



Cayetano Lluch Mesquida
Miembro del Grupo del Espectro
Vicedecano del COIT



Jose Mª Hernando Rábanos
Miembro del Grupo del Espectro
Vocal suplente del COIT



Juan Manuel Vázquez Burgos
Miembro del Grupo del Espectro

Algunas reflexiones sobre la gestión del espectro

El pasado 16 de abril, el COIT constituyó el Grupo de Trabajo del Espectro (GESp) con la finalidad de ser el grupo consultor del colegio para temas relacionados con el espectro y facilitar la interlocución con el MITyC y organismos nacionales e internacionales vinculados a este tema. El GESp analizará los aspectos técnicos, económicos y legislativos relativos al uso del espectro radioeléctrico y a su eficiencia.

El GESp dentro de sus funciones promoverá la ampliación de los campos de formación y la identificación y apertura de nuevas posibilidades profesionales (realimentando al Grupo de Nuevas Actividades Profesionales), defendiendo la competencia de los ingenieros de telecomunicación en la radiocomunicación en general y en el espectro en particular.

El Grupo de trabajo se constituye sobre el principio de ser lo mas representativo posible, dando cabida a todas las posturas y ópticas sobre el tema, por lo que está abierto a la participación de todos los colegiados expertos en la materia.

Sin querer influir en postura alguna, en este artículo como punto de partida de la presentación del GESp queremos esbozar algunos aspectos sobre la gestión del espectro, con especial énfasis en el caso del servicio móvil. Uno relacionado con el análisis de la eficiencia espectral, otro sobre la posibilidad de abrir nuevas oportunidades laborales y un último relacionado con la competencia técnica de los ingenieros; aspectos ellos que quizás pueden ayudar a identificar temas que faciliten el inicio de una andadura que

todos deseamos sea fructífera, formativa, y que pueda ayudar a todos los ingenieros involucrados en tareas de ingeniería y gestión del espectro.

Finalmente, indicar que al cierre de este artículo el Ministerio ha abierto una Consulta pública sobre la gestión del refarming en 900 y 1.800 MHz, y sobre la licitación del dividendo digital y la banda de 2,6 GHz, lo que demuestra la permanente actualidad de este asunto y la conveniencia de que el COIT disponga de este grupo consultor.

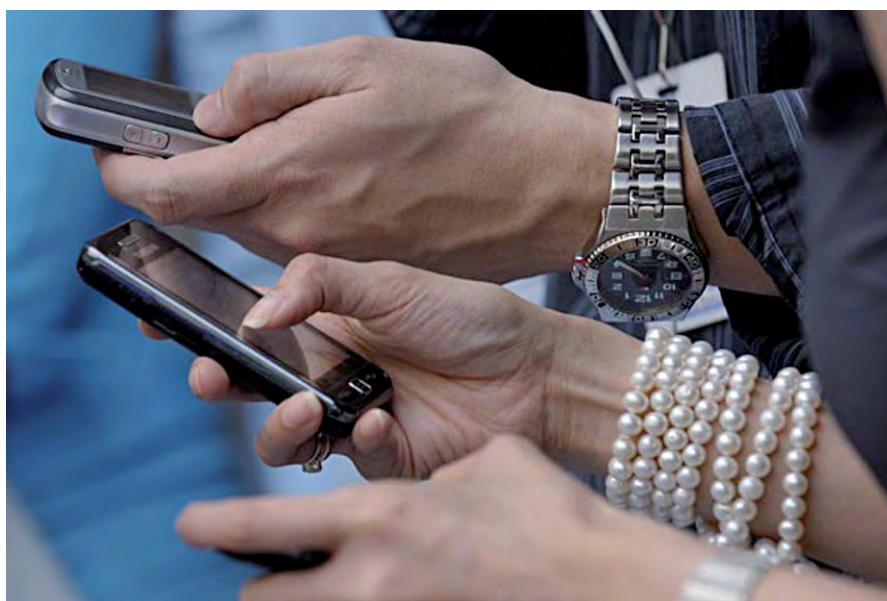
■ Eficiencia Espectral

Como es bien sabido, el espectro es un recurso limitado que ha de utilizarse y administrarse con la mayor eficacia. Por ello los trabajos del GESp tendrán como base la consideración y valoración de la eficiencia en su uso tanto desde el punto de vista técnico, económico y social.

La recomendación UIT-R SM.1046-2, reconoce que es necesario definir el grado y la eficacia de la utilización del espec-

tro como método de comparación y análisis para evaluar las ganancias que pueden obtenerse con el empleo de tecnologías nuevas o mejoradas, especialmente por las Administraciones¹, en la planificación nacional, a largo plazo, de la utilización del espectro. Así, la comparación de índices de utilización eficaz del espectro, entre sistemas de radiocomunicaciones, es de gran utilidad para el desarrollo de mejores tecnologías.

Una de las líneas de trabajo del GESp será la de evaluar las necesidades de espectro de los nuevos sistemas de radiocomunicaciones desarrollando y aplicando las herramientas informáticas necesarias para optimizar la eficiencia en su uso, comparando también las eficiencias espectrales de diferentes aplicaciones de radiocomuni-



contexto europeo a partir de un concepto propuesto por la Comisión Europea que, bajo el nombre de WAPECS (*Wireless Access Policy for Electronic Communica-*

*ción de medidas técnicas, económicas y administrativas adoptadas dentro del marco de la política de gestión del espectro para hacer disponible una determina banda para un uso o tecnología diferente*²).

.....

“Indicar que al cierre de este artículo el Ministerio ha abierto una Consulta pública sobre la gestión del refarming en 900 y 1.800 MHz, y sobre la licitación del dividendo digital y la banda de 2,6 GHz, lo que demuestra la permanente actualidad de este asunto”

.....

caciones que proporcionen el mismo servicio proponiendo metodologías rigurosas de evaluación, en conexión con la UIT y en consonancia con las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones.

Neutralidad tecnológica, neutralidad de servicios y mercado secundario

El nuevo marco de gestión flexible del espectro toma forma en el

tion Services), incorpora conceptos como la neutralidad tecnológica, neutralidad de servicios y mercado secundario, de manera que se flexibilice la práctica regulatoria de asignación de frecuencias y gestión operativa, pasando de este modo de un esquema de gestión “*command and control*” a un modelo de gestión regido por las reglas de mercado. Este nuevo enfoque en la gestión del espectro supone hacer disponibles determinadas bandas para unos usos o tecnologías diferentes y suele denominarse *refarming* (combina-

La neutralidad tecnológica consiste básicamente en abrir el uso del espectro (binomio espectro-tecnología) a la tecnología más eficiente susceptible de prestar el tipo de servicio atribuido para una banda determinada. Esto es, se fija tipo de servicio o aplicación atribuido a una banda, pero se deja abierta la solución tecnológica para su prestación. Este principio es justo lo contrario de lo que estableció en su día la denominada Directiva GSM, que determinaba que el servicio de telefonía móvil en la banda de 900 MHz habría de satisfacerse con dicha tecnología. Hoy día la neutralidad tecnológica es ya un principio asumido, de suerte que la Comisión Europea exige que los procesos de asignación estén abiertos a todas las tecnologías en la medida de lo técnicamente posible.

En su origen, este principio se pretendía aplicar a las diversas tecnologías que competían en la tercera generación de sistemas móviles, concretamente para la licitación en Europa de la banda de 2.100 MHz para los sistemas IMT-2000 y, después para la inclusión de la tecnología WiMax en la licitación de la banda de 2,6 GHz.

Cabe decir a este respecto que la neutralidad tecnológica aplicada a las redes móviles puede provocar un fraccionamiento del mercado, en concreto si los terminales no son multimodo. De momento son multimodo únicamente los terminales pertenecientes a la familia de tecnologías 3GPP.

El primer ejemplo real de neutralidad tecnológica, conveniente y eficiente, con licencias en operación consiste en la posibilidad

más aún cuando se empieza a ofrecer la tecnología de datos HSPA, que no tiene equivalente en el servicio GSM. Como los terminales son multimodo, duales GSM/UMTS, en el servicio de voz una carencia de cobertura UMTS se suple con la cobertura GSM; pero ello no es posible en el servicio de datos, ya que una velocidad de banda ancha de más de 1 Mbit/s con HSPA difícilmente se suple con tecnologías GSM: GPRS a 40 kbit/s o incluso EDGE a 100 kbps.

Semejante posibilidad requiere, en cualquier caso, la modificación de la Directiva GSM. Es por ello que, en el pasado mes de octubre de 2009, se ha publicado la Directiva 2009/114/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la antigua Directiva 87/372/CEE (conocida

lo menos este “*refarming*” debería aplicarse en áreas rurales, para ayudar a superar la brecha digital en éstas.

Yendo un paso más allá en la neutralidad, se plantea la posibilidad de abrir el uso de una banda de frecuencia no sólo a cualquier tecnología, sino al tipo de servicio (binomio espectro- servicio). Es lo que se conoce como neutralidad de servicios. El tipo de servicio suele estar vinculado a la tecnología. Es, desde luego, un planteamiento sensiblemente más radical y problemático que el anterior, desde el punto de vista técnico. En este caso se pretende no ya admitir que en una banda pueda utilizarse para una u otra tecnología, sino de que, en un momento dado, se pueda alterar el uso que se le dé a dicha banda, cambiando por ejemplo del servicio de radiodifusión al servicio móvil. Técnicamente el asunto es mucho más complejo, puesto que si ya era difícil establecer unos requisitos técnicos en una situación donde casi cualquier tecnología, por ejemplo móvil, pudiera hallarse en vecindad con otra, piénsese en el caso en el que casi cualquier servicio (con todas las tecnologías susceptibles de soportarlo) hubiera de coexistir con cualquier otro (idénticamente con todas las tecnologías susceptibles de soportarlo). La cuestión se hace todavía más compleja en escenarios de coordinación transfronteriza y armonización internacional, donde el uso de las bandas depende de reguladores diferentes.

.....

“La gestión flexible del espectro busca aumentar la eficiencia en el uso del espectro, permitiendo que sea el mercado quien decida la tecnología que satisface el servicio atribuido a las bandas, o incluso el servicio mismo. Algo que, por decirlo de una manera coloquial, hace felices a los economistas, pero que plantea a los ingenieros un reto técnico importante”

.....

de utilizar las bandas GSM de 900 MHz y 1.800 MHz para el despliegue de UMTS. En especial, la utilización de la banda de 900 MHz proporcionaría una mayor penetración en edificios en zonas urbanas y mayor cobertura geográfica en áreas rurales, permitiendo unos importantes ahorros de costes en el despliegue de los servicios³. Este es un asunto que viene estudiándose desde que los operadores comenzaron a desplegar UMTS,

como “Directiva GSM”). Gracias a este cambio se permitirá la utilización de otras tecnologías como UMTS dentro de la banda de 900 MHz y 1.800 MHz, coexistiendo con el servicio GSM. Los Gobiernos nacionales disponían de seis meses para incorporar la Directiva y aplicar la Decisión de forma que las bandas GSM del espectro radioeléctrico estén verdaderamente disponibles para UMTS. Como se indica mas adelante, por

La gestión flexible del espectro busca aumentar la eficiencia en el uso del espectro, permitiendo que sea el mercado quien decida la tecnología que satisface el servicio atribuido a las bandas, o incluso el servicio mismo. Algo que, por

decirlo de una manera coloquial, hace felices a los economistas, pero que plantea a los ingenieros un reto técnico importante, como es establecer unas reglas técnicas de convivencia en el período de transición entre los dos modelos de gestión y en el nuevo escenario de flexibilización del uso del espectro.

Por otra parte, en aquellos casos en los que se carece de datos previos de coordinación técnica entre emisiones de servicios y tecnologías diferentes, se hará necesario un importante trabajo previo, tanto teórico como de simulación, medidas de campo, y un consenso internacional.

Sin embargo, no hace falta ir tan lejos en la neutralidad de servicios como para cambiar radicalmente las atribuciones de las bandas a servicios completamente diferentes. Simplemente bastaría facilitar el uso de las bandas de “mercado”, donde se ha desarrollado un mercado importante como el de la telefonía móvil⁵, para servicios también móviles, como p.ej. está llevando a cabo la FCC incluyendo en la planificación de la banda de 700 MHz a las redes de emergencia. De esta forma, la disponibilidad y economía de escala de las tecnologías, elementos de red y terminales de una banda de mercado se distribuiría entre más servicios, con la consiguiente eficiencia económica para los usuarios finales. Por otra parte, el RD 863/2008 no parece descartar la posibilidad de compartir una determinada banda entre bloques licenciados por concurso, bloques en autoprestación (mediante autorización administrativa o afectación demanial) e incluso bloques de uso común, p.ej. cabría la posibilidad de utilizar algunos bloques



de la banda de 2,6 GHz para estos usos privativos en autoprestación, permitiendo una mayor extensión y economía de la tecnología LTE. Sin embargo, el reto técnico de identificar los BEM⁶ para estos usos podría ser considerable.

En definitiva, puede que sea más conveniente para una mayor eficiencia espectral y económica la neutralidad de servicios, entendida como servicios similares, que la neutralidad tecnológica, entendida como tecnologías pertenecientes a distintas familias.

Por último, el concepto de mercado secundario establece la posibilidad de cesión de derechos de uso sobre frecuencias entre sociedades o particulares contemplando aspectos como duración de los períodos de cesión, el destino de los derechos, el área geográfica en que se produce la cesión de los derechos, condiciones técnicas de utilización,... O sea, un punto de flexibilidad más respecto a la situación actual aunque su implementación práctica genera riesgos e incertidumbres (acaparamiento, especulación, posibilidad de fragmentación del espectro, desventa-

jas competitivas entre operadores,...) lo que ha conlleva que tanto la Unión Europea como España hayan limitado su ámbito de actuación a un conjunto inicial y limitado de bandas.

La escasez del espectro como motor de tecnologías radio más eficientes

Siempre se ha dicho que el Espectro era un recurso escaso, y al menos lo es en el caso de algunos servicios como el móvil (no hay más que echar una ojeada al valor que alcanzan ciertas bandas en las subastas de espectro). No es, desde luego, como el agua, que se puede llevar de un lado a otro. No se puede traer el espectro que sobra en Almería para llevarlo a Barcelona, donde falta. Por el contrario, las “reservas” serían las mismas en todos los sitios, sin que existan lugares con un stock privilegiado, como es el caso del petróleo, por ejemplo. En este sentido, la tecnología intenta adaptarse a esta situación de escasez evolucionando continuamente hacia soluciones cada vez más eficientes en

el uso del espectro, de forma que nos ofrece formas de resolver los problemas de capacidad de determinados servicios de comunicaciones, sin recurrir a aumentar la cantidad de espectro asignada a ellos.

Por ello, como se ha indicado anteriormente, una de las fuerzas motrices de la actividad de GESp será valorar y analizar la eficiencia de uso del espectro.

Un buen ejemplo de eficiencia espectral nos lo ha dado la TDT en dos maneras: mediante la codificación y modulación digital COFDM, donde antes se requerían 8 MHz para transmitir un canal de televisión, hoy es posible transmitir cuatro canales. Pero también utilizando la difusión en frecuencia única, que evita que un mismo canal de TV ocupe varios canales de radiofrecuencia para cubrir un territorio más grande que el determinado por una sola estación. Estas dos propiedades son las que han permitido reducir la cantidad de espectro asignada a este servicio, facilitando el denominado "dividendo digital" de 790 a 862 MHz, para ser asignado a otros servicios.

Pero es quizás el servicio de telefonía móvil el que ha experimentando mayores avances en la eficiencia espectral. Por ejemplo, una red GSM nacional que cursa 300.000 Erlangs de tráfico en hora cargada, lleva una información equivalente a unos 3.000 Mbps en poco más de 2×10^7 MHz² de asignación espectral. Y esto lo consigue no solo por la codificación y modulación digital, sino por la reutilización de frecuencias y la división celular. Esta senda de mejora ha continuado con las siguientes generaciones de sistemas móviles.

Así, en el enlace descendente hemos pasado de eficiencias de 0,1 bps/Hz/sector en UMTS R99 hasta los 2,4 bps/Hz/sector en LTE 4x4 MIMO, salto que en el enlace ascendente va aproximadamente desde 0,1 a 1.

Afortunadamente, la atenuación que experimentan las ondas en su propagación, que puede variar desde los escasos 6dB/octava en espacio libre a los 12 dB/octava en ambientes urbanos, y otros factores de atenuación por obstáculos y el desvanecimiento Rayleigh por trayectos múltiples, permiten reuti-

ten otras técnicas como la sectorización en los sistemas CDMA – limitadas por la mayor carga de señalización que llevan aparejadas –, las redes jerárquicas, el despliegue de microcélulas, la utilización masiva de femtocélulas, los sistemas de distribución de antenas, etc. que permiten obtener la capacidad necesaria en cada momento con economía del espectro.

Otro aspecto relevante para el aprovechamiento eficiente de los recursos radioeléctricos en los sistemas móviles lo constituyen los algoritmos de gestión de la calidad

.....

“La tecnología de las radiocomunicaciones ha evolucionado –y evoluciona– hacia cotas cada vez mayores de eficiencia en el uso del espectro, que si no solucionan completamente, sí mitigan en ocasiones de forma importante los problemas de escasez espectral”

.....

lizar las frecuencias una y otra vez en distancias relativamente cortas. Volviendo al símil del agua, sería como que la red de alcantarillado fuera depurando el agua sucia, para volver a utilizarla una distancia más allá.

Pero además, con técnicas de modulación y de ensanchamiento espectral adecuadas, es posible disminuir la protección cocanal necesaria para mantener las comunicaciones con una calidad apropiada. Así, la división celular utilizada en las redes celulares en teoría permite aumentar indefinidamente la capacidad, aun con relativa poca cantidad de espectro asignado. En la práctica, existe un límite al tamaño de las células que dificulta esta adaptación a la capacidad necesaria, pero aun así, exis-

de servicio, encargados, entre otras cosas, de asignar y repartir eficientemente los recursos. En este sentido, dichos algoritmos no aportan banda adicional, sino que se ocupan de administrarla de manera eficiente, reasignando recursos cuando procede (p.e. conectando un usuario a través de una célula más descongestionada o rebajando su velocidad), programando las transmisiones (p.e. sirviendo las conexiones no críticas en tiempo con posterioridad a las que, como la voz, tienen requisitos temporales más estrictos) o incluso suspendiendo algunas de las conexiones.

Por ello, hoy en día un operador móvil puede resolver el problema de la capacidad, que viene acompañada de mayores ingresos, aun-



que estas mejoras rindan los beneficios esperados, han de ir acompañadas de la oportuna planificación y optimización de los emplazamientos radio, aspectos todos ellos en los cuales los ingenieros de telecomunicación desempeñan un papel relevante, hasta el punto de que podemos terminar este artículo concluyendo que, como dice nuestra querida María Jesús Prieto, los ingenieros son geniales y, sin ellos, difícilmente los servicios de radiocomunicaciones hubieran experimentado las cotas de penetración actuales. ☺

Notas

- ¹ Cave (2005), pág.13. Por ejemplo, en Reino Unido prácticamente el 50% del espectro por debajo de los 15 GHz está en manos del sector público.
- ² El conjunto de bandas para introducir una flexibilidad en el espectro son la banda 470-862 MHz, la banda 900 MHz, la banda 1800 MHz, la banda de 2,1 GHz, la banda de 2.6 GHz y la banda de 3,4-3,8 GHz.
- ³ Según Ofcom(2007), el ahorro de costes que supondría el despliegue de una red UMTS en 900 MHz respecto a 2100 MHz se estima en el orden de 120 % en el caso de las zonas poco pobladas y del 110 % en el caso de las zonas urbanas
- ⁴ Este término se utiliza casi exclusivamente asociado al proceso de flexibilización de las bandas de GSM.
- ⁵ En Europa considerando el espectro desde los 75 MHz hasta los 10 GHz, solamente el 4% de este espectro está asignado a los sistemas de comunicaciones móviles, espectro esencialmente escaso teniendo en cuenta el grado de servicio y la contribución al desarrollo y progreso socio-económico.
- ⁶ Las BEM o Block Edge Mask son parámetros técnicos que deben aplicarse como componente esencial de las condiciones necesarias para garantizar la coexistencia en ausencia de acuerdos bilaterales o multilaterales entre redes vecinas, sin que ello sea óbice para que los operadores de tales redes acuerden parámetros técnicos menos estrictos.
- ⁷ Según el informe ITU-R M.2078 en el horizonte del año 2020 se establece la necesidad de entre 300 y 1200 MHz para satisfacer la demanda global de comunicaciones móviles a pesar de ser altamente eficiente.
- ⁸ Mediante acciones software es posible definir unidades para ser utilizadas por diferentes estándares y en diferentes bandas de frecuencia.

que a costa también de mayores gastos debido a un mayor número de emplazamientos. En este sentido, si la capacidad requerida es importante, no hay problemas en utilizar bandas altas, donde es posible reutilizar mas veces, a la vez que es posible obtener mayor asignación de espectro, aun teniendo en cuenta que la atenuación es mayor y la cobertura menor. La capacidad no es pues nunca un problema mayor, a menos que se quiera rentabilizar demasiado el espectro.

Es en áreas rurales donde la rentabilidad económica puede verse comprometida, porque la cobertura no alcanza a cubrir suficiente tráfico como para amortizar una estación base. Pero ahí también pueden aplicarse técnicas, en este caso no de eficiencia espectral sino de eficacia espectral. La utilización de frecuencias más bajas, con mejor propagación, y las técnicas de espectro ensanchado permiten mejorar mucho la cobertura, aun a costa de mayor gasto de espectro, que en estas áreas sobra y, como se ha dicho, no es exportable desde un área rural a un área urbana. Por ello, no se entiende bien cómo se va a iniciar el año

que viene el servicio universal de banda ancha de 1 Mbps si no se permite el famoso “refarming” al menos en estas áreas.

La evolución tecnológica hace que cada nueva generación nos proporcione sistemas más eficientes desde antenas inteligentes, dispositivos multibanda, nuevos métodos de codificación, modulación y procesamiento de señales. La tecnología ha alcanzado un grado de evolución que hace posible el despliegue de equipos multiestándar, es decir hardware para las diferentes tecnologías de acceso (GSM/WCDMA-HSPA/LTE) y la mismas bandas de frecuencias. Las nuevas técnicas de radiocognitiva o el SDR (Software-Defined Radio⁸) son sólo la primera versión de unidades radioeléctricas de propósito prácticamente universal.

En conclusión, la tecnología de las radiocomunicaciones ha evolucionado – y evoluciona – hacia cotas cada vez mayores de eficiencia en el uso del espectro, que si no solucionan completamente, sí mitigan en ocasiones de forma importante los problemas de escasez espectral. En cualquier caso, es interesante mencionar que, para