MHz; el ancho de banda de un canal de televisión en Sudamérica es 6 MHz respecto a 8 MHz en Europa; el estándar de televisión adoptados en casi toda Sudamérica es ISDB-Tb, a excepción de Colombia que adopto DVB-T2. En Europa casi todos países tienen adoptados la familia de estándares DVB. La importancia de esta contribución se fundamenta en que en Sudamérica ningún país ha desplegado a nivel nacional redes móviles en la banda de 700 MHz, y, por ende, los requerimientos técnicos de operación definidos en el ámbito de esta tesis, podrán ser útiles tanto para organismos de estandarización como empresas.**

Asimismo, en el ámbito de esta tesis, se proponen dos potenciales casos de estudio para el uso futuro de la banda de TV, promoviendo la compartición de espectro como un modo de acceso eficiente: **El primer caso de estudio, propone un nuevo concepto de espacios en blanco llamado  $\mu$ -TV-White-Space, los cuales son aquellas zonas geográficas en los interiores de una vivienda y/o oficina que no son cubiertas por el servicio de televisión digital terrestre, ya sea por la ausencia de cobertura o por obstáculos. El escenario propuesto es una red DVB-T2 ofreciendo cobertura en recepción fija sobre tejado, como servicio primario, y, femtoceldas LTE-A en interiores de un hogar u oficina, como servicio secundario.** Los resultados obtenidos proporcionan restricciones técnicas para que las femtoceldas LTE-A puedan operar correctamente en espectro compartido con los servicios de televisión. Específicamente, se define la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima que podrían transmitir las femtoceldas, en función de la separación en frecuencia con los servicios de televisión. **El segundo caso de estudio, propone el uso de los espacios en blanco para la compartición de espectro entre los servicios de internet de las cosas bajo el estándar NB-LTE-IoT, como servicio secundario, y servicios de televisión digital terrestre bajo el estándar DVB-T2, como servicio primario.** Se define la máxima potencia transmisible por los nodos y dispositivos IoT sin interferir al servicio primario. Además, se evalúa el impacto del ciclo de trabajo de los dispositivos considerando que existirá diversidad de aplicaciones. **La importancia de esta propuesta se fundamenta en dos contribuciones: por un lado, se optimiza el uso de la banda de televisión mediante el acceso secundario de dispositivos de baja potencia en los espacios en blanco, siempre garantizando los servicios de televisión, como servicio primario, por otro lado, se contribuye con nuevas frecuencias para las tecnologías móviles de última generación, con el objetivo de aumentar la capacidad de las redes que soportarán tanto los servicios móviles como IoT.**