



Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia

Radio spectrum management in Colombia

Ernesto Cadena Muñoz*, Hermes Javier Eslava Blanco**, José Alejandro Franco Calderón***

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2013

Fecha de aceptación: 5 de diciembre de 2014

Como citar: Cadena Muñoz, E., Eslava Blanco, H. J., & Franco Calderón, J. A. (2015). Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia. *Revista Tecnura*, 19(45), 159-173. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a12

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión del estado del arte de la gestión del espectro radioeléctrico. Se definen conceptos básicos que permiten reconocer su alcance e importancia para el sector y se hace un análisis de los diferentes modelos de gestión del espectro, destacando las características, fortalezas y debilidades de cada uno para su aplicación. Se analiza el contexto del país, en el cual se observa que el modelo de gestión tradicional utilizado no es eficiente y genera pérdidas económicas para el país en uno de los recursos más importantes en materia de Telecomunicaciones, lo que nos lleva a replantear el modelo actual de gestión del espectro radioeléctrico en Colombia.

Finalmente, se presentan las tendencias en la gestión del espectro y se resalta la necesidad de analizar el modelo basado en el mercado de servicios de telecomunicaciones y los requerimientos para su aplicación en el país, así como las dificultades que puede encontrar.

Palabras clave: comunicaciones inalámbricas, gestión del espectro radioeléctrico, radio cognitiva.

ABSTRACT

This paper shows a review of the state of art of radio spectrum management, some basic concepts are defined allowing to recognizing its scope and importance for the sector and an analysis of different spectrum management models is done highlighting features, strengths and weaknesses of each one for its application. It analyzes the context of the country, where it is observed that the traditional management model used is not efficient, generating economic losses for the country in one of the most important resources on Telecommunications, which leads us to reconsider the current model of radio spectrum management in Colombia. Finally, we present the trends in spectrum management and we highlight the need for analysis of the model based on the telecommunications market, the requirements for its implementation in the country and the difficulties that may arise.

Keywords: cognitive radio, radio spectrum management, wireless communications.

* Ingeniero en Telecomunicaciones, especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Candidato a magíster en Telecomunicaciones e instructor de Telecomunicaciones del SENA, Bogotá, Colombia. Contacto: ecadenam@misena.edu.co

** Licenciado en Electrónica, especialista en Teleinformática, especialista en Instrumentación Electrónica y magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones. Candidato a doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación. Docente Asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contacto: hjeslavab@udistrital.edu.co

*** Ingeniero Electrónico, especialista en Administración de Tecnologías de la Información para la Comunicación Virtual. Instructor de Telecomunicaciones del SENA, Bogotá, Colombia. Contacto: alejo.franco@misena.edu.co

INTRODUCCIÓN

Cuando utilizamos nuestro teléfono celular, cuando vemos televisión o escuchamos la radio, la información ha sido acondicionada y transmitida por un proveedor de servicios a través de un medio de transmisión específico utilizando un sistema de telecomunicaciones que puede ser radiocomunicaciones, comunicación satelital, celular, entre otros. Independientemente del sistema de transmisión empleado, se emite una señal electromagnética que es enviada a una frecuencia específica dependiendo del servicio requerido desde el emisor hasta el receptor, aprovechando el principio de propagación de las ondas.

El espectro radioeléctrico es una parte del espectro electromagnético que ocupa las bandas de frecuencia correspondientes a los servicios de telecomunicaciones, que según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) van desde una frecuencia de 3 KHz hasta 3.000 GHz, divididas en nueve bandas de frecuencia, de acuerdo con el tipo de servicio (Mansilla, 1996). El espectro es un recurso escaso, puesto que debe dividirse entre los operadores y brindar acceso no solo a servicios tradicionales como televisión, radio, celular e internet, sino también a servicios como la seguridad y defensa para el país, lo cual muestra la importancia de su asignación y uso.

Para comprender la necesidad de la gestión eficiente del espectro radioeléctrico, tomemos como ejemplo lo que sucedería con un servicio como la radio. En nuestro aparato receptor lo que hacemos es ajustar a una frecuencia específica, por ejemplo 90.4 MHz, si no hay control de la frecuencia de transmisión de cada emisora, al intentar sintonizarla, podríamos tener varias fuentes de señal, lo cual originaría pérdida de la información e interferencia en la señal, de manera que sería sumamente complicado recuperar el mensaje original; peor sería el caso si lo llevamos a la comunicación celular, internet o cualquier otro servicio.

El espectro radioeléctrico es considerado un bien de dominio público (Feijoo Gonzalez, Gómez

Barroso, & Mochón, 2011), razón por la cual cada país debe velar por su uso eficiente y revisar la legislación constantemente, ya que las telecomunicaciones han presentado un avance tecnológico significativo durante los últimos años, lo cual conlleva cambios económicos (De León O. , 2009), políticos y sociales que deben ser evaluados (Wellenius & Neto, 2005).

El desarrollo del sector (De León & González Soto, 2008) y la importancia de las radiocomunicaciones hacen que encontremos hoy en día un entorno competitivo, que elimina monopolios que existían anteriormente y que ofrece mayor flexibilidad en la prestación de los servicios de telecomunicaciones, de forma que hay una gran variedad de servicios con diferente calidad (Olafsson, Glover, & Nekovee, 2007). La gestión tradicional del espectro radioeléctrico es poco flexible, porque en general asigna bandas de frecuencia para servicios a cada operador, lo que en ocasiones se traduce en un uso ineficiente, es decir, en una subutilización del recurso (Hang, Randall, Honig, & Vohra, 2009). Y el escenario se complica si pensamos en redes de nueva generación (NGN), donde se busca la convergencia de redes y servicios, para lo cual debe ser más eficiente y flexible la asignación del recurso (Aldana J & Vallejo, 2010).

Una alternativa tecnológica aparece con la radio cognitiva (Gajewski & Marek, 2009), que permite una mejor utilización del espectro, usa los espacios subempleados de determinadas frecuencias y va intercambiando la frecuencia utilizada de acuerdo con la disponibilidad de la red a la que se encuentra conectado (Ahmed, Mubashir Hassan, Sohaib, Hussain, & Qasim Khan, 2011), con lo cual permite técnicas como el acceso dinámico al espectro radioeléctrico (DSA) y la gestión dinámica del espectro (DSM). Estas alternativas están actualmente en estudio, pues implican no solo cambios tecnológicos, sino regulatorios.

La segunda sección del artículo presenta el concepto de gestión del espectro radioeléctrico, sus objetivos y su clasificación de acuerdo con un punto de vista regulatorio. Además, se observa la

clasificación de los modelos de gestión actuales, que nos permite evaluar los diferentes modelos, sus ventajas, desventajas y posible aplicación. La tercera sección muestra las tendencias de la gestión del espectro a nivel internacional, y la cuarta presenta la gestión en el contexto colombiano. Finalmente, se realizan algunas conclusiones con base en el análisis de las secciones previas.

GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

La gestión del espectro radioeléctrico se define como la combinación de elementos técnicos, científicos y administrativos para planificar y ejecutar la asignación, control y seguimiento del uso del espectro radioeléctrico para los diversos servicios de telecomunicaciones que se ofrecen en el mercado, buscando evitar interferencias (UIT-R Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2010).

Este concepto plantea de entrada dos desafíos si lo traemos al contexto actual: el recurso del espectro es escaso y existe dificultad en el despliegue debido a las demoras en los procesos de asignación para los servicios inalámbricos que están en aumento (Doshi, Duong, Bagrodia, & Thai, 2006).

En el sector se ha reconocido la importancia que tiene el espectro radioeléctrico para un país, de ahí surge la necesidad de que el Gobierno reglamente y haga una intervención para garantizar eficiencia y transparencia en su asignación y administración (Ministerio de Comunicaciones, 2008) (Quintuña Rodríguez, 2010), lo que en definitiva se traduce en leyes y políticas para lograr estos fines.

Diferentes naciones (Ministerio de Comunicaciones, 2008) conscientes de este hecho han trabajado desde el año 1906 en conjunto para generar diversas maneras de administrar el espectro radioeléctrico, y en 1932 con la creación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se logró un gran avance en la búsqueda de unificación de conceptos y normalización internacional en el área (Ministerio de Comunicaciones, 2008). A nivel internacional podemos encontrar varios grupos

de estudio en las telecomunicaciones, cuyos integrantes se muestran en la figura 1 (Cave, Doyle, & Webb, 2007). El trabajo de estos grupos de estudio es realizar investigación y normalización en temas regulatorios y técnicos; el grupo de la UIT se encarga de la gestión del espectro radioeléctrico y en Europa está el grupo de gestión de frecuencia, ingeniería del espectro y regulación de radio.

Además de estos organismos de normalización, debemos tener en cuenta que nuestra economía está regida por los lineamientos de la Organización Mundial del Comercio, la cual hace una diferencia entre lo que son servicios de telecomunicaciones, tecnologías de la información y las comunicaciones (Cave, Doyle, & Webb, 2007). Dentro de este contexto se busca un mercado con las menores restricciones posibles, que se establezca de manera objetiva, transparente y sin discriminación (Valenzuela, 2010). La inclusión de criterios de mercado en la asignación del espectro genera flexibilidad y aumenta la eficiencia de su utilización, lo cual se refleja en mayor capacidad de innovación, producción y competitividad en la economía.

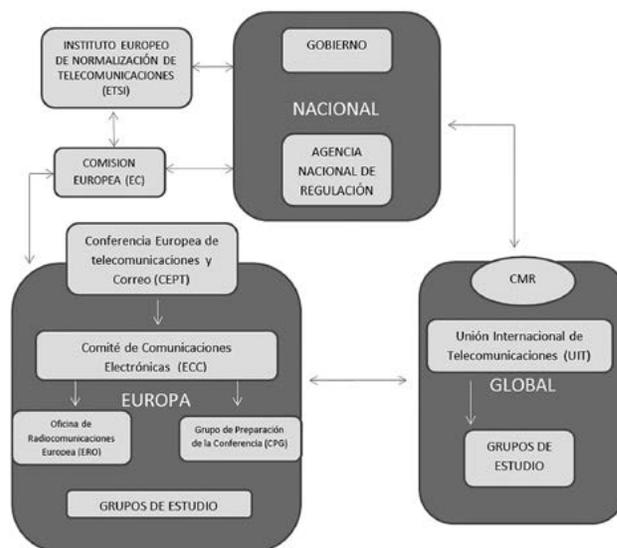


Figura 1. Instituciones encargadas de la normalización internacional en Telecomunicaciones.

Fuente: Cave, Doyle y Webb (2007).

Analizando las últimas dos décadas se encuentra que el desarrollo electrónico ha impulsado el sector de las telecomunicaciones y ha permitido servicios con más calidad y mayor ancho de banda que los ofrecidos anteriormente (Calvet Madrigal & Parra Valbuena, 2009). Esto, sumado al incremento de la demanda de internet y al uso de tecnologías móviles, conlleva una necesidad de revisar el esquema actual de gestión del espectro (Wellenius, Neto, & Bank, 2008).

Objetivos de la gestión del espectro

En esta sección se presentan los objetivos generales de la gestión del espectro radioeléctrico según la UIT (Foster, Cave, & Jones, 2009), que son aplicables a nuestro país y están incluidos dentro de las políticas y planes de acción del Gobierno (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012). Estos objetivos son:

Eficiencia económica

El Estado debe garantizar el uso eficiente del espectro de radio asignado a fines públicos y privados, velando por el cumplimiento de las metas y objetivos del país, incluidos los que se refieren al crecimiento económico y bienestar social, buscando el equilibrio entre las exigencias de un mercado competitivo y la necesidad de una reglamentación rigurosa de un recurso público limitado.

Eficiencia técnica

Velar por la optimización del recurso evitando interferencias y separaciones (bandas de guarda) innecesarias. Asegurar que el espectro radioeléctrico se adapte a los servicios y tecnologías emergentes ofreciendo flexibilidad para atender las nuevas necesidades del mercado. Revisar constantemente los cuadros de atribución de frecuencias de acuerdo con la CONFERENCIA MUNDIAL DE RADIOCOMUNICACIONES y otros requerimientos que puedan surgir de esta.

Políticos

Cumplir con la normatividad nacional e internacional siguiendo las recomendaciones de la UIT

u otros organismos normalizadores y garantizar el cumplimiento de la política gubernamental de acceso a la competencia, la no discriminación, la equidad, la transparencia y justicia de la atribución y asignación entre los diversos interesados. Asegurar la disponibilidad del espectro de radio para beneficios sociales como la seguridad, la salud y los sistemas de emergencias.

Clasificación del espectro radioeléctrico

En esta sección se presenta la clasificación del espectro radioeléctrico desde dos perspectivas: desde el punto de vista regulatorio y desde la taxonomía de los modelos de gestión del espectro radioeléctrico, incluyendo los modelos tradicionales de gestión, los basados en el mercado y los que utilizan técnicas emergentes como la radio cognitiva, teniendo en cuenta además los beneficios y dificultades de su aplicación.

División regulatoria del espectro

Desde este punto de vista el espectro está dividido en dos clases de bandas, con licencia (servicios básicos de telecomunicaciones, servicios de valor agregado, radiodifusión, entre otros) o exentas de licencia (radios de corto alcance, control remoto, sistemas de seguridad, investigación, entre otros). En el primer caso se busca la eficiencia a través de técnicas de gestión del recurso de radio, limitado por las características regulatorias y tecnológicas disponibles. En el segundo, no se puede garantizar su eficiencia porque al no tener licencia ninguna entidad se responsabiliza por su uso; se controla que no exceda los límites permitidos y que no genere interferencias a otros sistemas (Attar & Aghvami, 2007).

En la figura 2 podemos observar esta división basada en definiciones regulatorias (Cave., 2008), que son descritas brevemente y serán definidas en la siguiente sección. Se identifica el modo de cesión de derechos de uso geográfico, en el cual el agente renuncia al derecho de uso del espectro en la asignación geográfica de la licencia (total) o se hace un acuerdo con el cesionario para compartir parcial o

totalmente las bandas de frecuencia establecidas en diferentes zonas geográficas (parcial) (Feijoo Gonzalez, Gómez Barroso, & Mochón, 2011). También se encuentra el modelo temporal, en el cual se cede completamente el derecho de forma ilimitada o también se puede realizar temporalmente según el acuerdo que se haya realizado. Estas formas de cesión forman parte del mercado secundario del espectro, del modelo de uso exclusivo de gestión del espectro, mientras que los modos común privado y común público son parte del modelo común.



Figura 2. División del espectro-perspectiva regulatoria.

Fuente: Cave (2008)

División de acuerdo con los modelos de gestión del espectro radioeléctrico

La forma tradicional de gestión del espectro es que la agencia encargada realiza una asignación de una banda de frecuencia fija a determinado operador para un servicio, pero el inconveniente de esta técnica es la subutilización del recurso (Olafsson, Glover, & Nekovee, 2007), porque si no hay nada para transmitir, ningún otro operador puede usar esa banda de frecuencia y por lo tanto se pierde ese espacio.

En la figura 3 se observa la taxonomía de los Modelos de Gestión del espectro radioeléctrico realizada a partir de (Buddhikot, 2007) y (Quintero, 2008), donde se resumen los modelos de gestión. Podemos observar que se divide en 4 grandes grupos principales que se agrupan de acuerdo a sus características comunes y a su flexibilidad, se incluyen los modelos tradicionales y los desarrollados actualmente.

- Instrucción y control

Este enfoque se basa en decisiones administrativas delimitadas por el ente regulador. Es el menos flexible de todos los métodos, su característica principal es la capacidad de evitar las interferencias asignando bandas de frecuencia a un determinado servicio de telecomunicaciones (García García, 2010). Este método delimita quién va a

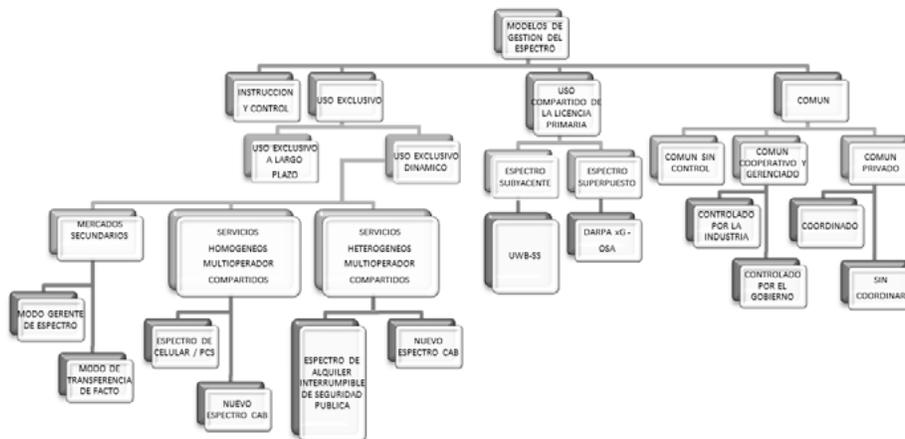


Figura 3. Taxonomía de los modelos de gestión del espectro radioeléctrico.

Fuente: Buddhikot (2007) y Quintero (2008).

utilizar el espectro, durante cuánto tiempo y en qué condiciones, y es el más conocido y utilizado aún en la actualidad por algunos países. Es importante resaltar que este modelo fue una forma efectiva de gestión hasta hace varios años, pero hoy en día no es viable porque es más difícil cada día asignar bandas específicas a la enorme demanda del mercado de radiocomunicaciones por espectro radioeléctrico, como por ejemplo en 4G-LTE (Mastorakis, Pallis, Zacharopoulos, & Bourdena, 2011). Este modelo no utiliza características del mercado (Buddhikot, 2007) y hoy en día se debe usar para seleccionar determinadas bandas para fines específicos, como el uso militar, radioastronomía, operaciones aeronáuticas, pero no para la gestión del espectro radioeléctrico en su totalidad.

- Uso exclusivo

Este modelo se basa en criterios de mercado: existe una licencia igual que en el de "Instrucción y control", pero no define el servicio por prestar ni la tecnología (García García, 2010), sino que se entrega al dueño de la licencia derechos exclusivos para su uso de acuerdo con ciertas reglas, que por lo general crean máscaras espectrales que limitan la potencia de transmisión para reducir interferencias (Buddhikot, 2007). Existen dos tipos: el primero es el uso exclusivo a largo plazo que utiliza la frecuencia, el espacio y el tipo de servicio para garantizar al dueño de la licencia esos factores durante periodos largos; el segundo se denomina de uso exclusivo dinámico, modelo que maneja escalas pequeñas de tiempo, espacio y frecuencia.

El modelo de uso exclusivo a largo plazo tiene dos clases, una fija donde el regulador establece los parámetros de servicio y tecnología que se van a utilizar durante el uso de la licencia y la otra es una forma flexible (Buddhikot, 2007), donde se puede cambiar la tecnología y el servicio por ofrecer a lo largo del uso de la licencia.

El modelo de uso exclusivo dinámico se basa en el principio de que en un momento dado de tiempo y espacio, un solo operador puede tener la licencia exclusiva, pero por un breve espacio

de tiempo, porque el operador y el tipo de servicio varían constantemente (Marcus, y otros, 2005). Este tipo generalmente es caracterizado por la aplicación de los mercados secundarios del espectro.

Dentro de estos mercados secundarios, la Federal Communications Commission (FCC) (Buddhikot, 2007) clasifica dos formas: el modo gerente de espectro, donde la licencia primaria asume el rol de gerente del espectro y el arrendatario con la transferencia de la licencia reporta al concesionario todo lo referente a la licencia. En este tipo la responsabilidad de cumplimiento la tiene el concesionario, que velará por los intereses del arrendador, pero garantizará el cumplimiento de los requerimientos y parámetros de la licencia primaria. El otro modo, conocido como transferencia de facto, consiste en que los derechos son transferidos totalmente al arrendatario, la responsabilidad sobre la licencia es totalmente del arrendatario. Se aclara que estos dos modos son conocidos también como arrendamiento del espectro.

En el modelo de servicios homogéneos multioperador compartidos (Buddhikot, 2007) cambia dinámicamente la asignación espacio-temporal junto con la cantidad de espectro entre múltiples operadores y pueden ser utilizadas diversas tecnologías. Este modelo permite el ordenamiento de la capacidad de acuerdo con la demanda solicitada en un momento específico que tiene en cuenta la fluctuación de tráfico y tiene un manejo más eficiente.

Cuando un operador está subutilizando su frecuencia, otro operador que ofrezca el mismo servicio puede utilizarla en ese intervalo. Servicios ofrecidos como los de comunicación personal (PCS) de celular son los candidatos para este tipo de modelo debido a su acceso dinámico, aunque tiene ciertas falencias porque aunque la coordinación entre los operadores es técnicamente viable, hay que analizar la cooperación del negocio. El otro problema es la calidad del servicio y la complejidad de la ingeniería detrás de estos servicios homogéneos para lograr el acceso dinámico.

En este esquema también se analiza la Banda de Acceso Coordinada, un espectro para el acceso

dinámico y compartido, donde el regulador asigna una nueva banda que tiene unas condiciones espacio-temporales relativamente pequeñas, pero tiene problemas tecnológicos porque es complejo localizar transmisores de diferentes proveedores y más si intentamos asociarle un precio a la actividad. Sin embargo, se rescata que este modelo puede ser utilizado con las tecnologías actuales reconfigurándolas y estableciendo los protocolos necesarios.

El modelo de servicios heterogéneos multioperador compartidos se basa en que el espectro es compartido entre operadores de diferentes servicios en diferentes escalas espacio-temporales; se asume que la infraestructura (Buddhikot, 2007) es desarrollada en cada asignación y banda de frecuencia, que es operada de manera independiente por cada operador. Cuando un operador está subutilizando su banda asignada de frecuencia, otro operador de un servicio diferente puede entrar y utilizarla mientras esté sin uso.

- Uso compartido de la licencia primaria

En este modelo un usuario primario poseedor de la licencia comparte el uso con un usuario secundario sin licencia (Buddhikot, 2007), y se espera que el empleo de la frecuencia por los usuarios del secundario no interfiera con los del primario. Este modelo es especialmente eficiente para tecnologías como la radio cognitiva y la gestión dinámica del espectro (Chapin & Lehr, 2007), incrementa el acceso al espectro y puede coexistir con los otros modelos presentes. Se puede clasificar en dos tipos: el primero, conocido como el espectro subyacente, impone restricciones sobre la potencia de transmisión de los usuarios secundarios, de tal forma que transmitan debajo del piso de ruido de los usuarios primarios, lo cual busca disminuir la interferencia. Técnicas como la banda ultra ancha (UWB) (Zhao & Sadler, 2007) permiten acercarse a este modelo porque se puede transmitir una mayor cantidad de información con una potencia muy baja, aunque depende también de la técnica de modulación utilizada para su transmisión (Buddhikot, 2007).

El segundo tipo es el espectro superpuesto, investigado por el grupo Darpa de Siguiente Generación (XG) bajo el término acceso oportunista al espectro (OSA) (Zhao & Sadler, 2007), que no establece imposiciones en términos de potencia de transmisión, define el momento y lugar donde puede transmitir, busca los espacios en blanco del usuario primario y allí realiza la transmisión del usuario secundario; en él aparecen la radio cognitiva y el acceso dinámico al espectro (Akyildiz, Lee, & Chowdhury, 2009).

- Común

Los usuarios acceden al espectro sin necesidad de una licencia o de una coordinación entre ellos (García García, 2010). Se debe limitar a servicios de corto alcance sin causar interferencias a los sistemas de mayor alcance, y pueden ser redes de área local, sistemas de localización por radiofrecuencia, dispositivos médicos, entre otros. La principal limitante es que no se puede dar servicios a sistemas con alta potencia, porque pueden provocar interferencia. Nadie puede reclamar el uso exclusivo de un recurso compartido (Buddhikot, 2007) porque es un bien público y debe ser igualmente accesible para todos. Este modelo permite un número ilimitado de usuarios que pueden acceder con derechos de uso, pero sin protección contra interferencias.

Se pueden encontrar tres divisiones principales: la primera, el modelo común sin control (Buddhikot, 2007), en el cual ninguna entidad tiene una licencia exclusiva sobre las bandas de frecuencia, es decir, cualquiera puede tener dispositivos operando en estas bandas, y solamente se establece un pico de potencia de transmisión. Este modelo no tiene ninguna protección contra interferencias (Hazlett & Bazelon, 2007), las cuales se deben a que no hay una cooperación adecuada y algún otro operador puede transmitir a la misma frecuencia; esto es muy usual en las redes inalámbricas.

El segundo modelo es el común cooperativo y gerenciado. El común es un recurso propiedad de un conjunto de personas o entidades en el cual no

hay licencia, hay libre uso del espectro y libertad en la tecnología de acceso, además el control del espectro es compartido por diversos dispositivos. Hay dos fundamentos sobre los cuales se basa este modelo (Buddhikot, 2007) y que se deben garantizar para su correcta aplicación: la existencia de un protocolo de gestión que integra las reglas tecnológicas del sistema y la adición de mecanismos escalables y confiables que cuantifiquen el cumplimiento de las reglas por las diferentes entidades, controlen su aplicación y apliquen restricciones en caso de violación. Esto se debe realizar cuidadosamente porque la interferencia depende del control que se haga compartido entre diversos actores, lo cual no siempre es fácil en la práctica.

Las características de este modelo de gestión, según Buddhikot (2007), deben ser: promover la innovación, reducir el costo de las transacciones de acceso al espectro, ser flexible frente a los posibles cambios y proveer igualdad al acceso sin discriminación, lo que responde a las políticas estatales y a las recomendaciones internacionales en esta materia.

El tercer modelo es el común privado (Buddhikot, 2007), que permite el uso de tecnologías avanzadas que permitan acceder a diferentes partes del espectro de forma gradual sobre bandas existentes con licencia. La responsabilidad en establecer las reglas es del dueño de la licencia. Se planea que el desarrollo adecuado del modelo común puede ser una alternativa viable del mercado (Mastorakis, Pallis, Zacharopoulos, & Bourdena, 2011).

TENDENCIAS EN LA GESTIÓN DEL ESPECTRO

Debido a implementaciones tecnológicas como la Televisión Digital Terrestre (TDT) se está optimizando el uso del espectro radioeléctrico liberando bandas de frecuencia (Mastorakis, Pallis, Zacharopoulos, & Bourdena, 2011) que pueden ser utilizadas para otros servicios. También se investiga el uso de técnicas como la radio cognitiva y sistemas de optimización del espectro

dinámicos (Zhao & Sadler, 2007), alternativas que buscan emplear los espacios subutilizados de los sistemas tradicionales (Union Internacional de Telecomunicaciones, 2005).

Se están desarrollando otras investigaciones en el modelo de gestión del espectro dinámico centradas en herramientas tecnológicas como las microrredes (Microgrids) (He & Martínez, 2009), basadas en sistemas que utilizan la infraestructura eléctrica existente para generar una infraestructura moderna con un ancho de banda alto que llega al orden de los GHz.

También se encuentran modelos que buscan incluir el mercado en la gestión del espectro radioeléctrico (Butcher, Mark, & Geoff, 2007), lo que está acorde con la realidad colombiana y las políticas de la ANE. En el enfoque de la UIT-D (2001) se detalla que las políticas basadas en las fuerzas del mercado aseguran que los beneficios de las tecnologías y los servicios de las telecomunicaciones estén disponibles para todo el mundo en iguales condiciones. La introducción de mecanismos de mercado debe ser consistente con los objetivos y políticas de la entidad a cargo de la gestión y puede variar entre maximizar el valor social derivado del uso más eficiente del recurso (Mesas de Trabajo MinTIC-CRC-ANE, 2011), hasta maximizar el valor privado (procesos de selección objetiva), pasando por una combinación de ambos. Actualmente, en el país se da bastante prioridad al tema del valor privado, pero se deben buscar mecanismos que aumenten el valor social, sin descuidar lo privado (Guerra de la Espriella & Oviedo Arango, 2011).

La FCC ha intentado establecer audiencias, sorteos y diversos modelos de gestión del espectro, pero últimamente se habla de la licitación competitiva o subasta, la cual está siendo analizada también por el Gobierno colombiano para Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) (Chamorro & Barbosa, 2012), cuyas ventajas son rapidez, transparencia, promueve la eficiencia y conserva el interés público, de modo que recupera rápidamente el valor total del espectro.

El enfoque sugerido por la FCC se centra justamente en la idea de que el Estado no es el ente más acertado para considerar qué servicios y tecnologías necesitan los usuarios, sino que justamente el mercado (Oficina de desarrollo de las telecomunicaciones comisiones de estudio de la UIT-D, 2001) es el que determina estos parámetros y por esta razón se le debe dar una importancia mayor en la gestión del espectro radioeléctrico. Con esta metodología se busca que en vez de contar con entes reguladores que definan los límites del mercado, sea la reglamentación basada en las subastas y sus licencias asociadas, analizando el mercado, la que defina el área de servicio indicada según sus características de tamaño y servicio requerido. Esto establece un modelo mucho más flexible, pero como todo modelo de gestión, no aplica para todos los casos y debe ser revisado para su posible aplicación.

Otro enfoque que se puede abordar es desde una perspectiva económica. Se parte de que el objetivo común de cualquier sistema de asignación del espectro es maximizar su eficiencia, que se verá reflejada en la asignación del espectro a quien más lo valore (Bae, y otros, 2008) (Rivera, 2007), pero este concepto no es fácil de validar porque para un determinado servicio la franja de espectro más adecuada varía en términos de tiempo y ubicación. En este caso se estudia la posibilidad de que el espectro comparta diversas aplicaciones en una gran región geográfica a través de puntos de accesos similares a la red celular.

Los modelos basados en el mercado fueron generados a partir del trabajo del nobel Ronald Coase (Freyens, Loney, & Poole, 2010). En estos se mantiene la idea de establecer licencias para el espectro, que se asigna a un dueño exclusivo por subasta, quien tiene potestad sobre la reasignación de la licencia a través del comercio del espectro (Chin, y otros, 2008) (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación; , 2006). De esta forma se asigna un mayor valor social al espectro, por lo que es un foco muy importante de investigación.

Asimismo, es necesario analizar el mercado, ya que con la alta demanda de espectro, esta puede superar la oferta y crear interferencias incontrolables y una disminución de la utilidad del modelo (Bae, y otros, 2008), aunque actualmente aún no hemos llegado a estos toques, por lo que el modelo común aún es válido (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2010). Utilizando estos modelos se busca obtener diferentes sistemas de radio que no se enfocan tanto en la ocupación del espectro, porque el mismo espectro puede ser asignado a diferentes servicios, sitios o tiempos de acuerdo con la demanda, aunque se requiere un estudio más profundo de las características del mercado (Olafsson, Glover, & Nekovee, 2007). La aplicación de estos modelos requiere de análisis, ya que es probable que exista la necesidad de cambiar o revisar algunas condiciones regulatorias, pero es claro que estas alternativas (Cave, Doyle, & Webb, 2007) garantizan la aplicación de un costo-oportunidad de acceso al espectro, basado en el costo total en la mejor alternativa posible.

El mercado del espectro y su costo pueden tener un papel importante facilitando la reasignación ante la nueva demanda de servicios de telecomunicaciones (Marks & Marks, 2007), pero se deben tener en cuenta las limitaciones en su aplicación práctica (Alexander, 2010); aun cuando se han demostrado sus beneficios, se debe ser cuidadoso porque este modelo implica el establecimiento de derechos de acceso que pueden ser objeto de libre comercio y permitir el cambio de la tecnología en un entorno liberalizado.

Se ve una tendencia clara de la gestión del espectro radioeléctrico a examinar y replantear su fundamento central desde un enfoque basado en el mercado, que aumente el valor social y económico del espectro haciendo un uso más eficiente de este recurso, sin perder de vista el sector privado. Por lo tanto se debe analizar la posibilidad de implementar este modelo en nuestro país, debido a las necesidades del mercado y a las recomendaciones de organizaciones internacionales reconocidas internacionalmente como la FCC y la UIT.

GESTIÓN DEL ESPECTRO EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

El sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia ha enfrentado una serie de retos regulatorios y políticos durante los últimos años debido al avance de la tecnología (Ayalde, 2011) (Tovar & Asociados Abogados Ltda, 2008). Con la Ley 1341 de 2009 se plasmaron los avances en el tema y se crearon o modificaron las agencias especiales de regulación, lo cual ha impactado positivamente en el sector (CINTEL Centro de Investigación de las Telecomunicaciones, 2011), pues esto ha permitido que los expertos y académicos discutan los diferentes temas planteados para la regulación en Colombia. Aunque aún nos falta desarrollo, especialmente en temas como NGN, el escenario para la gestión del espectro está en una etapa importante de desarrollo, como se puede apreciar en el Plan de Acción de la Agencia Nacional del Espectro, donde se busca modernizar la gestión del espectro (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012). Colombia se encuentra en una etapa de desarrollo impulsada por el Plan de Acción del Gobierno Vive Digital, que está articulado con el Plan de Desarrollo Nacional y constituye el eje central del Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones (MinTIC). En el actual Plan 2010-2014 se busca masificar internet y consolidar la infraestructura tecnológica para el avance de los

usuarios dentro de un ecosistema digital basado en el Modelo del Banco Mundial (figura 4) (Chamorro & Barbosa, 2012). En el área de infraestructura de este ecosistema, los ejes principales son la expansión de la Red de Fibra Óptica Nacional y la asignación de espectro para IMT. Dentro del proceso de optimización del espectro, con la implementación de la televisión digital se tiene planeado que se liberen algunas bandas de frecuencia para aprovecharlas en la transmisión de datos y ampliar la cobertura en el país, así como establecer un estándar para la radio digital, que utiliza de manera más eficiente el espectro radioeléctrico asignado.

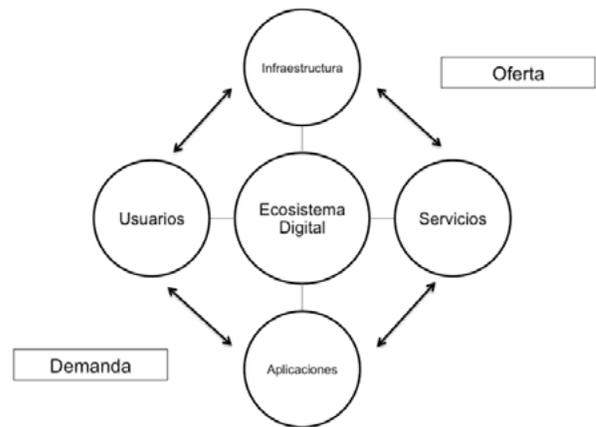


Figura 4. Ecosistema digital definido en el Plan Vive Digital.

Fuente: Chamorro y Barbosa (2012).

Definir la política, Planear, Asignar, gestionar y Controlar el ERE. Actualizar el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

Ente técnico /Financiación Fondos, programas y proyectos para acceso universal, apoyar actividades del Mintic y ANE/Regulación de Redes y servicios de Telecomunicaciones.

Órgano consultivo y asesor/ Direcciones/Fortalecimiento de Investigación y Conocimiento.

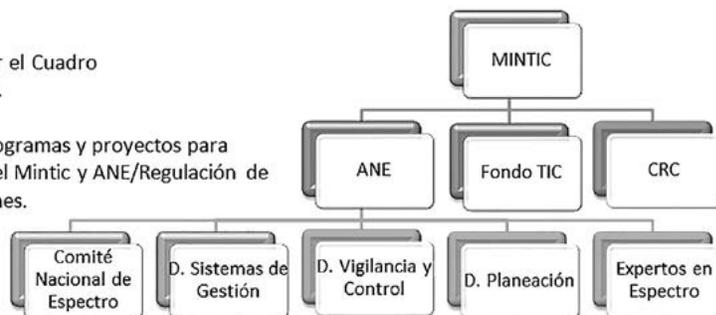


Figura 5. Entidades de gestión y control del espectro en Colombia.

Fuente: ANE (2012).

La figura 5 presenta las entidades más importantes en la gestión y control del espectro radioeléctrico en Colombia de acuerdo con el Plan Vive Digital (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012). A partir de la Ley 1341 de 2009 (Guerra de la Espriella & Oviedo Arango, 2011) se creó la Agencia Nacional del Espectro con el fin de establecer los parámetros técnicos referentes al espectro, pero se asignó al MinTIC la responsabilidad sobre la Planeación, Asignación, Gestión y Control del Espectro Radioeléctrico en el país.

El Plan de la ANE se enmarca en cuatro iniciativas (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012): asignación del espectro IMT, planeación estratégica del espectro, expertos en espectro, y vigilancia y control eficiente del espectro, para lo cual se está llevando a cabo una revisión y actualización de los procesos de gestión del espectro para hacer una administración del espectro más eficiente. Dentro de este contexto de la ANE, es el momento apropiado para revisar y plantear alternativas basadas en el mercado para la gestión del espectro radioeléctrico en el país.

Dentro de las actividades planeadas por el Estado (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012) se encuentra la socialización de los resultados de la CONFERENCIA MUNDIAL DE RADIOCOMUNICACIONES de la UIT, que le brinda a los países miembros como Colombia los lineamientos por seguir para los próximos cuatro años en materia de radiocomunicaciones, y se tiene planeado elaborar un plan maestro de gestión del espectro radioeléctrico.

Dentro de la reglamentación del espectro radioeléctrico en el país los siguientes documentos son los más relevantes (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012):

- Constitución Política de Colombia, Artículo 75.
- Documento CONPES, recomienda las políticas y los lineamientos para la Planeación, Gestión, Control y Vigilancia del Espectro Radioeléctrico.
- Ley 1341 de 2009, denominada Ley de las TIC, regula el acceso al uso del espectro radioeléctrico y crea la ANE.

- Decreto 4392 de 2010, procedimiento de selección objetiva.
- Resolución 290 de 2010, contraprestación económica de la utilización del espectro radioeléctrico.
- Resoluciones 2544/2009, 473/2012 y 2190/2003, que atribuyen frecuencias y bandas de uso libre.
- Decreto 093 de 2010, establece la estructura y funciones de la ANE.

En Colombia se han hecho atribuciones exclusivas a nivel de título primario a servicios de radiodifusión sonora y televisión y servicios IMT (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012). En Colombia, se adopta el tope de espectro, que desde el 2009 está en 55 MHz máximo por operador, y la asignación del espectro se hace mediante la modalidad de selección objetiva y se otorgan licencias en algunos casos de diez años, excluyendo radiodifusión y Tv. Uno de los principales inconvenientes es que no se cuenta con una base de datos sistematizada que permita conocer la atribución de frecuencia a determinados servicios y operadores. Se inicia la asignación de IMT en 1.9 GHz y se asignan frecuencias del dividendo digital en 700 MHz.

De acuerdo con la ANE (2010), usar el espectro radioeléctrico sin permiso previo implica la utilización ilegal de un bien del Estado, lo que se conoce como clandestinidad y genera unas sanciones penales y administrativas que dan cárcel de cuatro a diez años, así como multas hasta de mil salarios mínimos legales mensuales vigentes. Además, esto trae una pérdida de recursos para el Estado, desigualdad en el acceso al uso del espectro, interferencias generadas a los sistemas legalmente establecidos y a los operadores de servicios de telecomunicaciones, por esto la necesidad de un control exhaustivo del espectro para evitar este tipo de pérdidas.

Actualmente la ANE está estudiando diferentes alternativas, como el ingreso de operadores virtuales y el establecimiento de un mercado secundario (Guerra de la Espriella & Oviedo Arango, 2011)

para optimizar el recurso del espectro y así facilitar el ingreso de nuevos operadores y una mayor competencia, lo que beneficia al usuario en servicios y costos. Adicionalmente, se ve el interés de la ANE en cambiar el modelo de gestión del espectro actual, donde el Estado establece las reglas y parámetros de funcionamiento, a uno basado en el mercado (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2012), más flexible, que apoye la optimización del espectro radioeléctrico.

Es importante resaltar que se está evaluando actualmente la radiación no ionizante debido a que el mercado necesita servicios de telecomunicaciones, pero que no afecten la salud de las personas (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2010). La instalación de más torres de comunicaciones celulares no necesariamente implica más riesgo, por el contrario, la potencia de transmisión es menor, con lo cual se disminuye cualquier efecto que pueda tener sobre la salud humana. Al respecto cabe mencionar que se han hecho estudios que no muestran un índice de afectación debido a este tipo de radiación (ANE Agencia Nacional del Espectro, 2010).

CONCLUSIONES

El espectro es un bien público que inicialmente se define como un recurso escaso y cuyo aprovechamiento determina una ganancia económica grande para un país y unas condiciones de calidad del servicio para los usuarios de los servicios que se ofrecen a través de él. Los diversos métodos que buscan más flexibilidad en la gestión del espectro y con tecnologías como la radio cognitiva y la gestión dinámica del espectro, sumados a temas como el dividendo digital, la radio y la televisión digital terrestre, hacen que este ya no se vea como un recurso escaso, sino como un recurso limitado, que requiere de una gestión cada vez más eficiente.

De acuerdo con las características globales y nacionales, aunque en sintonía con las recomendaciones de la UIT, nuestra regulación debe trabajar mucho más en su desarrollo y actualización

para permitir modelos de gestión del espectro como los planteados en este artículo, que definan escenarios más realistas y donde el control deje de ser un asunto manejado por el Estado y sea enfocado a los servicios que realmente necesitan los usuarios, es decir, enfocado en el mercado de servicios de telecomunicaciones del país.

Los modelos tradicionales para la gestión del espectro, como el de "Instrucción y control", aunque aún son funcionales, están llegando a una etapa crítica donde están apareciendo problemas para asignar nuevas bandas de frecuencia, por lo cual en los nuevos modelos de gestión este modelo ya no aplica, aunque es el mejor para manejar temas de interferencia, pero es muy poco flexible.

Aunque los modelos basados en el mercado existen desde hace muchos años, se deben revisar en la actualidad, pues las características tecnológicas, sociales, políticas y regulatorias han creado un nuevo escenario de mercado en el que hay una amplia demanda de servicios inalámbricos y que cambia constantemente con los avances tecnológicos. Esto permitiría que el análisis y la implementación de este modelo sean viables, con lo cual ganaríamos un enfoque más social y mantendríamos la ganancia que se puede lograr con el comercio del espectro.

Muchos de los procesos que tienen que ver con los cambios en la gestión del espectro radioeléctrico están siendo materia de discusión e investigación, lo que hace oportuna la evaluación de alternativas como los modelos basados en el mercado de servicios de telecomunicaciones, cuya propuesta puede ser presentada para su implementación si se alinea correctamente con las políticas del MinTIC y la ANE y su proyección dentro del entorno generado por el Plan Vive Digital.

En Colombia debe fomentarse la capacitación en el manejo del espectro radioeléctrico, pues se desconoce su importancia para el país y la sociedad en general, no solo en el campo económico, sino como un medio para lograr el acceso universal a las redes y los servicios emergentes de telecomunicaciones. Por esto es importante la tarea que

está realizando el MinTIC de sensibilización y capacitación sobre el espectro radioeléctrico en todo el país, en la cual ha generado consultas abiertas sobre los distintos temas de la asignación, gestión y control del espectro para que expertos, académicos y miembros del sector de diferentes áreas aporten sus ideas en el tema, para que no se vuelva un ejercicio político, sino que se pueda analizar desde diferentes puntos de vista para lograr un mejor resultado que beneficie a la sociedad sin descuidar a los operadores privados e interesados en el espectro radioeléctrico.

FINANCIAMIENTO

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

REFERENCIAS

- Ahmed, A., Mubashir Hassan, M., Sohaib, O., Hussain, W., & Qasim Khan, M. (2011). An agent based architecture for cognitive spectrum management. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12).
- Akyildiz, I., Lee, W. Y., & Chowdhury, K. (2009). Spectrum management in cognitive radio ad hoc networks. *Network, IEEE*, 23(4).
- Aldana J, A. T., & Vallejo, A. C. (2010). Telecomunicaciones, convergencia y regulación. *Revista Economía Institucional*, 12(23), 165-197.
- Alexander, E. (2010). *Asignación y Administración del Espectro Radioeléctrico en Países de Centroamérica y su Impacto en el Desarrollo del Sector de Servicios de Telecomunicación Móvil*. (Vol. 21). DIRSI (Diálogo Regional sobre Sociedad de la Información).
- ANE Agencia Nacional del Espectro. (2010). *Uso eficiente del espectro radioeléctrico*. Retrieved from <http://www.ane.gov.co/>
- ANE Agencia Nacional del Espectro. (2012). *Plan de Acción 2012*. Retrieved from <http://www.ane.gov.co/>
- Attar, A., & Aghvami, A. H. (2007). A Framework for Unified Spectrum Management (USM) in Heterogeneous Wireless Networks. *IEEE Communications Magazine*, 45(9), 44-51.
- Ayalde, L. V. (2011). El derecho de la competencia en el sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones-TIC. *Revista de derecho de la competencia (Bogotá)*, 7, 127-190.
- Bae, J., Beigman, E., Berry, R., Honig, M. L., Shen, H., Vohra, R., & Zhou, H. (2008). Spectrum markets for wireless services. *3rd IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN 2008.*, (pp. 1-10). Chicago, IL.
- Buddhikot, M. (2007). Understanding Dynamic Spectrum Access: Models, Taxonomy and Challenges. *2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2007. DySPAN 2007*, (pp. 649-663). Dublin.
- Butcher, J., Mark, L., & Geoff, L. (2007). *The Economics of Spectrum Management: A Review*.
- Calvet Madrigal, J. M., & Parra Valbuena, A. J. (2009). *Modelo de porter y estrategias de negocio de operadores de telecomunicaciones en España*. Departamento de Organización de Empresas. Cataluña: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Cave, M., Doyle, C., & Webb, W. (2007). *Essentials of modern spectrum management*. New York: Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
- Cave, M. (2008). New spectrum-using technologies and the future of spectrum management: a European. *policy perspective*, 67(3), 1-20.
- Chamorro, L., & Barbosa, A. (2012). *Espectro abierto para el desarrollo*. (COLNODO, Ed.) Retrieved from <http://www.colnodo.apc.org/index.shtml>
- Chapin, J., & Lehr, W. (2007). Cognitive Radios For Dynamic Spectrum Access-The Path To Market Success For Dynamic Spectrum Access Technology. *IEEE Communications Magazine*, 45(5), 96-103.
- Chin, C. M., BT Group, Asian Res. Centre, Lumpur, K., Olafsson, S., Virginas, B., & Owusu, G. (2008). Radio Resource Management via Spectrum Trading. *IEEE Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008* (pp. 1781-1785). Singapore: IEEE.
- CINTEL Centro de Investigación de las Telecomunicaciones. (2011). *Panorama de las Tecnologías de la información y las Comunicaciones en Colombia*. Bogotá: CINTEL. Retrieved from <http://cintel.org.co/>

- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación; . (2006). *La gestión de espectro y el modelo competencial del sector de las comunicaciones electrónicas*. Madrid: Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación.
- De León, O. (2009). *Perspectivas de las tecnologías de telecomunicaciones y sus implicancias en los mercados y marcos regulatorios en los países de América Latina y el Caribe*. Chile: Naciones Unidas. Retrieved from <http://www.cepal.org/SocInfo>
- De León, O. B., & González Soto, O. (2008). *Las Telecomunicaciones de Banda Ancha en la Región Américas*. Unión Internacional de Telecomunicaciones–UIT.
- Doshi, S., Duong, H., Bagrodia, R., & Thai, S. (2006). Spectrum and Network Management Convergence for Wireless Communications. *IEEE Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006* (pp. 1-7). Washington, DC: IEEE.
- Feijoo Gonzalez, C. A., Gómez Barroso, J. L., & Mochón, A. (2011). Modificaciones en la gestión del espectro: opciones y situación actual. *E.T.S.I. Telecomunicación (UPM)*.
- Foster, M. &, Cave, M., & Jones, R. . (2009). *Gestión del espectro radioeléctrico: Módulo 5: Conjunto de herramientas para la reglamentación de las TIC*. UIT-R, Unión Internacional de Telecomunicaciones and InfoDEV. Retrieved from <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Section.1247.htm>
- Freyens, B. P., Loney, M., & Poole, M. (2010). Wireless Regulations and Dynamic Spectrum Access in Australia. *IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum, 2010*, (pp. 1-12). Singapore.
- Gajewski, P., & Marek, S. (2009). Dynamic Spectrum Management for Military Wireless Networks. *NATO Research and Technology Organization*.
- García García, J. M. (2010). *Metodología para analizar y simular la eficiencia económica de la flexibilización del uso del espectro radioeléctrico*. Retrieved from http://eprints.ucm.es/11392/1/Methodolog%C3%ADa_flexibilizaci%C3%B3n_uso_espectro.pdf
- Guerra de la Espriella, M. D., & Oviedo Arango, J. D. (2011). De las telecomunicaciones las TIC: Ley de TIC de Colombia (L1341/09). *CEPAL Serie Estudios y Propectivas, 22*.
- Hang, Z., Randall, B., Honig, M. L., & Vohra, R. (2009). Complementarities in spectrum markets. *47th Annual Conference on Communication, Control, and Computing 2009* (pp. 499–506). Allerton: IEEE.
- Hazlett, T. W., & Bazelon, C. (2007). Market allocation of radio spectrum. *ITU Workshop on Market Mechanisms for Spectrum Management*. Geneva.
- He, D., & Martínez, R. (2009). *Spectrum Management for MicroGrids*. Retrieved from <http://www.pointview.com/data/files/3/2422/1380.pdf>
- Mansilla, E. V. (1996). La administración del espectro de frecuencias como reflejo de una política de comunicaciones.
- Marcus, J. S., Nett, L., Scanlan, M., Stumpf, U., Cave, M., & Pogorel, G. (2005). *Towards More Flexible Spectrum Regulation*. Germany: Bad Honnef.
- Marks, P., & Marks, B. (2007). Spectrum Allocation, Spectrum Commons and Public Goods: the Role of the Market. *Communications & Strategies, 67*, 65-84.
- Mastorakis, G., Pallis, E., Zacharopoulos, V., & Bourdena, A. (2011). New business strategies and marketing opportunities utilizing a liberalized spectrum management framework. *WSEAS Transactions on Business and Economics, 8(2)*, 39-49.
- Mesas de Trabajo MinTIC-CRC-ANE. (2011). Nuevas dimensiones. *11 Simposio Mundial de Reguladores de telecomunicaciones*, (pp. 1-71). Armenia (Colombia).
- Ministerio de Comunicaciones. (2008). *Fundamentos de Gestión Nacional del Espectro Radioeléctrico: Manual de gestión Nacional del espectro radio eléctrico para Colombia*. Bogotá: Ministerio de Comunicaciones, República de Colombia.
- Oficina de desarrollo de las telecomunicaciones comisiones de estudio de la UIT-D. (2001). *Guía regulatoria para la construcción de una comunidad global de información*. Retrieved from http://www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP_1998-2002/SG1/.../195S.doc%E2%80%8E
- Olafsson, S., Glover, B., & Nekovee, M. (2007). Future management of spectrum. *Future management of spectrum. BT Technology Journal, 25(2)*, 52-63.

- Olafsson, S., Glover, B., & Nekovee, M. (2007). Future management of spectrum. *BT Technology Journal*, 25(2).
- Quintero, A. (2008). Acceso dinámico al espectro: estado actual, tendencias y retos. *Revista entre Ciencia e Ingeniería*, 2(4), 38-57.
- Quintuña Rodríguez, V. K. (2010). *Mapa de control de espectro radioeléctrico*. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/419>
- Rivera, E. (2007). *Modelos de privatización y desarrollo de la competencia en las telecomunicaciones de Centroamérica y México*. México, D.F.: Naciones Unidas, CEPAL, Unidad de Comercio Internacional e Industrial.
- Tovar, F., & Asociados Abogados Ltda. (2008). *Fundamentos de Gestión Nacional del Espectro Radioeléctrico*. Bogotá: MinTIC (Ministerio de tecnologías de la información y telecomunicaciones).
- UIT-R Unión Internacional de Telecomunicaciones, s. R. (2010). *Orientaciones sobre el marco reglamentario para la gestión nacional del espectro*.
- Union Internacional de Telecomunicaciones. (2005). *Manual de técnicas informatizadas para la gestión del espectro*. Ginebra: UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).
- Valenzuela, L. F. (2010). *La estrategia y la política sectorial de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones en Colombia*. Obtenido de http://www.fce.unal.edu.co/media/files/documentos/Comunicaciones/doccid_no.3_valenzuela1.pdf
- Wellenius, B., & Neto, I. (2005). *Radio spectrum : opportunities and challenges for the developing world*. Washington, D.C: World Bank, Global Information and Communications Technology, Strategy Unit.
- Wellenius, B., Neto, I., & Bank, W. (2008). *Managing the radio spectrum : framework for reform in developing countries*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Zhao, Q., & Sadler, B. M. (2007). A survey of dynamic spectrum access. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(3), 79-89.



