



Instituto Federal de
Telecomunicaciones

Estudio de Métricas de
Eficiencia Espectral

**Informe para el Instituto Federal
de Telecomunicaciones (IFT)**

**Revisión del uso del
espectro en México**

03 de noviembre de 2015

Joan Obradors, Janette Stewart,
Daniel Ponte Fernández,
Gonzalo Fernández Caballero

Referencia: 2005111-453

Índice

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes del estudio	1
1.2	Estructura del documento	2
2	Tendencias internacionales en tecnologías de radiocomunicaciones y uso espectral	3
2.1	Introducción / categorías de uso del espectro	3
2.2	Sistemas satelitales	3
2.3	Sistemas terrestres	7
3	Revisión del uso actual del espectro en México	22
3.1	Cómo se asigna el espectro	22
3.2	Principales cambios previstos en las atribuciones de espectro en México	27

Anexo A: Diferencias entre las asignaciones de espectro en México y las recomendaciones de la UIT para la Región 2 en las principales bandas espectrales

Anexo B: Rango de frecuencias considerado en el estudio

Anexo C: Glosario

Confidencialidad: El presente documento es estrictamente confidencial, y para uso exclusivo del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT).

Copyright © 2015. Todo el material incluido en el presente documento es propiedad de Analysys Mason Limited y el cliente se obliga a respetar la naturaleza confidencial del mismo, y a no copiar, publicar (total o parcialmente) o divulgar dicha información, o a utilizarla para fines distintos a los indicados cuando dicha información fue facilitada.

Analysys Mason Limited
Bush House, North West Wing
Aldwych
Londres WC2B 4PJ
Reino Unido
Tel: +44 (0)20 7395 9000
Fax: +44 (0)20 7395 9001
london@analysysmason.com
www.analysysmason.com
Incorporada en Inglaterra No. 5177472

1 Introducción

El Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico que el Instituto Federal de Telecomunicaciones (en lo sucesivo “IFT” o “el Instituto”) ha propuesto al Ejecutivo busca maximizar el valor que la sociedad obtiene a partir del uso del espectro radioeléctrico y enlista una serie de objetivos generales asociados al desarrollo e implementación de mecanismos de mercado que promuevan una asignación óptima del espectro. Es así que el Objetivo 3 de dicho Programa, denominado “Desarrollar acciones para determinar y fomentar el uso eficiente del espectro radioeléctrico en el país”, incluye entre una de sus acciones la elaboración de métricas de eficiencia espectral de observancia obligatoria.

Derivado de ello, el Programa Anual de Trabajo 2015 del Instituto contempla la realización de un estudio de métricas de eficiencia espectral que coadyuve a dar cumplimiento al artículo 15, fracción XLVIII de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR), señalando como fecha de conclusión del mismo el mes de diciembre de 2015.

Es en este contexto que el IFT ha contratado a Analysys Mason Limited (en lo sucesivo “Analysys Mason”) para coadyuvar con el Instituto en la definición de los elementos que formarán parte de las métricas de eficiencia espectral, así como las metodologías de medición que permitan cuantificarlas, con dos objetivos principales:

- identificar métricas de eficiencia espectral para asegurar que el espectro radioeléctrico sea utilizado de manera racional y eficiente, y
- formular recomendaciones sobre cómo la medición de dichas métricas puede contribuir a conseguir un mejor aprovechamiento del espectro en México y promover una asignación óptima del mismo.

Este documento es la primera parte del primer entregable del proyecto correspondiente a la revisión del uso del espectro en México. La segunda parte del entregable analiza los factores que impactan en el uso eficiente del espectro.

1.1 Antecedentes del estudio

El espectro radioeléctrico es un recurso escaso con un creciente valor social y económico. Los sistemas inalámbricos dependen para su operación de este recurso, por lo que es necesario promover un uso eficiente del mismo. Esta responsabilidad suele recaer en los organismos encargados de regular el uso del espectro, asegurando su óptima utilización y gestión para el beneficio de la sociedad en general.

La demanda de espectro para servicios inalámbricos está creciendo en todos los servicios de manera generalizada. Por ello, los reguladores deben ser capaces de responder a esta demanda, bien sea incrementando la cantidad de espectro disponible (reasignando el uso del espectro para el que originalmente fue concesionado), o bien habilitando nuevas formas de acceder al espectro – como por ejemplo fomentando la compartición del mismo. Esto requiere un sólido conocimiento

no sólo de las asignaciones que se aplican a las diferentes bandas de frecuencia, sino también cómo las bandas están siendo utilizadas y si su utilización se está realizando de manera eficiente, a fin de poder identificar qué bandas están siendo infrautilizadas o en qué casos sería viable la compartición de espectro.

Sin embargo, el definir y medir el concepto de “eficiencia” es una tarea especialmente compleja. Por tal motivo, si bien muchos reguladores se esfuerzan en conseguir una mayor eficiencia en el uso del espectro, pocos la reportan o la utilizan como una consideración primordial en su toma de decisiones. De igual forma, tampoco existe un solo tipo de métrica de eficiencia espectral, ya que cada sistema utiliza el espectro de diferente manera. No obstante, es posible definir métricas de eficiencia espectral para evaluar el nivel de eficiencia en el uso del espectro, y al mismo tiempo proporcionar las bases para una comparativa de los distintos usos que se hace del espectro (siempre y cuando se apliquen con cautela).

1.2 Estructura del documento

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

- La *Sección 2* describe las tendencias internacionales en tecnologías de radiocomunicaciones y en el uso del espectro para la provisión de servicios satelitales y servicios terrestres.
- La *Sección 3* describe cómo se está usando el espectro en México en la actualidad, así como qué cambios se prevén en un futuro.

El informe consta de tres anexos que contienen información de soporte:

- El *Anexo A* incluye una tabla en la que se muestran las diferencias existentes entre las asignaciones de espectro otorgadas en México y las recomendadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en la Región 2¹ para las bandas de frecuencia VHF y UHF.
- El *Anexo B* proporciona el rango de frecuencias considerado en el presente estudio.
- El *Anexo C* incluye una lista de los acrónimos utilizados a lo largo de este documento.

¹

La Región 2 de la UIT abarca todo el continente americano, Groenlandia y una parte importante del océano Pacífico.

2 Tendencias internacionales en tecnologías de radiocomunicaciones y uso espectral

Esta sección describe a grandes rasgos las tendencias internacionales en tecnologías de radiocomunicaciones y en el uso del espectro para la provisión de servicios satelitales y servicios terrestres, comparándolas con la situación en México. Con base en este análisis, el IFT podrá establecer las métricas de eficiencia espectral más adecuadas que serán de observancia obligatoria, así como las metodologías de medición que permitan su cálculo.

2.1 Introducción / categorías de uso del espectro

Nuestro análisis abarca los rangos de frecuencia y atribuciones propuestos por el IFT y que están ubicados en el rango comprendido desde los 535–1705kHz para sistemas de radio AM (amplitud modulada) hasta los 81–86GHz para enlaces fijos.

En línea con lo acordado con el IFT, nuestro análisis se centra en las siguientes categorías de servicios:

- servicios móviles de acceso público (voz y SMS)
- servicios móviles de acceso público (datos de banda ancha)
- radiodifusión satelital
- servicios satelitales fijos (*fixed satellite*)
- enlaces fijos (punto a punto y punto a multipunto)
- sistemas de radiocomunicaciones móviles de banda angosta (sistemas de radiocomunicaciones móviles privadas), incluyendo radio *trunking*
- radiodifusión de televisión (digital)
- radiodifusión de radio (AM/FM y digital).

Para facilitar el análisis, hemos agrupado las categorías anteriores en dos categorías más amplias: sistemas satelitales y sistemas terrestres. Tratamos a continuación cada una de ellas.

2.2 Sistemas satelitales

Son muchos los servicios que se pueden ofrecer a través de sistemas satelitales. No obstante, en su mayoría, se pueden englobar en servicios de comunicaciones, como son las comunicaciones punto a punto o comunicaciones móviles por satélite. Otros servicios satelitales que quedarían excluidos de esta clasificación inicial serían el servicio de radiodifusión satelital y el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo), al no considerarse servicios de comunicación.

Asimismo, es necesario destacar que diversos sistemas satelitales pueden proveer servicios similares de modos diferentes (por ejemplo, los sistemas satelitales punto a punto pueden o no

utilizar órbitas geoestacionarias, por lo que han de tenerse en cuenta diversas consideraciones en su diseño, como el nivel de costos asociado y requerimientos de espectro, entre otros aspectos).

En el mercado de sistemas satelitales se ha producido una importante convergencia a nivel de servicio, puesto que los nuevos sistemas satelitales incluyen generalmente servicios de telecomunicaciones y radiodifusión. Por ejemplo, la radiodifusión por satélite no se considera en términos generales un uso distinto al fijo y está soportado por satélites que tienen varias cargas útiles (*payload*), ofreciendo servicios de radiodifusión, banda ancha y telecomunicaciones.

A pesar de esta convergencia entre sistemas satelitales a nivel de servicios, todavía se distinguen diferentes sistemas satelitales a efectos de gestión del espectro en función de la frecuencia utilizada, ya que la asignación puede ser para servicios satelitales de radiodifusión, servicios fijos, móviles o una combinación de éstos. A continuación describimos estas tipologías así como el espectro que utilizan.

2.2.1 Radiodifusión por satélite

La radiodifusión satelital incluye servicios de audio y vídeo transportados a través de redes satelitales a los hogares mexicanos, lo que se conoce como DTH (del inglés *direct-to-home*).

La asignación de espectro a la radiodifusión por satélite en México – en línea con lo dispuesto por la UIT para la Región 2 – se provee a través de los siguientes rangos de frecuencias: 12.2–12.7GHz para el enlace descendente (*downlink*) y 17.3–17.8GHz para el enlace ascendente (*uplink*).

Sin embargo, la radiodifusión por satélite en México también tiene asignado pequeños segmentos en la banda UHF. Por un lado, el segmento 1452–1492MHz está reservado por la UIT para radiodifusión satelital sonora, pero no se espera su explotación en México. Cabe resaltar el espectro asignado en el rango de frecuencias de 2310–2360MHz: este segmento no está reservado para la radiodifusión satelital por la UIT, pero existe un acuerdo bilateral con los Estados Unidos de América (EUA) y México para la utilización de estas frecuencias para radiodifusión sonora digital vía satélite (DARS, del inglés *digital audio radio service*).² También existe espectro reservado para la radiodifusión satelital en la banda EHF, en el segmento 40.5–42.5GHz, aunque no se espera un gran uso del mismo en el corto plazo.

Entre los concesionarios autorizados para comercializar el servicio de televisión y audio restringidos vía satélite en México se encuentran la Corporación de Radio y Televisión del Norte de México, S. de R.L. de C.V. (Sky) y la Comercializadora de Frecuencias Satelitales, S. de R.L. de C.V. (Dish):

- Sky inició operaciones en 1996. En 2004, su competidor Direct TV finalizó sus emisiones y pasó a formar parte del Grupo Sky, siendo el único proveedor hasta 2008.
- Dish entró en el mercado en 2008 a través de una *joint venture* entre Dish Network y MVS Comunicaciones. Dish transmite contenidos a través de la capacidad satelital contratada al operador satelital Quetzsat, perteneciente al Grupo SES, en la posición orbital 77° Oeste,

² Fuente: Secretaría de Gobernación. Ver http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=763322&fecha=16/07/2001

siendo Dish el único concesionario de radiodifusión con capacidad satelital en el satélite Quetzsat 1. Dish ofrece servicios DTH en las bandas de frecuencia 12.2–12.7GHz (espacio-Tierra) y 17.3–17.8GHz (Tierra-espacio) asignadas en México para la radiodifusión satelital.

Las condiciones del mercado satelital y el marco legal mexicano hacen posible que satélites foráneos puedan operar en territorio mexicano siempre y cuando estén adecuadamente coordinados con las operaciones nacionales, que su país de origen forme parte de tratados internacionales y que cumplan con los requisitos establecidos en las Reglas para las Autorizaciones³ emitidas por el IFT. Se define como satélite foráneo aquel que está ubicado en una posición orbital (*slot*) – y sus frecuencias espectrales asociadas – asignadas a un gobierno extranjero por la UIT. Esta situación se produce en numerosos y diversos casos. Uno de ellos es Sky, que proporciona servicios de radiodifusión satelital en el rango de frecuencias 11.7–12.2GHz y 14–14.5GHz. Sin embargo, el contenido de Sky es radiodifundido desde posiciones orbitales geoestacionarias (POG) asignadas a EUA por la UIT a través del operador satelital Intelsat, que opera, entre otras, en la posición orbital 58° Oeste.

La demanda de servicios de radiodifusión satelital no ha parado de crecer en los últimos años en México. En marzo de 2015 había aproximadamente un total de 9.1 millones de subscripciones de DTH,⁴ un millón más que el año anterior (marzo de 2014)⁵ y 1.9 millones más que las subscripciones registradas en marzo de 2013.⁶

2.2.2 Servicios fijos satelitales

Las señales de alta potencia de los satélites, su alcance global y las potenciales interferencias que pudieran recibir de otros sistemas (en particular con enlaces satelitales ascendentes) requieren que los servicios satelitales estén sujetos a amplias armonizaciones internacionales, lo cual limita el rango de bandas de frecuencia en el que pueden operar. Las bandas de frecuencia y sus posiciones orbitales asociadas son provistas por la UIT. Los acuerdos de coordinación satelital definen las bandas de frecuencia y cómo se utilizan en cada posición orbital. Una vez lanzado, es extremadamente difícil modificar un sistema satelital y, por lo tanto, los sistemas suelen permanecer en operación durante muchos años. Así, son poco frecuentes los cambios en la asignación de frecuencias para servicios satelitales y su implementación lleva mucho tiempo.

Las asignaciones de espectro a servicios fijos satelitales permiten ofrecer enlaces de conexión a otros servicios. Los más comunes son los satélites que proveen servicios de enlaces para servicios satelitales móviles y de radiodifusión. En muchos casos, los enlaces de conexión utilizan asignaciones en la banda

³ IFT (2015), *Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba “Las reglas de carácter general que establecen los plazos y requisitos para el otorgamiento de autorizaciones en materia de telecomunicaciones establecidas en la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/industria/reglasparaelotorgamientodeautorizaciones.pdf>

⁴ IFT (2015), *Primer Informe trimestral estadístico 2015 (primer trimestre de 2015)*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/informetrimestral1q20151.pdf>

⁵ *Ibíd.*

⁶ IFT (2014), *Comunicado de prensa 27/2014*. Disponible en <http://portalanterior.ift.org.mx/iftweb/wp-content/uploads/2014/06/COMUNICADO-ITEL-1T2014.pdf>

C (3.7–4.2GHz y 5.9–6.4GHz), banda Ku (11.7–12.2GHz y 14–14.5GHz) y en la banda Ka (26.5–40GHz). Sin embargo, existen otras asignaciones a servicios fijos satelitales específicamente diseñados para enlaces de comunicación de otros servicios que operan en otras bandas. Otros usos pueden ser servicios gubernamentales (como servicios de seguridad o defensa), servicios de uso ocasional, etc.

Hasta 1995 la actividad satelital en México se consideraba altamente estratégica y su explotación quedaba restringida al Estado. Tras un proceso de privatización, en 1997 se constituyó la compañía Satélites Mexicanos S.A. de C.V. (Satmex) como una empresa prestadora del servicio fijo por satélite para la conducción de señales para redes públicas y privadas. En enero de 2014, Eutelsat concluyó la adquisición de Satmex, que cuenta con las siguientes tres concesiones orbitales:

- POG 113° Oeste – operado por el satélite Eutelsat 113 West A en las bandas C (3.7–4.2GHz / 5925–6425GHz) y Ku (11.7–12.2GHz / 14–14.5GHz) para servicios satelitales.⁷
- POG 114.9° Oeste – operado por el satélite Eutelsat 115 West A en la banda C y en la banda Ku. Entre sus usos se pueden encontrar servicios ocasionales, datos de alta velocidad, *mobility* y conectividad a sitios de las industrias petrolíferas y del gas.⁸
- POG 116.8° Oeste – operado por el satélite Eutelsat 117 West A en la banda C (3700–4200MHz / 5925–6425MHz) y Ku (11 700–12 200MHz / 14 000–14 500MHz) para servicios satelitales de vídeo, datos, banda ancha, servicios gubernamentales o servicios ocasionales.⁹

Finalmente, el gobierno mexicano decidió lanzar un sistema satelital estatal con tres satélites:

- *Bicentenario* – este satélite fue lanzado en diciembre de 2012 en la POG 114.9° Oeste y en las frecuencias 11 450–11 700MHz y 3400–3700MHz (espacio–Tierra) y 13 750–14 000MHz y 6425–6725MHz (Tierra–espacio), estando destinado principalmente a servicios satelitales fijos.
- *Morelos 3* – este satélite se lanzó en octubre de 2015 en la POG 113° Oeste en el rango de frecuencias 10 700–10 950MHz, 11 200–11 450MHz y 1525–1559MHz para los enlaces espacio–Tierra y en el rango de frecuencias 12 750–13 250MHz y 1626.5–1660.5MHz para enlaces Tierra–espacio, y está asignado a servicios móviles.
- *Centenario* – este satélite debía ofrecer servicios móviles para México y parte de América Latina pero se desintegró en la atmósfera en el proceso de lanzamiento. Su ubicación estaba prevista en la POG 113° Oeste.

Estos satélites operan en las mismas POGs que los satélites del Grupo Eutelsat y están destinados principalmente a la seguridad nacional, atención de la población en caso de desastres y reducción de la brecha digital.

⁷ Fuente: Eutelsat. Ver http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_SATELLITE_E113WA.pdf

⁸ Fuente: Eutelsat. Ver http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_SATELLITE_E115WA.pdf

⁹ Fuente: Eutelsat. Ver http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/EUTELSAT_SATELLITE_E117WA.pdf

No existen tendencias claras en cuanto a la demanda satelital. A nivel internacional se espera que la demanda en la banda C permanezca relativamente constante en el corto y medio plazo, en línea con la tendencia en los últimos años. Sin embargo, la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) está intentando identificar espectro adicional en las tres regiones de la UIT para equilibrar el espectro de subida y de bajada, y también específicamente para servicios fijos satelitales. Por otro lado, es posible que la demanda de espectro en la banda Ka aumente en los próximos años, especialmente para promover el despliegue y la penetración de la banda ancha a través de tecnología satelital, principalmente en zonas rurales. Esta situación podría darse en México debido a su geografía y a iniciativas como México Conectado, que incentivan el desarrollo de la banda ancha a nivel nacional.

2.3 Sistemas terrestres

Los sistemas de radiocomunicaciones terrestres también ofrecen una gran variedad de usos. Por ejemplo, las redes terrestres de radiodifusión digital proveen servicios similares a los servicios de radiodifusión satelital dado que distribuyen el mismo tipo de contenido a múltiples puntos de recepción dentro de una misma área geográfica. De forma similar, los sistemas de telecomunicaciones punto a punto terrestres son similares a los sistemas satelitales punto a punto puesto que establecen múltiples conexiones individuales entre dos puntos fijos (transmisor y receptor), permitiendo el envío de información – mayoritariamente datos digitales en las redes actuales. Sin embargo, considerando que una ventaja clave de las redes inalámbricas es la provisión de comunicaciones personales a los usuarios sin importar su localización, existe una variedad de servicios de comunicaciones móviles y personales que cobra mucha mayor importancia en los sistemas terrestres.

2.3.1 Servicios móviles de acceso público (voz y SMS)

Las redes móviles de acceso público, también conocidas como radio celulares, entregan servicios de comunicaciones móviles de voz, mensajería SMS (del inglés *short message service*) y datos, a través de un amplio rango de terminales, desde teléfonos móviles básicos para servicios de voz y SMS, hasta *smartphones* y tabletas para banda ancha.

Los operadores móviles despliegan una red de radiobases conectadas por fibra o enlaces de radio microondas al *backhaul* de la red o *core*. Los enlaces de microondas utilizan espectro apropiado para la operación de enlaces fijos, por lo que son diferentes de las bandas utilizadas para la provisión de servicios móviles (los enlaces de microondas fijos se cubren en el presente informe en una subsección diferente).

Actualmente en México se utilizan las siguientes generaciones de tecnología radioeléctrica: GSM (2G), UMTS (3G) y LTE (4G). La tecnología analógica (NMT o 1G) ya no es utilizada por los operadores.

Las redes y servicios móviles han experimentado grandes cambios en su corta existencia. Las redes móviles empezaron a florecer en la década de los 90 y han ido sumando usuarios de manera

ininterrumpida desde entonces. Hasta finales de la década pasada, el principal uso que los usuarios hacían de las redes y terminales móviles era el servicio de voz y de SMS (2G). Sin embargo, en los últimos años se está produciendo un gran cambio en el uso que se le da a los terminales móviles. Este cambio sin precedentes está suponiendo el salto de los servicios de voz a los servicios de datos (banda ancha) como principal uso de los dispositivos móviles. La aparición de redes 3G y la creciente demanda de *smartphones* o tabletas entre la población, junto con el desarrollo de aplicaciones móviles que normalmente necesitan acceso a datos, ha tenido como consecuencia que en muy pocos años el uso de la banda ancha móvil haya pasado a posicionarse como el principal uso de las redes móviles en términos de consumo de datos.

El incremento exponencial del tráfico en las redes móviles en los últimos años viene asociado al uso de nuevas aplicaciones en los dispositivos móviles, como el consumo de contenido de vídeo o la compartición de archivos a través de la banda ancha móvil. Este crecimiento en el tráfico móvil ha ido en consonancia con el desarrollo a nivel global de nuevas redes móviles más eficientes, como son las redes LTE (4G) y últimamente las redes LTE-*Advanced*. Estas nuevas tecnologías móviles son capaces de transportar el tráfico móvil a una mayor velocidad y de gestionar el espectro asociado de manera más eficiente. De todos modos, dado que se espera que el tráfico por usuario móvil siga creciendo en los próximos años, los gobiernos deben realizar una gestión eficiente del espectro y que responda a las nuevas necesidades de su población. De otra parte, los operadores han de modernizar y desplegar redes de nueva generación para lograr un aprovechamiento más eficiente de dicho espectro.

Servicios móviles (voz y SMS)

GSM (*Global System for Mobile Communications*) es el estándar utilizado en las tecnologías móviles 2G, el cual sustituyó la tecnología analógica, y consiste en una red digital de circuitos conmutados que proporciona principalmente servicios de telefonía de voz y SMS. El servicio SMS permite enviar mensajes de hasta 140 caracteres.

Las redes 2G pueden operar en diversas frecuencias. En México generalmente operan en las bandas de 850MHz y 1900MHz.

La tecnología 2G GSM fue progresando para incluir el transporte de datos y se desarrollaron las tecnologías GPRS y EDGE, las cuales suelen ser denominadas 2.5G. Las redes 2G siguen siendo las de mayor cobertura en México y desempeñan un papel significativo en la provisión de servicios de voz. El sistema GSM divide las frecuencias de su espectro radioeléctrico en diferentes portadoras de 200kHz. En cada una de estas portadoras se transmiten las señales de voz en tramas con ocho paquetes (*slots*). El sistema de acceso que sigue la tecnología GSM es por división de frecuencia, denominado FDMA (del inglés *frequency division multiple access*), y división en el tiempo, denominado *time division multiple access*.

En México, como en otros países americanos y a diferencia de la mayoría de países europeos, se ha utilizado además la tecnología de acceso múltiple por división de código (CDMA, del inglés *code division multiple access*). Movistar utilizó la tecnología 2G CDMA hasta 2007. A día de hoy,

sólo Iusacell y Telcel utilizan evoluciones 3G de dicho estándar, CDMA 2000.¹⁰ A diferencia de otras tecnologías, el método de acceso CDMA permite a múltiples usuarios compartir los mismos segmentos de espectro simultáneamente.

Servicios móviles (banda ancha móvil)

Las redes **3G o UMTS** (del inglés *Universal Mobile Telecommunications System*) también utilizan la tecnología de acceso CDMA, en particular W-CDMA (wide-CDMA debido a que las portadoras ocupan un mayor ancho de banda) y utilizada en México por Iusacell, Movistar y Telcel.¹¹ La tecnología UMTS se diferencia principalmente de la tecnología 2G en tanto que puede soportar altas velocidades de transmisión de datos. La tecnología UMTS divide su espectro radioeléctrico en portadoras de 5MHz mientras que la tecnología CDMA 2000 utiliza portadoras de 1.25MHz.

HSPA (*high-speed packet access*) es una tecnología 3G desarrollada a partir de la evolución de la tecnología UMTS y que actualmente utilizan los operadores móviles mexicanos en sus diferentes vertientes (HSPA+ o HSDPA) en las bandas de 850MHz, 1700 / 2100MHz o 1900MHz.

LTE (*Long Term Evolution*) es la tecnología utilizada para el despliegue de redes 4G. Esta tecnología utiliza en su totalidad el protocolo de Internet (IP) para todos los servicios (datos y voz) y las conexiones entre todos los puntos de su red. Un cambio importante entre las tecnologías 2G / 3G y 4G es que para las llamadas de voz ya no se establece un circuito permanente entre dos usuarios, sino que se transforma la voz en datos y éstos son tratados de forma parecida a los otros datos. El circuito se establece así de forma virtual.

La tecnología 4G hace un uso más eficiente del espectro y posibilita un mejor servicio de banda ancha móvil. Las portadoras LTE pueden tener distintas anchuras de banda, de 1.4MHz a 20MHz. En la actualidad, la tecnología LTE está siendo utilizada por Movistar, Telcel y Nextel en México, pero su cobertura es todavía parcial. Telcel es, con diferencia, el operador con mayor cobertura con alrededor del 66% de la población cubierta, mientras que Telefónica sólo cuenta con cobertura 4G en el Valle de México y zona metropolitana, y AT&T – tras la compra de Iusacell y Nextel – cubre tan solo seis ciudades (Atlacomulco en el Estado de México, Cuernavaca y Cuautla en Morelos, así como Pachuca, Tepeji del Río y Tulancingo en Hidalgo).¹²

En julio de 2015, 40 países – ninguno de América Latina – contaban ya de forma parcial (a veces sólo en las principales capitales) con LTE-Advanced.¹³ Entre estos países podemos destacar Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Corea del Sur, EUA, España, Francia, Hong Kong, Italia, Japón, Kuwait, Rusia, Sudáfrica y Reino Unido. Esta tecnología trae consigo una serie de mejoras con respecto a LTE en términos de capacidad y eficiencia espectral. LTE-Advanced es compatible

¹⁰ Fuente: TeleGeography.

¹¹ *Ibid.*

¹² Según la información reportada por los operadores en sus sitios web.

¹³ Fuente: Analysys Mason Research – Wireless Network Tracker.

con el anterior estándar, permitiendo a anteriores equipos LTE usar la red *LTE-Advanced*, aunque sin las ganancias asociadas a esta última.

Las mejoras en capacidad relacionadas con *LTE-Advanced* son conseguidas a través de mejores enlaces ascendentes, mecanismos de múltiple acceso y una mayor capacidad de transmisión de las antenas. Las principales mejoras en el nuevo desarrollo de *LTE-Advanced* que consiguen velocidades de datos más altas son:

- Agregación de portadoras (*carrier aggregation* o CA) – la habilidad de combinar varias portadoras (*carriers*) de frecuencias en el enlace ascendente o descendente (o ambos) para proporcionar un ancho de banda por portadora de hasta 2×100MHz, comparado con el 2×20MHz de la tecnología LTE. La agregación de portadoras puede darse dentro de una banda de frecuencias (intra-banda) o entre distintas bandas de frecuencia (inter-banda).
- Las técnicas MIMO (del inglés *multiple-input, multiple-output*) permiten un mayor rendimiento en cada celda a través de un multiplexado espacial. Una de las ventajas del *LTE-Advanced* es que permite utilizar un MIMO superior, el cual requiere un mayor número de antenas en la radiobase.¹⁴
- Otra de las tendencias internacionales que se están dando en los últimos tiempos es el uso de *small cells* (celdas con un radio de cobertura muy reducido) en las redes móviles. Dado el importante crecimiento del tráfico móvil, y especialmente de la concentración del mismo en ciertas zonas urbanas, los operadores buscan soluciones para incrementar la capacidad de sus redes. Las *small cells* son utilizadas para proporcionar capacidad adicional celular en localizaciones o geografías específicas – y limitadas – en las que se concentra una gran densidad de usuarios móviles. Las *small cells* utilizan espectro concesionado, requiriendo concesiones para la *small cell*, para la macro celda y para el enlace entre las dos. Por otro lado, los operadores tienen la posibilidad de conectar las *small cells* a redes de fibra o microondas de terceros en las que pueden descargar parte del tráfico móvil de su propia red.

En México, el uso de la tecnología LTE es todavía parcial. Hay que recordar que aparte del necesario despliegue de la red LTE es necesario que los usuarios dispongan de terminales modernos que sean compatibles con dicha tecnología.

Las llamadas de voz en estos momentos se realizan, prácticamente en su totalidad, a través de redes 2G o 3G. Esto es debido a que la especificación estándar de la tecnología 4G – a diferencia de las tecnologías 2G y 3G – no incluye ningún tipo de concepto de voz de tráfico, por lo que para ofrecer voz sobre 4G es necesario utilizar un servicio *over-the-top* cuyo estándar es VoLTE. Este estándar requiere la implementación de una serie de capacidades en la red (por ejemplo, funcionalidad PCRF¹⁵ para priorizar paquetes de voz, plataformas IMS¹⁶ para la conmutación,

¹⁴ Cabe notar que MIMO proporciona una mejora sustancial en la transmisión de datos en ambientes donde la relación señal-ruido es alta. Ver <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

¹⁵ PCRF es el acrónimo de *policy and charging rules function*.

¹⁶ IMS es el acrónimo de *IP multimedia subsystem*.

SVRCC¹⁷ para poder realizar el *handover* en las llamadas), así como dimensionar y optimizar el rendimiento de la red para el estándar VoLTE, aspecto no incluido inicialmente en el despliegue de las redes 4G. Los aspectos descritos anteriormente y la necesidad de que los terminales también soporten el estándar VoLTE hacen que las llamadas de voz no sean realmente todavía un servicio 4G en México.

Bandas atribuidas a servicios móviles de acceso público

En 1989, México se dividió en nueve regiones geográficas a efectos de la administración de las bandas de espectro para telefonía celular. En 1998 tuvo lugar el primer proceso de licitación de las bandas de 1850–1910 / 1930–1990MHz. La siguiente figura ilustra las nueve regiones de México vigentes en la actualidad – a excepción de la banda PCS que presenta una distribución geográfica diferente en cuanto a las regiones.



Figura 2.1: Regiones en las que se divide México para la prestación del servicio celular [Fuente: IFT, 2012]

La división del territorio nacional en diferentes regiones espectrales es un hecho que sucede en otros países como Brasil. Esto implica que, aunque el uso del espectro es el mismo en los distintos Estados, puede darse el caso que sean operadores diferentes los que operen la misma frecuencia en los distintos Estados (como es el caso en México).

Las bandas de frecuencia utilizadas en México para servicios móviles de acceso público son:

- la banda CEL (824–849MHz, 869–894MHz) para servicios 2G y 3G
- la banda AWS (1710–1780MHz / 2110–2180MHz) para servicios 3G o 4G
- la banda PCS (1850–1910MHz / 1930–1990MHz) para servicios 2G o 3G.

Actualmente, una porción del espectro en la banda AWS no está siendo utilizado. A principios del próximo año se licitarán hasta 80MHz de espectro, 30MHz del sub-segmento 1710–1725MHz / 2110–2125MHz, 30MHz del sub-segmento 1744–1770MHz / 2155–2170MHz y otros 20MHz en el rango 1770–1780MHz / 2170–2180MHz.

Las asignaciones de espectro otorgadas en México para servicios móviles están en línea con las asignaciones realizadas en otros países vecinos, como es el caso de EUA. Sin embargo, en EUA se

¹⁷ SVRR es el acrónimo de *single radio-voice calls*.

han otorgado licencias adicionales en las bandas de 700MHz y 2.6GHz, las cuales serán también utilizadas para la provisión de servicios móviles públicos en México en el corto o medio plazo.

En México, aun tras las recientes Licitaciones 20 y 21 destinadas a servicios 3G y 4G, sigue habiendo escasez de espectro dedicado a servicios móviles de acceso público. Esto es así puesto que México, hoy en día, sigue siendo uno de los países con mayor número de usuarios por MHz dedicado a servicios móviles de acceso público (ver Figura 2.2),¹⁸ lo que conlleva a un servicio de menor calidad a los usuarios finales.

De hecho, si consideramos las próximas licitaciones de 700MHz (90MHz en total), AWS (80MHz en total) y 2.5GHz (130MHz en total) y asumimos que se asigna todo el espectro, México estará en línea en comparación con países latinoamericanos y europeos en cuanto al número de MHz asignados a servicios móviles de acceso público.

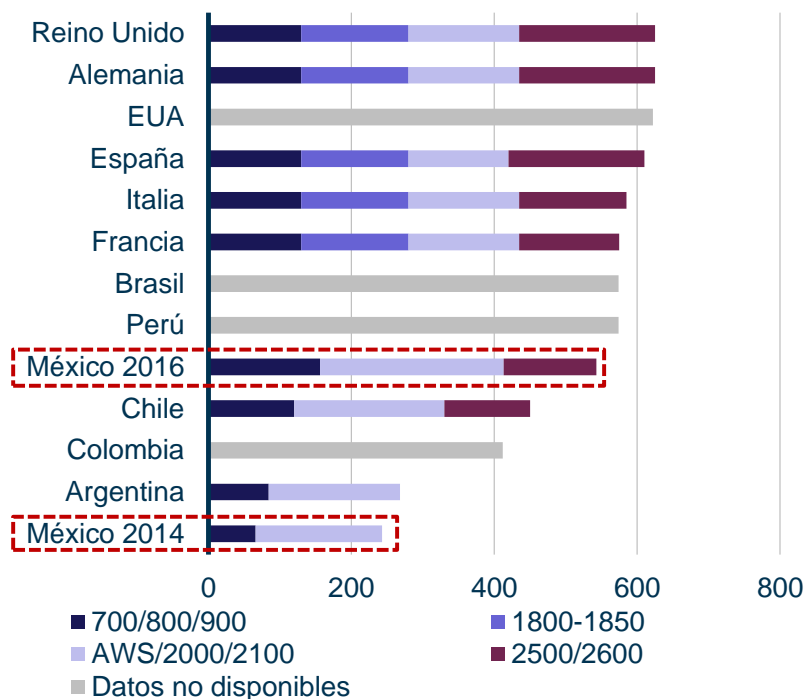


Figura 2.2: MHz totales asignados a servicios móviles en 2014 [Fuente: Comisión Europea, ACMA, Telecom Argentina, Industry Canada, GSMA, 2014]

Nota 1: México 2016 asume que todo el espectro a licitar en las bandas de 700MHz, AWS y 2.5GHz queda otorgado a alguno de los operadores móviles

Nota 2: El servicio WiMAX no está incluido

Si en la actualidad existe escasez de espectro destinado a servicios móviles de acceso público, la situación es posible que tienda a agravarse debido a diferentes tendencias de demanda, como son: i) una demanda de datos móviles con un gran potencial de crecimiento; ii) aumento de la penetración de *smartphones*; iii) o el lanzamiento de servicios 4G en zonas actualmente no cubiertas por banda ancha fija a medio plazo. Estos aspectos descritos destacan la importancia de lograr una gestión eficiente del espectro.

En este sentido, promover el desarrollo de la banda ancha móvil (especialmente 4G) a través de una mayor asignación de espectro a dichos servicios posibilitaría por un lado la reducción de la

¹⁸ En 2014, el único país con una cantidad de espectro dedicada a servicios móviles similar a México era Argentina, que cuenta con una población de 41 millones de habitantes, en comparación con los 122 millones de personas en México.

dependencia sobre la banda ancha fija, cuya cobertura es más compleja y costosa de extender a territorios con menos incentivos económicos, y por otro contribuiría a reducir la brecha digital en las zonas más rurales del país, lo que derivaría en grandes beneficios económicos y sociales.

En la inminente CMR de noviembre de 2015 se expondrán por parte del sector móvil las principales preocupaciones sobre el crecimiento del tráfico móvil actual y esperado en el corto plazo. El modelo oficial de la demanda de espectro de la UIT asume que el tráfico móvil se incrementará entre 44 y 80 veces de 2010 a 2020 a nivel global. En respuesta, los operadores están invirtiendo significativamente en tecnologías más eficientes como LTE o LTE-Advanced y arquitecturas de red como las ya mencionadas *small cells*. Aun así, la UIT predice que se requerirán en promedio entre 1340MHz y 1960MHz de espectro (dicho rango depende de las predicciones de la demanda de datos) para banda ancha móvil en 2020. Por ello, la asociación de operadores móviles GSMA identifica para su discusión cuatro bandas de frecuencia que podrían ser óptimas para la provisión de servicios de banda ancha móvil en el futuro:

- banda de 470–698MHz
- banda L (1300–1400MHz / 1427–1518MHz)
- banda de 2.7–2.9GHz
- banda C (3.4–4.2GHz).

2.3.2 Enlaces fijos (punto a punto y punto a multipunto)

Los enlaces fijos son sistemas inalámbricos que operan entre dos puntos utilizando antenas direccionales. Los enlaces son normalmente digitales y requieren un alto nivel de disponibilidad (99.99% o más) ya que son utilizados para proporcionar infraestructura *backhaul* y acceso local principalmente a operadores móviles y fijos. Generalmente proporcionan comunicaciones en ambas direcciones, pero existen algunos enlaces unidireccionales, utilizados por ejemplo para enlaces entre los estudios de radiodifusión y las estaciones de transmisión (servicios auxiliares a la radiodifusión).

En algunos casos, se prefieren los enlaces fijos a la fibra debido a que son más fáciles y rápidos de desplegar, y su costo es menor: por diversas razones, como la condición del terreno, no siempre resulta práctico instalar fibra, y por ello el despliegue de enlaces fijos es una opción más rápida y económica.

En algunos casos, el acceso local se realiza con enlaces punto a multipunto. El acceso fijo inalámbrico es un servicio importante para muchas áreas en México puesto que las redes alámbricas no se encuentran disponibles en la totalidad del territorio nacional.

Un uso clave de los enlaces por microondas es proveer conexión *backhaul* a las redes móviles. El creciente uso de la banda ancha móvil hace que los requerimientos de capacidad *backhaul* también se incrementen considerablemente. Se necesita más ancho de banda y, por tanto, un mayor número de enlaces.

Por otro lado, los enlaces fijos pueden ser desplegados en una amplia gama de frecuencias. Si bien no hay frecuencias “ideales” (la frecuencia ideal dependerá de la necesidad exacta que se necesite cubrir), algunas bandas experimentan una demanda mucho más alta que otras debido a las características de sus frecuencias, y la disponibilidad del equipamiento. Históricamente, las frecuencias bajas (por ejemplo, por debajo de 7GHz) han sido populares ya que permiten ofrecer una distancia de transmisión más amplia. No obstante, en los últimos años la demanda de ciertas frecuencias se ha reducido como resultado de la migración a fibra y productos de cable Ethernet de bajo costo. En México, las principales bandas de frecuencia utilizadas para enlaces fijos son las siguientes:

- *3400–3700MHz* – en la actualidad, en este segmento se presta el servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil. Los concesionarios de esta banda son Axtel, Telmex y Operadora de Comunicaciones. Los servicios de acceso inalámbrico fijo o móvil se encuentran en porciones del segmento 3400–3600MHz. El segmento 3600–3700MHz se encuentra cubierto por un perfil LTE (banda 43 para TDD),¹⁹ pero está siendo objeto de análisis en la actualidad para determinar su utilización óptima.
- *5725–5850MHz* – esta banda fue identificada en 2006 como espectro de uso libre, y es ampliamente utilizada para enlaces de microondas punto a punto y punto a multipunto para enlaces de última milla de tráfico de datos.
- *7110–7725MHz* – esta banda se utiliza para enlaces de microondas punto a punto de largo alcance, con el objetivo de interconectar redes en tramos de carreteras o diferentes poblaciones entre sí. Actualmente se han otorgado seis concesiones en esta banda. Dichos concesionarios son: Grupo de Telecomunicaciones Mexicanas, S.A. de C.V., Unefrecuencias, S.A. de C.V., Bestphone, S.A. de C.V. (derechos cedidos a Bestel, S.A. de C.V.), Operbes, S.A. de C.V. (derechos cedidos en primer lugar por Bestphone y posteriormente Bestel), Telcel PAP, S.A. de C.V. (derechos cedidos por Bestel) y Conectividad Inalámbrica 7GHz, S. de R.L.
- *10.15–10.65GHz* – utilizada para enlaces punto a punto y punto a multipunto.
- *14.5–15.35GHz* – utilizada para enlaces punto a punto de alcance medio y principalmente se utiliza en entornos urbanos y semiurbanos.
- *21.2–23.6GHz* – esta banda es esencialmente utilizada para la provisión de capacidad para el establecimiento de enlaces de microondas punto a punto. Según un informe publicado por el IFT²⁰ los enlaces utilizados en la banda son principalmente de corto alcance en espacios urbanos. Las concesiones de esta banda se otorgaron en 1998 y entre sus numerosos concesionarios destacan: Alestra, Avantel, Maxcom, Megacable, Miditel, Iusacell, Telcel, Telmex y Axtel.

¹⁹ IFT (2015), *El espectro radioeléctrico en México. Estudio y acciones. Más y mejor espectro para banda ancha*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/espectro-radioelectrico-en-mexico-vp.pdf>

²⁰ IFT (2015), *El espectro radioeléctrico en México. Estudio y acciones. Más y mejor espectro para banda ancha*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/espectro-radioelectrico-en-mexico-vp.pdf>

- *37–38.6GHz* – esta banda de frecuencias es utilizada para la provisión de capacidad para el establecimiento de enlaces de microondas punto a punto. Permite establecer enlaces de corto alcance (debido a su alta frecuencia), los cuales son utilizados principalmente en zonas urbanas donde se requiere una alta conectividad entre puntos relativamente cercanos.
- *71–76GHz / 81–86GHz* – este amplio segmento del espectro está atribuido al uso libre a través de un acuerdo publicado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en marzo de 2012. Estas frecuencias son especialmente útiles para aplicaciones de enlaces punto a punto de banda ancha y sirven de alternativa a las redes de fibra óptica, lo cual se consigue mediante enlaces fijos punto a punto de corta distancia, lo que también permite la reutilización de frecuencias.

Recibimos los documentos “Export_DB_RPC_Radiodifusion” y “Export_DB_RPC_Telecom” pero su contenido no ha sido suficiente para realizar un análisis profundo de las asignaciones por banda de frecuencias en México. Por tanto, aunque se utilicen diferentes frecuencias para el servicio de enlaces fijos, consideramos de utilidad analizar las tendencias del servicio a nivel internacional.

En Europa, los operadores móviles suelen demandar enlaces en frecuencias superiores a los 20GHz, mientras que los operadores fijos suelen operar en el rango de 10–20GHz, aunque en determinadas ocasiones los operadores de red fijos proveen también enlaces a operadores móviles. Por debajo de los 10GHz, la situación tiende a ser más diversa y se pueden encontrar radiodifusores, operadores fijos, empresas energéticas o de seguridad pública. La variedad de tipos de usuarios supone una demanda de espectro de enlaces fijos con diferentes causas.

En el documento sometido a consulta por el regulador de telecomunicaciones británico Ofcom sobre la *Revisión de las tarifas de espectro para enlaces fijos y servicios satelitales*, basado en un informe de la consultora Plum,²¹ se muestra que en Reino Unido el número de enlaces se vio reducido significativamente entre 2011 y 2014 especialmente en las frecuencias más utilizadas,²² manteniéndose relativamente constantes las bandas con un menor número de enlaces (1.5GHz, 6GHz y 7.5GHz) y con un ligero incremento en la banda de 15GHz. Una de las posibles razones que explican esta reducción puede ser la licitación de licencias en bandas adicionales en 2008 o la fusión de Orange y Deutsche Telekom, la cual puede haber reducido el número de enlaces pero no así de ancho de banda. Otra posible causa de esta reducción puede ser que el gran incremento del tráfico móvil, especialmente en zonas urbanas donde se tiende a utilizar bandas de frecuencia altas, haya tenido como consecuencia la migración de tecnologías de enlaces fijos a conexiones por fibra.

²¹ Plum (2015), *Support to Ofcom's review of fees for fixed links and permanent earth stations*. Disponible en http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/review-spectrum-fees-fixed-links-satellite/annexes/plum_report.pdf

²² Las bandas más utilizadas en el Reino Unido son las bandas de 38GHz, 18GHz (ésta no es utilizada en México) y la de 23GHz.

2.3.3 Radio móvil privada incluyendo radio *trunking* (banda angosta)

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles privados (PMR, del inglés *private mobile radio*) y los sistemas de radiocomunicación móvil especializada de flotillas o radio *trunking*²³ son generalmente utilizados por una serie de empresas privadas y entes públicos que prefieren usar una red de radio privada en lugar de utilizar una red móvil pública (radio celular). PMR incluye un amplio rango de sectores verticales entre los que se encuentran el sector aeroportuario, de la construcción, transporte, sector minorista, energético y de seguridad.

El *trunking* es un servicio móvil que permite la comunicación de señales de voz (y en menor medida datos) a grupos de usuarios específicos, utilizando tecnologías de frecuencias con portadoras compartidas. Entre las tecnologías que utilizan *trunking* en México se pueden encontrar LTR, TETRA, TETRAPOL, iDEN o APCO25.

Ejemplos del uso de servicios de PMR incluyen:

- un aeropuerto que utiliza servicios de radio para seguridad, gestión de pasajeros y operaciones aéreas
- un centro comercial que utiliza este tipo de sistemas para seguridad
- un puerto de contenedores que utiliza la radio para operaciones de seguridad y transmisión de datos para el envío de información e instrucciones
- una organización de transporte con una flota de autobuses que utilizan el servicio de voz para las operaciones de seguridad del conductor y datos para servicios de localización.

La radio privada es utilizada de forma directa terminal-a-terminal en sistemas simples, o más comúnmente con un sistema de envío, donde los terminales de radio funcionan a través de una radiobase central. Estos sistemas pueden tratarse de emplazamientos individuales o grandes redes con emplazamientos interconectados.

Los servicios de emergencias son también servicios de radio móvil privados y de radiocomunicación móvil especializada de flotillas o radio *trunking*, que originalmente utilizaban una variedad de sistemas de servicios de radio móviles analógicos y servicios digitales como los ya mencionados TETRA, iDEN, TETRAPOL y APCO 25.

Las frecuencias principales en las que se encuentran estos servicios en México son:

- *136–174MHz* – en esta banda de frecuencias se encuentran una gran parte de las radiocomunicaciones privadas de entidades gubernamentales, empresas estatales y usuarios privados. Actualmente esta banda está bastante saturada, especialmente desde los 148MHz (con aproximadamente 3700 canales registrados)²⁴ hasta los 174MHz. Este sub-rango utiliza principalmente radio convencional para servicios de radiocomunicaciones privadas. Hay que señalar que el rango inferior de la banda (136–141MHz) es compartido con una serie de

²³ También conocidos como móvil terrestre o PBR (*private business radio*, por sus siglas en inglés).

²⁴ IFT (2015), *El espectro radioeléctrico en México. Estudio y acciones. Más y mejor espectro para banda ancha*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/espectro-radioelectrico-en-mexico-vp.pdf>

tecnologías y usos diferentes, como son la radiolocalización, comunicación entre satélites, aficionados por satélite o aficionados.

- *380–399.9MHz* – esta banda está principalmente ocupada por servicios de radiocomunicaciones móviles privadas (*trunking* de seguridad pública de banda angosta) y es utilizada principalmente por entidades públicas federales, estatales y municipales con tecnologías Tetrapol (red IRIS) y TETRA – Protocolo relativo a los Servicios Fijo y Móvil Terrenal, excepto Radiodifusión a lo largo de la Frontera Común. Este rango de frecuencias también forma parte de los acuerdos bilaterales entre México y EUA en cuanto al uso de dichas frecuencias en el área fronteriza.²⁵
- *410–430MHz* – esta banda de frecuencias utiliza principalmente la tecnología TETRA para la provisión de servicios móviles de *trunking*, pero también para la provisión de servicios fijos. El gobierno mexicano planea reubicar los servicios de radiolocalización especializada de flotillas (*trunking*) de la banda de 800MHz a esta banda.
- *440–450MHz* – los servicios de radiocomunicaciones móviles privadas que ocupan esta banda comparten su uso con servicios fijos y de radiolocalización, principalmente con tecnología TETRA y P25.
- *806–824MHz / 851–869MHz* – estos servicios de *trunking* se dividen a su vez en dos grupos: servicios de *trunking* comercial (*806–821MHz / 851–866MHz*) con tecnologías LTR como TETRA, iDEN y APCO25, y servicios de *trunking* de seguridad pública (*821–824MHz / 869–894MHz*) con tecnologías principalmente TETRA y APCO25.

En México, el número de usuarios de servicios de *trunking* – especialmente iDEN – ha disminuido significativamente desde mediados de 2013. A finales del primer trimestre de 2015 se contabilizaban 0.94 millones de usuarios de *trunking*, un descenso imponente comparado con los 1.5 millones de usuarios registrados en marzo de 2014 y los 2.3 millones de marzo 2013.²⁶ Esta clara tendencia está justificada por la migración de los usuarios de *trunking* a tecnologías más modernas como tecnologías 3G. Es probable que esta tendencia a la baja continúe en el corto plazo. El *trunking* comercial en México está gestionado casi en su totalidad (95% en marzo de 2015) por AT&T (históricamente Nextel), y por tanto es el operador que mayor pérdida de usuarios de *trunking* comercial ha experimentado en los últimos dos años.

Aparte de la reubicación del servicio de *trunking* a la banda 410-430MHz mencionado anteriormente, también está planificado que se reubique el servicio de *trunking* de seguridad pública del segmento 821–824MHz al segmento 806–809MHz y liberar el rango 814–824MHz / 859–869MHz para ser utilizado para servicios de banda ancha. Sin embargo, esta migración no tiene todavía un plazo fijado y dependerá de las prórrogas que se les otorguen a los concesionarios de *trunking* en la banda actual y del uso que se le dé a las comunicaciones privadas que hoy en día ocupan la banda de 400MHz. La demanda futura de otros servicios de PMR puede diferir del *trunking* comercial, dado que las

²⁵ Ver <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/asuntos-internacionales/protocolo3803999mhzing27jul05.pdf>

²⁶ IFT (2015), *Primer Informe trimestral estadístico 2015 (primer trimestre 2015)*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/informetrimestral1q20151.pdf>

aplicaciones utilizadas por empresas privadas o gubernamentales, o por servicios como seguridad pública pueden demandar un mayor tráfico de datos, si bien es verdad que las tecnologías actuales que utilizan estos servicios no permiten un ancho de banda ni capacidad de transmisión significativos.

2.3.4 Radiodifusión de televisión digital

Los sistemas de radiodifusión consisten en la transmisión y distribución de contenido de audio o de audio y vídeo a audiencias de radio y televisión, respectivamente. En los últimos años son varias las tecnologías y plataformas digitales que se han desarrollado para la radiodifusión de radio y televisión. Así mismo, el apagón analógico es ya una realidad en varios países (en México, el apagón analógico está programado para finales de 2015) y la penetración de la televisión digital terrestre (TDT) va en aumento.

Sin embargo, existen otras plataformas de distribución de contenidos de televisión (satélite, cable o IPTV) que se han desarrollado junto con la radiodifusión terrestre, y a día de hoy ofrecen un gran número de canales en alta definición (HD, del inglés *high definition*), comúnmente como parte de la suscripción a paquetes de televisión restringida. Como resultado, la radiodifusión a través de la TDT podría sufrir un descenso en el largo plazo si existe una amplia disponibilidad de redes de acceso alternativas para la TDT. Mientras, la TDT permanecerá como un valioso servicio en numerosos países.

Los beneficios de la TDT son ampliamente conocidos. Aparte de una mayor calidad de imagen y la posibilidad de servicios adicionales como la interactividad, la TDT ofrece, a través de la multiplexación y la eliminación de la redundancia en la señal de vídeo, grandes eficiencias espectrales en comparación a la televisión analógica. Un canal analógico en México es transmitido en 6MHz del espectro radioeléctrico, mientras que la TDT permite emitir varios canales (en términos generales entre tres y cinco dependiendo de la codificación y la modulación (ATSC en México) empleadas) utilizando esta misma cantidad de espectro. Así, la transición a la TDT promueve e incentiva una mayor competencia y diversidad en el mercado televisivo, permitiendo una mayor oferta de canales, lo que conlleva unos claros beneficios para las audiencias.

La radiodifusión en México ha utilizado históricamente espectro en las bandas VHF para los canales 2–13 en las frecuencias 54–72MHz, 76–88MHz y 174–216MHz, y en la banda UHF para los canales 14–69 en las frecuencias 470–608MHz y 614–806MHz; el primer dividendo digital, actualmente en proceso, afecta a los canales 52 al 69 en las frecuencias 698–806MHz (banda de 700MHz). Los canales de radiodifusión que ocupan actualmente esas frecuencias serán traspasados a bandas inferiores de la banda UHF (por debajo de los 608MHz) en el denominado segundo dividendo digital, quedando la banda de 600MHz en un proceso de reordenamiento para después ser asignada a servicios móviles de banda ancha. Asimismo, se espera que la asignación de canales de televisión se focalice en la banda VHF y en el rango más bajo de la banda UHF, entre los 470MHz y 608MHz, puesto que es probable que la banda de 600MHz se reasigne a otros servicios en el futuro.

El dividendo digital es un proceso que se está dando a nivel mundial. Sin embargo, las bandas de frecuencia afectadas han variado entre regiones, como han podido ser la banda de 700MHz (como el caso mexicano, Región 2 de la UIT) o la banda de 800MHz (Europa, Región 1 de la UIT).

El apagón analógico en México está siendo un proceso escalonado que concluirá en diciembre de 2015. Por lo tanto, a partir de 2016 la banda de 700MHz quedará libre de servicios de radiodifusión de televisión. El proceso empezó en el Estado de Baja California en mayo de 2013 y diversos Estados y ciudades se han ido sumando poco a poco. La penetración de televisores digitales o adaptadores para televisión digital entre las diferentes poblaciones ha sido la variable que ha marcado la hoja de ruta para decidir qué poblaciones se iban adhiriendo al apagón analógico desde que comenzó el proceso.

Como parte de un proceso paralelo al dividendo digital, en 2015 se licitaron dos canales nacionales de TDT para nuevos radiodifusores con el objetivo de incentivar la TDT e incrementar la competencia en el mercado, actualmente dominado por Televisa y TV Azteca. Finalmente, sólo una de las dos cadenas fue otorgada a CadenaTres, quien deberá empezar sus transmisiones en antes del 2018. Se espera que en 2016 se licite en las frecuencias de la segunda cadena cuyo concurso quedó desierto. No se ha decidido todavía si las frecuencias se configurarán en una cadena nacional o en varias cadenas regionales de TDT.

La radiodifusión de televisión en México ha estado marcada por una cobertura de la televisión pública parcial (42% en 2011 con el objetivo de alcanzar el 75% de cobertura poblacional en 2012)²⁷ y la fuerte concentración de la televisión comercial abierta en manos de Televisa y TV Azteca, la cual alcanza aproximadamente al 90% de la población. Por otro lado, la televisión restringida ha crecido a un ritmo acelerado en los últimos años, llegando a alcanzar los 16.5 millones de suscripciones en marzo de 2015 (un 52% del total de hogares mexicanos), frente a los 15 millones en marzo de 2014²⁸ y los 10.3 a finales de 2010.²⁹

En cuanto a las diferentes tecnologías utilizadas en México para la radiodifusión de televisión de paga, el satélite y el cable ocupan los primeros puestos con un 55.2% (0.9% vía microondas) y 44.8% de suscripciones,³⁰ respectivamente. Esta distribución se ha mantenido relativamente constante en los últimos trimestres.

La banda de frecuencias 2500–2690MHz fue asignada al servicio de radiodifusión de televisión y audio restringido por microondas en las principales ciudades de México, siendo MVS Multivisión el principal concesionario. La tecnología utilizada es MMDS (del inglés *multichannel microwave distribution systems*), la cual permite la transmisión de varios canales de televisión dentro del radio

²⁷ Once TV México, Instituto Politécnico Nacional, *Memoria documental ampliación de la cobertura y digitalización Once TV México en alta definición*. Disponible en <http://www.ipn.mx/Documents/Transparencia/Documento1.pdf>

²⁸ IFT (2015), *Primer Informe trimestral estadístico 2015 (primer trimestre 2015)*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/informetrimestral1q20151.pdf>

²⁹ COFETEL (2011), *Estudio sobre el mercado de Televisión abierta en México*. Disponible en: http://www.ift.org.mx/iftweb/wp-content/uploads/2013/10/Reporte_CIDE_CM_201112_publico.pdf

³⁰ IFT (2015), *Primer Informe trimestral estadístico 2015 (primer trimestre 2015)*. Disponible en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/informetrimestral1q20151.pdf>

de alcance del transmisor. Originalmente diseñada para la transmisión de señales analógicas, actualmente esta tecnología permite transmitir también canales digitales. Sin embargo, la SCT llegó a un acuerdo³¹ en octubre de 2013 con nueve de los 11 concesionarios – incluido MVS Multivisión – en el que éstos renunciaban a 130MHz de los 190MHz concedidos previamente. Así, dicho espectro queda libre para su futura atribución a servicios de banda ancha móvil.

2.3.5 Radiodifusión de radio sonora (analógica y digital)

La radiodifusión sonora en México sigue siendo mayoritariamente analógica (AM o FM). Según iBiquity,³² actualmente existen en el país más de 40 estaciones FM que transmiten en modo híbrido. No se tiene conocimiento de que existan estaciones que transmitan en AM híbrida.

La radiodifusión FM se encuentra localizada en la banda VHF en el rango 88–108MHz. Por su parte, la radio AM se localiza en un rango mucho más bajo del espectro radioeléctrico, entre los 535 y 1705kHz. La radio AM modula la amplitud de la señal mientras que la frecuencia de transmisión se mantiene constante. En cambio, la tecnología FM codifica el sonido variando la frecuencia de la señal y mantiene su amplitud constante. La radio FM cuenta con una mejor calidad de sonido dado su mayor ancho de banda, pero su cobertura es menor.

En julio de 2015 existían aproximadamente 1300 estaciones de radio FM y unas 100 de AM en México.³³ De hecho, el IFT está preparando la licitación de 191 concesiones comerciales de radio, 94 asignaciones de uso social y 13 asignaciones de uso público. Se espera que dichas licitaciones aumenten en al menos un 20% la infraestructura FM en el país,³⁴ ya que hoy día existe gran interés por la radio FM. No se espera un apagón de la radio analógica a corto o medio plazo, puesto que para eso se necesitaría una gran cobertura de la radio digital y una gran penetración de dispositivos compatibles. No obstante, cabe destacar que el IFT está promoviendo la digitalización de la radio con la inclusión de la transmisión en modo híbrido como elemento de evaluación positivo en las licitaciones de frecuencias de radio.

El estándar IBOC (del inglés *in-band-on-channel*) es el estándar de radio digital adoptado en México y utilizado en otros países como EUA, Brasil, Panamá, Tailandia, Indonesia o Nueva Zelanda. La radio digital mejora la calidad de sonido y su recepción, especialmente en áreas en las que la señal analógica actual es débil. La principal ventaja de este estándar frente a otros utilizados es la posibilidad de recepción de la transmisión con receptores analógicos y digitales mediante la misma señal. Esta posibilidad de instalación sin la necesidad de realizar grandes modificaciones en la instalación del sistema supone una clara ventaja respecto a otros sistemas digitales de la que se pueden beneficiar los países que han adoptado este estándar – entre ellos México. No obstante, dichos solapamientos tecnológicos podrían ocasionar ciertas pérdidas en la calidad del servicio. Por otro lado, el estándar IBOC permite ofrecer canales multidifusión en la banda FM, es decir, la

³¹ Comunicado de la SCT. Disponible en <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/acordaron-sct-y-concesionarios-de-banda-de-25-ghz-reintegrar-al-estado-130-mhz/>

³² www.ibiquity.com/

³³ Artículo de julio de 2015. Disponible en <http://www.sinembargo.mx/20-07-2015/1418475>

³⁴ Artículo de octubre de 2015. Disponible en <http://www.xeu.com.mx/nota.cfm?id=744048>

posibilidad de difundir varios programas sobre una misma frecuencia. Otros sistemas de radio digital adoptados en diferentes regiones son el DAB³⁵ o DRM.³⁶

Una tendencia en el uso de los sistemas de radio a nivel internacional es el uso creciente de la radio por IP (radio por Internet). Esto resulta en una reducción de la cantidad de radioescuchas a través del medio tradicional de radiodifusión – en beneficio de otros medios alternativos – sin que se reduzca la cantidad de espectro utilizada para el servicio de radiodifusión sonora.

³⁵ Transmisión digital de audio o *digital audio broadcasting* en inglés.

³⁶ *Digital Radio Mondiale*.

3 Revisión del uso actual del espectro en México

Esta sección comienza con un análisis de los mecanismos de asignación de bandas de frecuencia que se utilizan actualmente en México (Sección 3.1). Seguidamente examinamos los principales cambios previstos en lo que respecta a las atribuciones de espectro en México (Sección 3.2).

3.1 Cómo se asigna el espectro

A continuación se explica el panorama general del espectro radioeléctrico en México, de conformidad con el marco legal aplicable, con información sobre la figura legal (concesión), los tipos de concesiones de espectro, procedimientos de asignación (licitación / asignación directa), análisis regulatorio y prospectiva.

3.1.1 Tipos de espectro según su uso y modo de asignación

Clasificación de los tipos de espectro según su uso

A grandes rasgos, el uso del espectro puede dividirse entre el uso comercial o privado y el uso público o social. No obstante, las bandas de frecuencia cuentan con una clasificación más ampliada según su uso:

- **Espectro determinado** – Son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público.
- **Espectro libre** – Son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el ente regulador, sin necesidad de concesión o autorización.
- **Espectro protegido** – El espectro protegido es el espectro atribuido a nivel mundial y regional a los servicios de radionavegación y aquellos relacionados con la seguridad pública, así como cualquier otro que deba ser protegido conforme a los tratados y acuerdos internacionales. El ente regulador llevará a cabo las acciones necesarias para garantizar la operación de dichas bandas de frecuencia en condiciones de seguridad y libre de interferencias perjudiciales.
- **Espectro reservado** – Es aquél cuyo uso se encuentre en proceso de planeación y, por tanto, es distinto al determinado, libre o protegido.

Clasificación del espectro según su modo de asignación

Además de la clasificación del espectro según su modo de uso se puede llevar a cabo otra clasificación según cómo se ha llevado a cabo el otorgamiento del mismo. Según la clasificación definida en el punto anterior, esta clasificación quedaría encuadrada dentro del espectro determinado.

Con la Reforma Constitucional en Materia de Telecomunicaciones y la publicación de la LFTyR se ha creado un nuevo régimen de concesiones bajo el cual está incluida la concesión de espectro radioeléctrico. En los siguientes apartados se describe a grandes rasgos los modos de asignación de espectro en México.

Existen dos métodos de asignación de espectro:

► *Licitación pública (uso comercial o privado)*

Las concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico para uso comercial o privado se otorgarán únicamente a través de un procedimiento de licitación pública previo pago de una contraprestación, para lo cual se deberán observar los criterios previstos en la Constitución, entre ellos:

- 1) Para el otorgamiento de concesiones en materia de telecomunicaciones, el Instituto puede tener en cuenta, entre otros, los siguientes factores:
 - i) propuesta económica
 - ii) cobertura, calidad e innovación
 - iii) favorecimiento de menores precios en los servicios al usuario final
 - iv) prevención de fenómenos de concentración que irían contra el interés público
 - v) posible entrada de nuevos competidores al mercado
 - vi) consistencia con el programa de concesión,
- 2) Para el otorgamiento de concesiones en materia de radiodifusión, el Instituto tomará en cuenta los incisos i), ii), iv), v) y vi). De forma adicional, se deberá considerar que el proyecto de programación sea consistente con los fines para los que se solicita la concesión, que promueva e incluya la difusión de contenidos nacionales, regionales y locales, y cumpla con las disposiciones aplicables.

► *Asignación directa (uso público o social)*

Las concesiones sobre el espectro radioeléctrico para uso público o social se otorgarán mediante asignación directa hasta por 15 años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales. Bajo esta modalidad de concesiones no se podrán prestar servicios con fines de lucro, ni compartir el espectro radioeléctrico con terceros. Lo anterior, sin perjuicio de la multiprogramación de las concesiones de radiodifusión en la que se podrá ofrecer capacidad a terceros.

Las dependencias y entidades del Ejecutivo Federal podrán compartir entre ellas las bandas de frecuencia concesionadas para los fines a los que fueron concesionados, previa autorización del Instituto. Las solicitudes de autorización de cesión relacionadas con bandas de frecuencia necesarias para la seguridad serán analizadas en forma prioritaria.

El Instituto garantizará la disponibilidad de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico o capacidad de redes para el Ejecutivo Federal para seguridad nacional, seguridad pública, conectividad de sitios públicos y cobertura social, y demás necesidades, funciones, fines y objetivos a su cargo. Para tal efecto, otorgará de manera directa, sin contraprestación, con preferencia sobre terceros, las concesiones de uso público necesarias, previa evaluación de su consistencia con los principios y objetivos que establece la Ley para la administración del espectro radioeléctrico, el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico y el programa de bandas de frecuencia.

3.1.2 Tipos de concesiones en México

Los Lineamientos Generales para el Otorgamiento de las Concesiones (LGOC) tienen por objeto establecer los términos y requisitos que deberán acreditar ante el Instituto los interesados en obtener una concesión de las previstas en la Ley.

Los Lineamientos establecen el concepto de “Interesado” como la persona física o moral, dependencia, entidad o institución pública, o Comunidad Integrante de un Pueblo Indígena que pretenda obtener cualquiera de las concesiones a las que se refieren los Lineamientos, ya sea por su propio derecho o a través de su representante legal debidamente facultado para ello.

Tipos de concesiones

Con base en los Lineamientos, a continuación se exponen los tipos de concesiones de espectro radioeléctrico:

- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso comercial** – Espectro radioeléctrico que confiere el derecho a personas físicas o morales para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de uso determinado, con fines de lucro.
- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso público** – Espectro radioeléctrico que confiere el derecho a los Poderes de la Unión, de los Estados, los órganos de Gobierno del Distrito Federal, los Municipios, los órganos constitucionales autónomos y las instituciones de educación superior de carácter público para usar y aprovechar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico para el cumplimiento de sus fines y atribuciones. También podrán ser otorgadas este tipo de concesiones a los concesionarios o permisionarios de servicios públicos, distintos a los de telecomunicaciones o de radiodifusión, cuando éstas sean necesarias para la operación y seguridad del servicio público de que se trate. En este tipo de concesiones no se podrán usar, aprovechar o explotar con fines de lucro, bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de uso determinado o para la ocupación o explotación de recursos orbitales. De lo contrario deberán obtener una concesión para uso comercial.

- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso privado** – Concesión de espectro radioeléctrico que confiere el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de uso determinado, con propósitos de comunicación privada, experimentación, comprobación de viabilidad técnica y económica de tecnologías en desarrollo, pruebas temporales de equipos o radioaficionados, así como para satisfacer necesidades de comunicación para embajadas o misiones diplomáticas que visiten el país y sin fines de explotación comercial.
- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso social** – Concesión de espectro radioeléctrico para prestar servicios de telecomunicaciones o radiodifusión, que se podrá otorgar a personas físicas u organizaciones de la sociedad civil con propósitos culturales, científicos, educativos o a la comunidad, sin fines de lucro.
- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso social comunitario** – Concesión de espectro radioeléctrico para uso social que se podrá otorgar a organizaciones de la sociedad civil que tengan un vínculo directo o coordinación con la comunidad en la que se prestará el servicio y que estén constituidas bajo los principios de participación ciudadana directa, convivencia social, equidad, igualdad de género y pluralidad.
- **Concesión de espectro radioeléctrico para uso social indígena** – Concesión de espectro radioeléctrico para uso social que se podrá otorgar a Comunidades Integrantes de un Pueblo Indígena del país y tendrán como fin la promoción, desarrollo y preservación de sus lenguas, su cultura, sus conocimientos promoviendo sus tradiciones, normas internas y bajo principios que respeten la igualdad de género, permitan la integración de mujeres indígenas en la participación de los objetivos para los que se solicita la concesión y demás elementos que constituyen las culturas e identidades indígenas.

Cómo se definen las condiciones de las concesiones

Dentro del ámbito de sus atribuciones, el Instituto elabora los modelos de títulos de concesión. Hasta el momento, debido a un mandato de la Reforma en Telecomunicaciones (fracción VI del artículo octavo transitorio) es posible conocer en el Registro Público de Concesiones³⁷ el contenido de la concesión de espectro radioeléctrico con las condiciones aplicables al objeto de la licitación pública.

En tal virtud, el Instituto diseñará las condiciones específicas de los títulos de concesión de espectro y se darán a conocer caso por caso con adecuaciones dependiendo de las frecuencias y del servicio a prestar. Hasta el momento no se conoce si existirá un modelo único de título de concesión de espectro.

³⁷ Ver <http://rpc.ift.org.mx/rpc/>

Es importante señalar que la LFTyR establece que las bases de licitación pública deben incluir el modelo de título de concesión. Asimismo, para dar mayor claridad, la LFTyR establece el contenido mínimo del título de concesión para usar, aprovechar o explotar el espectro radioeléctrico para uso comercial o para uso privado:

- el nombre y domicilio del concesionario
- la banda de frecuencias objeto de concesión, sus modalidades de uso y zona geográfica en que deben ser utilizadas
- el período de vigencia
- las especificaciones técnicas del proyecto
- los programas y compromisos de inversión, calidad, de cobertura geográfica, poblacional o social, de conectividad en sitios públicos y de contribución a la cobertura universal que, en su caso, determine el Instituto, para lo cual considerará las propuestas que formule anualmente la Secretaría conforme a los planes y programas respectivos
- las contraprestaciones que deberán enterarse a la Tesorería de la Federación por el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico
- los demás derechos y obligaciones de los concesionarios.

Para la adecuada planeación, administración y control del espectro radioeléctrico y para su uso y aprovechamiento eficiente, el Instituto deberá mantener actualizado el CNAF con base en el interés general. El Instituto deberá considerar la evolución tecnológica en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, particularmente la de radiocomunicaciones y la reglamentación en materia de radiocomunicaciones de la UIT.

En ese sentido, las concesiones de espectro radioeléctrico deben considerar principalmente la evolución tecnológica y la reglamentación en la UIT, específicamente de la CMR, en la cual participan los diversos sectores de la industria, gobierno y academia para determinar las diversas posturas.

3.1.3 Uso del espectro asignado de manera individual y uso compartido

En el CNAF se establece la atribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico a uno o más servicios de radiocomunicaciones de acuerdo a las siguientes categorías:

- **A título primario** – El uso de las bandas de frecuencia contarán con protección contra interferencias perjudiciales.
- **A título secundario** – El uso de las bandas de frecuencia no debe causar interferencias perjudiciales a los servicios que se prestan mediante bandas de frecuencia otorgadas a título primario, ni podrán reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estas últimas.

En ese sentido, la LFTyR incorpora las categorías que permiten establecer el uso compartido del espectro. Por esa razón, esta nueva modalidad habrá de determinarse por el Instituto a efecto de estimar cuánto espectro es asignado de manera compartida.

Por otro lado, la LFTyR establece otro instrumento que permite el mercado secundario de espectro, la cual también incluye el arrendamiento de espectro, por lo que se ha establecido una consulta pública del “Anteproyecto de Lineamientos Generales sobre la Autorización de Arrendamiento de Espectro Radioeléctrico”.³⁸

Los concesionarios podrán dar en arrendamiento únicamente bandas de frecuencia concesionadas para uso comercial o privado, éstas últimas destinadas a la comunicación privada, previa autorización del ente regulador.

El Instituto impulsará el mercado secundario de espectro, observando los principios de fomento a la competencia, eliminación de barreras a la entrada de nuevos competidores y uso eficiente del espectro.

3.2 Principales cambios previstos en las atribuciones de espectro en México

El gobierno mexicano planea implementar una serie de cambios en los procesos de asignación de espectro para lograr que se haga un uso más eficiente de este recurso. Resumimos a continuación las decisiones más destacables:

- **Licitación de espectro adicional en la banda AWS para banda ancha móvil** – México tiene previsto licitar en enero de 2016 hasta 80MHz en la banda AWS actualmente libres, 30MHz del sub-segmento 1710–1725MHz / 2110–2125MHz, 30MHz del sub-segmento 1755–1770MHz / 2155–2170MHz y otros 20MHz en el rango 1770–1780MHz / 2170–2180MHz para la provisión de servicios de banda ancha móvil. Además, este proceso busca liberar parte de la banda AWS que actualmente está siendo utilizada para la provisión de servicios fijos de enlaces punto a punto con el objetivo de promover la competencia en el mercado de banda ancha móvil en todo el territorio nacional. Se espera que los tres principales operadores móviles participen en la licitación y que el espectro adquirido sea utilizado para expandir las redes 4G en el país.
- **Licitación de espectro en la banda de 2500–2690MHz para banda ancha móvil** – México tiene previsto licitar 130MHz del espectro en esta banda de frecuencias para aplicaciones de banda ancha móvil. En la actualidad, la banda de 2500–2690MHz está ocupada en su mayoría por tecnologías de acceso inalámbrico (generalmente WiMAX).³⁹

³⁸ Ver <http://www.ift.org.x/industria/consultas-publicas/consulta-publica-del-anteproyecto-de-lineamientos-generales-sobre-la-autorizacion-de-arrendamiento>

³⁹ Fuente: Documento compartido por el IFT, *Comunicación móvil – actual y planeación v2*, en el que se señalan las tecnologías WiMAX y MMDS en el segmento. Dado que no se utiliza ya MMDS, destacamos la tecnología WiMAX en el segmento.

- **Apagón de la televisión analógica** – El apagón de la televisión analógica en México está programado para finales de 2015. Tras el apagón analógico, la TDT quedará alojada principalmente entre las frecuencias 470–698MHz, donde también estaban alojados parte de los canales analógicos.
- **Banda ancha móvil en la banda de 700MHz** – Con el dividendo digital en la banda de 700MHz se utilizarán 90MHz de espectro en esta banda para la provisión de servicios de banda ancha móvil. El espectro liberado será gestionado por el operador de la Red Pública Compartida de Telecomunicaciones (RPCT) para ofrecer servicios mayoristas de banda ancha móvil, con el objetivo de ayudar a reducir la brecha digital, especialmente en las zonas de cobertura más deficiente del país. Se espera que esta banda se licite a finales del primer semestre de 2016 y entre en operación en el año 2018.

Otros de los cambios previstos por el gobierno mexicano en materia de espectro tienen una fecha objetivo pero no están todavía concretados. Destacamos los siguientes:

- **Segundo dividendo digital en la banda de 600MHz** – Se espera que el segundo dividendo digital ocurra en México en el periodo 2018–2020. Esto supondría reubicar los canales de la TDT actualmente ubicados en la banda de 614–698MHz a frecuencias más bajas en VHF y UHF (470–608MHz). Los nuevos canales de televisión que se concesionen en el futuro no se asignarán en la banda de 600MHz y lo harán ya en el rango 470–608MHz para facilitar el futuro segundo dividendo digital. La liberación de estas frecuencias supondría la ocupación de la banda de 614–698MHz por servicios de banda ancha móvil.

Finalmente, el gobierno mexicano ha planteado un conjunto de acciones en materia de espectro que no han sido confirmadas y no cuentan con una fecha objetivo. Al respecto, cabe destacar que la probabilidad de que las acciones planteadas se lleven a cabo depende en mayor o menor medida de la consecución de las acciones descritas en los párrafos anteriores. Entre ellas destacamos las siguientes:

- **Reasignación de la banda de 400MHz** – El gobierno mexicano pretende otorgar frecuencias para la provisión de servicios de banda ancha. En la actualidad, los segmentos 453–457.475MHz y 463–467.475MHz se utilizan para telefonía rural (FONCOS) con tecnología CDMA 450. La atribución que se le dará a este rango de frecuencias está todavía siendo analizada, pero un servicio potencial puede ser la banda ancha móvil, posiblemente en zonas rurales dada la buena propagación de las ondas de radio en frecuencias bajas. Por otro lado, se prevé que parte de los servicios de *trunking* que utilizan actualmente la banda de 800MHz (concretamente los segmentos 806–821MHz y 851–866MHz) serán reubicados a la banda de 400MHz (410–420 / 420–430MHz).

- **Modificaciones en la asignación en la banda de 800MHz** – La reubicación de ciertos servicios al segmento 410–430MHz liberaría espectro en la banda de 800MHz. El plan inicial para esta banda es migrar el servicio de *trunking* de seguridad pública de los 821–824MHz a los 806–809MHz. Así, se crearía espacio libre para atribuir el rango 814–824MHz / 859–869MHz para servicios de banda ancha.
- **Reutilización de la banda de 1400MHz** – En la actualidad, una parte importante de la banda de 1400MHz (1452–1492MHz) está asignada a servicios fijos y de radiodifusión sonora (radio) por satélite. Sin embargo, no está previsto su uso en México. Dada su infrautilización, dicha banda podría quedar también destinada a la banda ancha móvil, con un rango más amplio, 1427–1518MHz.

Anexo A: Diferencias entre las asignaciones de espectro en México y las recomendaciones de la UIT para la Región 2 en las principales bandas espectrales

La tabla que sigue muestra las diferencias existentes entre las asignaciones de espectro atribuidas en México en el CNAF 2015 y las recomendadas por la UIT para la Región 2 en las bandas de frecuencia VHF y UHF, al ser estas las bandas espectrales que cubren la mayoría de los servicios analizados en el presente informe. Para su diferenciación, los servicios primarios son mostrados en la tabla en mayúsculas y los secundarios en minúsculas tal y como se hace en el CNAF.

En términos generales, las diferencias entre las recomendaciones de la UIT para la Región 2 y las atribuciones en México son limitadas. En la mayor parte de los casos la diferencia estriba en que en México no se incluye la totalidad de los servicios recomendados por la UIT, en particular en el caso de los servicios secundarios. Llama la atención que en el actual CNAF, en la banda de 600MHz (608–698MHz), y a diferencia de la recomendación de la UIT, México no incluye el servicio de radiodifusión, cuando todavía no ha tenido lugar el llamado segundo dividendo digital. Esto se debe a la intención de México de utilizar la banda de 600MHz para servicios de banda ancha móvil en el corto plazo.

Figura 3.1: Diferencias entre las asignaciones de espectro en México y las recomendaciones de la UIT en las bandas VHF y UHF [Fuente: UIT, IFT, 2015]

Rango de frecuencias	Comentario
137–138MHz	México no incluye en este segmento la atribución al servicio fijo, móvil salvo móvil aeronáutico y OPERACIONES ESPECIALES
149.9–150.05MHz	México atribuye este segmento solamente al SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE, mientras que la UIT también incluye la RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE
156.7625–156.7875MHz	México no incluye el MÓVIL SATELITAL al MÓVIL MARÍTIMO, cuando ambos servicios son recomendados por la UIT
156.8125–156.8375MHz	México no incluye el MÓVIL SATELITAL al MÓVIL MARÍTIMO, cuando ambos servicios son recomendados por la UIT
161.9625–161.9875MHz	México no atribuye en este segmento el SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE que sí recomienda la UIT junto con el MÓVIL AERONÁUTICO y MÓVIL MARÍTIMO
162.0125–162.0375MHz	México no atribuye en este segmento el SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE que sí recomienda la UIT junto con el MÓVIL AERONÁUTICO Y MARÍTIMO
267–273MHz	México no atribuye en este segmento el servicio de operaciones especiales, tal y como recomienda la UIT junto con el servicio FIJO y MÓVIL
399.9–400.05MHz	México sólo atribuye este segmento al SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE, mientras que la UIT también incluye la RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE
400.15–401MHz	México no incluye el servicio de operaciones especiales junto a los otros cuatro servicios recomendados por la UIT
401–402MHz	México no atribuye en este segmento el servicio de OPERACIONES ESPECIALES, el servicio fijo y el servicio móvil salvo móvil aeronáutico junto a los otros tres servicios recomendados por la UIT

Rango de frecuencias	Comentario
402–403MHz	México no incluye los servicios fijo y móvil salvo móvil aeronáutico junto a los otros tres servicios recomendados por la UIT
403–406MHz	México sólo atribuye este segmento a AYUDAS A LA METEOROLOGÍA, mientras que la UIT también incluye los servicios fijo y móvil salvo móvil aeronáutico
406.1–410MHz	México sólo atribuye este segmento al servicio FIJO, mientras que la UIT también incluye el servicio MÓVIL salvo móvil aeronáutico y RADIOASTRONOMÍA
410–420MHz	México no incluye la atribución al servicio FIJO en este segmento junto con los demás servicios recomendados por la UIT
420–430MHz	México no incluye la atribución al servicio FIJO en este segmento junto con los otros dos servicios recomendados por la UIT
432–438MHz	México no incluye la atribución al servicio de exploración de la Tierra por satélite en este segmento junto con los demás servicios recomendados por la UIT
438–440MHz	A diferencia de la UIT, México incluye la atribución al servicio MÓVIL salvo móvil aeronáutico. Por otro lado, mientras la UIT recomienda la RADIOLOCALIZACIÓN como servicio primario, MÉXICO lo atribuye como secundario
450–470MHz	México atribuye toda la banda al servicio MÓVIL, mientras que la UIT realiza varias particiones del espectro en estos 20MHz. Además del servicio móvil, la UIT también incluye el servicio FIJO, el servicio MÓVIL POR SATÉLITE o el servicio de meteorología por satélite
614–698MHz	México no incluye la RADIODIFUSIÓN junto a los otros dos servicios recomendados por la UIT (FIJO y MÓVIL)
698–806MHz	México no incluye la RADIODIFUSIÓN junto a los otros dos servicios recomendados por la UIT (FIJO y MÓVIL)
806–890MHz	Mientras que en México sólo se atribuye esta banda a servicios móviles (MÓVIL Y MÓVIL AERONÁUTICO), la UIT no incluye el MÓVIL AERONÁUTICO (primario en México) y sí incluye el servicio FIJO
890–902MHz	Mientras que en México sólo se atribuye esta banda a servicios móviles (MÓVIL Y MÓVIL AERONÁUTICO), la UIT incluye el servicio MÓVIL, el servicio FIJO y el servicio de radiolocalización
1452–1492MHz	Mientras que México atribuye la banda de 1429–1418MHz solamente a los servicios FIJO y MÓVIL, la UIT incluye además en este sub-segmento los servicios de RADIODIFUSIÓN y RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE
1518–1535MHz	Mientras que México atribuye toda esta banda al servicio MÓVIL POR SATÉLITE, la UIT parte estas frecuencias en sub-segmentos en los que además incluyen el servicio MÓVIL (secundario en el sub-segmento 1530-1535MHZ), FIJO(secundario en el sub-segmento 1530-1535MHZ), OPERACIONES ESPECIALES y exploración de la Tierra por satélite
1660.5–1668MHz	México sólo atribuye este segmento a la INVESTIGACIÓN ESPACIAL y RADIOASTRONOMÍA, mientras que la UIT también incluye los servicios fijo y móvil salvo móvil aeronáutico
1668–1668.4MHz	México no atribuye este segmento a los servicios fijos y móvil salvo móvil aeronáutico junto a los otros tres servicios recomendados por la UIT
1668.4–1670MHz	México no atribuye este segmento a los servicios FIJOS y MÓVIL salvo móvil aeronáutico junto a los otros tres servicios recomendados por la UIT
1670–1675MHz	México no incluye en este segmento los servicios FIJO y MÓVIL junto a los otros tres servicios recomendados por la UIT
1675–1690MHz	México no incluye en este segmento los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico junto a los otros dos servicios recomendados por la UIT

Rango de frecuencias	Comentario
1930–2000MHz	México atribuye toda esta banda al servicio MÓVIL, mientras que la UIT también incluye los servicios FIJOS y MÓVIL por satélite
2025–2100MHz	México no atribuye esta banda al servicio de OPERACIONES ESPECIALES junto con los otros cuatro servicios recomendados por la UIT
2100–2180MHz	México atribuye toda esta banda al servicio MÓVIL, mientras que la UIT también incluye el servicio FIJO, el servicio de INVESTIGACIÓN ESPACIAL y el SERVICIO (en el sub-segmento 2110-2120MHz) MÓVIL POR SATÉLITE (principal en los sub-segmentos 2160-2150MHz y 2170-2180MHz y servicio secundario en el sub-segmento 2120-2160MHz)
2290–2300MHz	México no incluye en este segmento la atribución al servicio MÓVIL salvo móvil aeronáutico junto con los demás servicios recomendados por la UIT
2483.5–2500MHz	México no atribuye esta banda a la RADIOLOCALIZACIÓN, el servicio MÓVIL y el FIJO junto con los otros dos servicios recomendados por la UIT
2500–2690MHz	México sólo atribuye a este segmento los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, pero la UIT divide la banda de frecuencias en sub-segmentos, incluyendo además el servicio de RADIODIFUSIÓN SATELITAL y el servicio SATELITAL FIJO, el servicio FIJO, el servicio de radioastronomía, de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite

Anexo B: Rango de frecuencias considerado en el estudio

El rango de frecuencias analizado en el presente estudio está en línea con las especificaciones recibidas del IFT, e incluye además una serie de frecuencias adicionales que hemos considerado oportuno destacarlas.

Figura 3.2: Rango de frecuencias considerado en el presente estudio [Fuente: Analysys Mason, 2015]

Tipo de servicio	Rango de frecuencias
Servicios de radiodifusión satelital (incluyendo DTH)	<ul style="list-style-type: none"> 12 200–12 700MHz / 17 300– 17 800MHz
Servicios fijos satelitales	<ul style="list-style-type: none"> Banda C: 3700–4200MHz / 5925–6425MHz Banda Ku: 11 700–12 200MHz / 14 000–14 500MHz Banda Ka: 17.7–21.2GHz / 27.5–31GHz
Acceso inalámbrico celular / banda ancha (voz y SMS)	<ul style="list-style-type: none"> Banda 850MHz: 824–849MHz / 869–894MHz Banda AWS: 1710–1780MHz / 2155–2180MHz Banda PCS: 1850–1910MHz / 1930–1990MHz Banda 2.5MHz FDD: 2500–2570MHz / 2620–2690MHz Banda 2.5MHz TDD: 2570–2620MHz
Acceso inalámbrico celular / banda ancha (banda ancha)	<ul style="list-style-type: none"> Banda 700MHz: 703–748MHz / 758–803MHz Banda 850MHz: 824–849MHz / 869–894MHz Banda AWS: 1710–1780MHz / 2155–2180MHz Banda PCS: 1850–1910MHz / 1930–1990MHz Banda 2.5MHz FDD: 2500–2570MHz / 2620–2690MHz Banda 2.5MHz TDD: 2570–2620MHz
Enlaces fijos (punto a punto / punto a multipunto)	<ul style="list-style-type: none"> 400–3700MHz 725–5850MHz 110–7725MHz 10.15–10.65GHz 14.5–15.35GHz 21.2–23.6GHz 37–38.6GHz 71–76MHz / 81–86MHz
Radio móvil terrestre (PMR – PAMR)	<ul style="list-style-type: none"> 136–174MHz 380–399.9MHz 410–430MHz 440–450MHz 806–814MHz / 851–859MHz
Radiodifusión terrestre (TDT)	<ul style="list-style-type: none"> 54–72MHz 76–88MHz 174–216MHz 470–608MHz
Radiodifusión sonora terrestre (AM – FM y digital)	<ul style="list-style-type: none"> 88–108MHz
Radiodifusión sonora terrestre (radio – AM)	<ul style="list-style-type: none"> 535–1705kHz

Anexo C: Glosario

ACMA	Autoridad Australiana de Telecomunicaciones y Medios Audiovisuales (del inglés <i>Australian Communications and Media Authority</i>)
AM	Amplitud modulada
APCO	Asociación de Funcionarios Públicos de Seguridad en Comunicaciones Internacionales – Proyecto 25 (del inglés <i>Association of Public Safety Communication Officials – Project 25</i>)
ATSC	Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (del inglés <i>Advanced Television System Committee</i>)
AWS	Servicio inalámbrico avanzado (del inglés <i>advanced wireless service</i>)
CA	Agregación de portadoras (del inglés <i>carrier aggregation</i>)
CDMA	Acceso múltiple por división de código (CDMA, del inglés <i>code division multiple access</i>)
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
DAB	Transmisión digital de audio (del inglés <i>digital audio broadcasting</i>)
DARS	Radiodifusión sonora digital vía satélite (del inglés <i>digital audio radio service</i>)
DRM	Digital Radio Mondiale
DTH	Direct to home
EHF	Frecuencia extremadamente alta (del inglés <i>extremely high frequency</i>)
EUA	Estados Unidos de América
FDD	Multiplexación por división de frecuencia (del inglés <i>frequency division multiplexing</i>)
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia (del inglés <i>frequency division multiple access</i>)
FM	Frecuencia modulada
GPRS	Servicio general de paquetes de radio (del inglés <i>general packet radio service</i>)
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles (del inglés <i>Global System for Mobile Communications</i>)
GSMA	GSM Assosiation
HD	Alta definición (del inglés <i>high definition</i>)
HSDPA	Acceso de alta velocidad para acceso a paquetes en el enlace descendente (del inglés <i>high-speed downlink packet access</i>)
HSPA	Acceso de alta velocidad para acceso a paquetes (del inglés <i>high-speed packet access</i>)
IBOC	<i>In-band-on-channel</i>
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones

IMS	<i>IP multimedia subsystem</i>
IP	Protocolo de Internet (del inglés <i>Internet protocol</i>)
IPTV	Televisión a través del protocolo de Internet (del inglés <i>Internet protocol televisión</i>)
LGOC	Lineamientos Generales para el Otorgamiento de las Concesiones
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTR	<i>Logic Trunked Radio</i>
MIMO	<i>Multiple-input multiple-output</i>
MMDS	Sistema de distribución multicanal por microondas (del inglés <i>multichannel microwave distribution systems</i>)
PAMR	Sistema de radiocomunicaciones móviles de acceso privado (del inglés <i>private access mobile radio</i>)
PCRF	<i>Policy and charging rules function</i>
PCS	Servicio de comunicaciones personales (del inglés <i>personal communications system</i>)
PMR	Sistema de radiocomunicaciones móviles privado (del inglés <i>private mobile radio</i>)
POG	Posición orbital geoestacionaria
RPCT	Red Pública Compartida de Telecomunicaciones
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SMS	Servicios de mensajería corto (del inglés <i>short message service</i>)
SVRCC	Single radio voice calls
TDD	Duplexación por división de tiempo (del inglés <i>time division duplexing</i>)
TDT	Televisión digital terrestre
TETRA	Radio troncal terrestre (del inglés <i>terrestrial trunked radio</i>)
UHF	Frecuencia ultra alta (del inglés <i>ultra high frequency</i>)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Sistema universal de telecomunicaciones móviles (el inglés <i>universal mobile telecommunications system</i>)
VHF	Frecuencia muy alta (del inglés <i>very high frequency</i>)

**Informe para el Instituto Federal
de Telecomunicaciones (IFT)**

**Evaluación de los factores
que impactan en el uso
eficiente del espectro**

03 de noviembre de 2015

Joan Obradors, Janette Stewart,
Daniel Ponte Fernández, Gonzalo
Fernández Caballero, William Webb

Referencia: 2005111-422

Índice

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes del estudio	1
1.2	Estructura del documento	2
2	Definición del concepto de eficiencia espectral	3
2.1	Uso regulatorio de información y métricas de eficiencia espectral	3
2.2	Definición de la eficiencia técnica en el uso del espectro	5
2.3	Aplicación de la métrica para diferentes usos del espectro	10
2.4	Comparación de la eficiencia espectral para distintos servicios	15
2.5	Impacto del funcionamiento del receptor	18
2.6	Resumen de las medidas propuestas	19
3	Métricas de eficiencia espectral para una gestión óptima del espectro	23

Anexo A: Casos de estudio sobre inventarios de usos del espectro y definición de métricas de eficiencia espectral

Annex B Glosario

Confidencialidad: El presente documento es estrictamente confidencial, y para uso exclusivo del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT).

Copyright © 2015. Todo el material incluido en el presente documento es propiedad de Analysys Mason Limited y el cliente se obliga a respetar la naturaleza confidencial del mismo, y a no copiar, publicar (total o parcialmente) o divulgar dicha información, o a utilizarla para fines distintos a los indicados cuando dicha información fue facilitada.

Analysys Mason Limited
Bush House, North West Wing
Aldwych
Londres WC2B 4PJ
Reino Unido
Tel: +44 (0)20 7395 9000
Fax: +44 (0)20 7395 9001
london@analysysmason.com
www.analysysmason.com
Incorporada en Inglaterra No. 5177472

1 Introducción

El Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico que el Instituto Federal de Telecomunicaciones (en lo sucesivo “IFT” o “el Instituto”) ha propuesto al Ejecutivo busca maximizar el valor que la sociedad obtiene a partir del uso de este recurso y enlista una serie de objetivos generales asociados al desarrollo e implementación de mecanismos de mercado que promuevan una asignación óptima del espectro. Es así que el Objetivo 3 de dicho Programa, denominado “Desarrollar acciones para determinar y fomentar el uso eficiente del espectro radioeléctrico en el país”, incluye entre una de sus acciones la elaboración de métricas de eficiencia espectral de observancia obligatoria.

Derivado de ello, el Programa Anual de Trabajo 2015 del Instituto contempla la realización de un estudio de métricas de eficiencia espectral que coadyuve a dar cumplimiento al artículo 15, fracción XLVIII de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR), señalando como fecha de conclusión del mismo el mes de diciembre de 2015.

Es en este contexto que el Instituto ha contratado a Analysys Mason Limited (en lo sucesivo “Analysys Mason”) para coadyuvar con el Instituto en la definición de los elementos que formarán parte de las métricas de eficiencia espectral, así como las metodologías de medición que permitan cuantificarlas.

El proyecto tiene dos objetivos principales:

- identificar métricas de eficiencia espectral para asegurar que el espectro radioeléctrico sea utilizado de manera racional y eficiente, y
- formular recomendaciones sobre cómo la medición de dichas métricas puede contribuir a conseguir un mejor aprovechamiento del espectro en México y promover una asignación óptima del mismo.

Este documento es la segunda parte del primer entregable del proyecto y analiza los factores principales que impactan en el uso eficiente del espectro. La primera parte del entregable presenta una revisión del uso del espectro en México.

1.1 Antecedentes del estudio

El espectro radioeléctrico es un recurso escaso con un creciente valor social y económico. Los sistemas inalámbricos dependen para su operación de este recurso, por lo que es necesario promover un uso eficiente del mismo. Esta responsabilidad suele recaer en los organismos encargados de regular el uso del espectro, asegurando su óptima utilización y gestión para el beneficio de la sociedad en general.

La demanda de espectro para servicios inalámbricos está creciendo en todos los servicios de manera generalizada. Por ello, los reguladores deben ser capaces de responder a esta demanda, bien sea incrementando la cantidad de espectro disponible (reasignando el uso del espectro para el que originalmente fue concesionado), o bien habilitando nuevas formas de acceder al espectro,

como por ejemplo fomentando la compartición del mismo. Esto requiere un sólido conocimiento no sólo de las asignaciones que se aplican a las diferentes bandas de frecuencia, sino también cómo las bandas están siendo utilizadas y si su utilización se está realizando de manera eficiente, a fin de poder identificar qué bandas están siendo infrautilizadas o en qué casos sería viable la compartición de espectro.

Por tal motivo, si bien muchos reguladores se esfuerzan en conseguir una mayor eficiencia en el uso del espectro, pocos la reportan o la utilizan como una consideración primordial en su toma de decisiones. De igual forma, tampoco existe un solo tipo de métrica de eficiencia espectral, ya que cada sistema utiliza el espectro de diferente manera. No obstante, es posible definir métricas para evaluar el nivel de eficiencia en el uso del espectro, y al mismo tiempo proporcionar las bases para una comparativa de los distintos usos que se hace del espectro (siempre y cuando se apliquen con cautela).

Este documento presenta una discusión inicial sobre cómo podría definirse el concepto de “eficiencia espectral” en sistemas de radiocomunicaciones inalámbricos. Cabe notar que el concepto de eficiencia espectral usado en este informe hace referencia principalmente a una métrica técnica, ya que éste es el principal enfoque del estudio. La mayoría de los reguladores también tienen en cuenta otros factores relacionados con el uso del espectro en su toma de decisiones sobre la gestión de este recurso – de manera notable, factores relacionados con el concepto de eficiencia económica (por ejemplo, servicios que compiten por las mismas bandas de frecuencia, o el impacto económico de los diferentes usos del espectro), la elección tecnológica y consideraciones de costos (por ejemplo, qué tecnología utilizar en una banda de frecuencia en específico, el nivel de calidad de servicio ofrecida, el costo de los terminales y su disponibilidad, etc.). En futuros entregables la definición de eficiencia espectral tendrá en cuenta otros factores, como el costo de los equipos, el nivel de demanda, etc.

1.2 Estructura del documento

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

- La *Sección 2* describe cómo puede definirse el concepto de eficiencia espectral y cómo pueden determinarse las métricas de eficiencia espectral en sistemas de telecomunicaciones móviles.
- La *Sección 3* resume los principales hallazgos del análisis realizado en el contexto del presente informe sobre cómo la medición de las métricas definidas pueden ayudar al Instituto a lograr una gestión más eficiente del espectro y alcanzar sus objetivos en materia de política pública y regulación.

El informe consta de dos anexos que contienen información de soporte:

- El *Anexo A* presenta brevemente una serie de casos de estudio sobre métricas de eficiencia espectral utilizadas por otros reguladores nacionales y regionales.
- El *Anexo B* incluye una lista de los acrónimos utilizados a lo largo de este documento.

2 Definición del concepto de eficiencia espectral

En esta sección del informe analizamos cómo la eficiencia espectral puede ser definida en términos técnicos, junto con algunas consideraciones generales que se deben tener en cuenta al comparar el grado de eficiencia en el uso de diferentes bandas de frecuencia. En un primer apartado examinamos cómo los reguladores pueden utilizar este tipo de información, y seguidamente abordamos cómo puede ser definido y medido el concepto de eficiencia espectral. La sección concluye con una serie de observaciones sobre cómo las métricas de eficiencia espectral difieren entre los diferentes tipos de sistemas.

2.1 Uso regulatorio de información y métricas de eficiencia espectral

Los reguladores toman decisiones sobre la asignación (quién posee el espectro) y atribución (uso general del espectro) de las bandas de frecuencia que gestionan. Para cada banda de frecuencia son posibles las siguientes preguntas:

- ¿Para qué se utiliza actualmente?
- ¿Hasta qué punto se está haciendo un uso eficiente de la banda de frecuencia?
- ¿Se están utilizando las frecuencias de conformidad con las obligaciones impuestas al concesionario (por ejemplo, obligaciones de cobertura, de despliegue o de velocidad, entre otras)?
- ¿Se podría contar con un uso más eficiente de las mismas?

Para determinar el uso futuro del espectro en una banda de frecuencia en específico es necesario tomar una serie de decisiones clave, incluidas las siguientes:

- ¿Debería ser una banda de uso libre permitiendo el acceso a todos los que deseen utilizarla?
- ¿Debería ser una banda de uso oficial para uso exclusivo del titular de la concesión?
- ¿Debería ser compartida por distintos usuarios?
- ¿Deberían imponerse restricciones en lo que respecta al uso de la banda o a la tecnología que puede desplegarse en la misma?

De hecho, en muchos casos, las bandas de frecuencia están sujetas a restricciones de uso, incluyendo:

- Armonización internacional, la cual influye en las combinaciones de bandas de frecuencia que elegirán los fabricantes de equipos para implementar en sus equipos. Aunque la armonización tiene muchos beneficios (por ejemplo, minimiza las interferencias entre países y reduce el costo de los equipos a través de las economías de escala), hace que los fabricantes de equipos sean reacios a desarrollar equipos de forma *ad hoc* que puedan operar en bandas de frecuencia que no hayan sido internacionalmente armonizadas.

- Armonización del uso del espectro a nivel regional, en cuyo caso los reguladores suelen preferir asignar el espectro para usos similares a los países de la región.
- Uso actual del espectro, que puede ser difícil de cambiar por diversas razones, entre las que figuran las siguientes: el alto costo de reemplazo de equipos para ciertos sistemas (por ejemplo, los sistemas de radar); la necesidad de habilitar frecuencias específicas disponibles para ciertos tipos de sistemas de navegación internacional (por ejemplo, GPS); la necesidad de atender a sistemas que requieren el uso protegido de la banda de frecuencia (por ejemplo, sistemas aeronáuticos en los que los sistemas necesitan operar bajo un espectro atribuido a servicios aeronáuticos móviles para operar en el espacio aéreo de países diferentes); y/o la necesidad de operar de acuerdo con los estándares internacionalmente acordados (como es el caso de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)).

Adicionalmente, cabe notar que a la hora de cumplir con los objetivos de gestión del espectro a nivel internacional hay otras cuestiones que van más allá de las métricas de eficiencia espectral que cabría abordar, entre ellas las siguientes:

- ¿Cuál es la situación en México en comparación con otros países en lo que respecta al uso específico de ciertas bandas de frecuencia?
- En México, ¿sería necesaria la implantación de medidas de gestión del espectro para alinear su uso con la situación que prevalece en otros países (por ejemplo, políticas de precios, migración digital, armonización de bandas, etc.)?

Las métricas de eficiencia espectral pueden ayudar a los reguladores en la toma de decisiones sobre estos asuntos. No obstante, dichas métricas sólo pueden ser utilizadas a modo de guía al existir muchos otros factores relevantes que han de tenerse en cuenta; utilizar como métrica exclusivamente el grado de eficiencia técnica con el cual se está utilizando el recurso espectral puede acarrear la toma de decisiones inadecuadas.

El enfoque idóneo consiste en utilizar métricas de eficiencia espectral para determinar cuál sería el uso más eficiente que se podría dar al espectro en un escenario óptimo, para luego evaluar si existen factores que puedan generar problemas en su uso. Con base en ese análisis, se puede entonces tomar una decisión sobre si los factores identificados son lo suficientemente importantes como para decidir no asignar el espectro para aquel uso considerado como óptimo. Otros factores que también podrían ser relevantes son: eficiencia económica (por ejemplo, medida en términos de contribución a la economía nacional), demanda de espectro, armonización regional o internacional, consecución de los objetivos de política nacional, gestión de interferencias, aplicabilidad del espectro para usos particulares y factores tecnológicos (incluyendo consideraciones sobre las antenas, como la energía, tamaño y ubicación).

Los reguladores han considerado varias métricas de eficiencia espectral en el pasado. Cabe destacar el trabajo realizado por la *Spectrum Policy Taskforce* de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos de América (EUA), donde

el Grupo de Trabajo de Eficiencia Espectral publicó un informe en noviembre de 2002.¹ En este informe la FCC distingue entre métricas de eficiencia espectral que toman información relativa a la unidad de uso del espectro y métricas de eficiencia técnica, las cuales, según la FCC, toman en cuenta otros factores como los costos de los equipos de radio. Sin embargo, la FCC no aborda ninguno de estos dos conceptos en más detalle, destacando únicamente que podrían requerirse diferentes métricas, o diferentes formulaciones de la misma métrica, para medir el grado de eficiencia espectral según el servicio analizado. Por su parte, Ofcom (el regulador de telecomunicaciones británico) aborda temas similares en un informe publicado en enero de 2013 sobre *Métricas de atribución de espectro*.² No obstante, este informe sólo hace referencia al porcentaje del total del espectro utilizado por distintos servicios. Por tanto, no se puede extraer ninguna conclusión o mejor práctica en materia de medición de la eficiencia del espectro a partir de los estudios publicados hasta la fecha.

El Anexo A de este documento ofrece un breve resumen de los análisis realizados por una serie de reguladores internacionales sobre métricas de eficiencia espectral, incluyendo un resumen más detallado de las consideraciones planteadas por la FCC y Ofcom.

2.2 Definición de la eficiencia técnica en el uso del espectro

La eficiencia espectral puede medirse en términos de cantidad de información útil que es transferida por unidad de volumen de espectro. La información transmitida a través de un sistema de comunicación digital (que abarca la mayoría de los sistemas operativos existentes) se expresa normalmente en número de bits (o bytes), mientras que el volumen total de datos transferido se mide típicamente en bits por segundo (bit/s).

La unidad de medida del espectro radioeléctrico es el Hertz, o más comúnmente el MegaHertz (MHz). Así, la eficiencia espectral podría medirse sencillamente como el número de bit/s transferidos por MHz o bit/s/MHz.

En la mayoría de los casos es recomendable añadir a la definición una dimensión del área de cobertura. Esto es porque no todas las concesiones cubren la misma área geográfica – por ejemplo, algunas puede ser de cobertura regional y otras de cobertura nacional. Además, algunos servicios pueden ser ofrecidos sólo en ciertas zonas, como áreas urbanas, lo cual ha de tenerse en cuenta. En este caso, la unidad de medida podría traducirse en bit/s/MHz/km², y puede aplicarse a la totalidad del país o a zonas geográficas más pequeñas. Se trata de una unidad de medida genérica que podría, en principio, ser aplicada a cualquier tipo de sistema. Asimismo permite comparaciones más sencillas con otros países que publiquen métricas similares ya que, como los países presentan tamaños muy diferenciados, si no se incluyera el término km² se necesitaría realizar un trabajo adicional para poder comparar dichos países con diferentes tamaños.

¹ Ver https://www.fcc.gov/sptf/files/SEWGFfinalReport_1.doc

² Ver http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spectrum-management-strategy/annexes/Spectrum_attribution_metrics.pdf

Sin embargo, estamos recomendando que los sistemas de radiodifusión, ya sean comunicaciones satelitales o terrestres, sean medidos sin la unidad de km². Esto es debido a las siguientes consideraciones:

- Se transmite el mismo volumen de información a lo largo de la región radiodifundida (la cual puede ser local, un área de programación regional o un país entero) independientemente del tamaño del área, por lo que las comparaciones entre dichas áreas pueden seguir realizándose sin tener en cuenta el tamaño relativo del área.³
- Las comparaciones entre tecnologías de radiodifusión y telecomunicaciones, tal y como se menciona más adelante, no se pueden realizar directamente. Tener las métricas para estas dos tecnologías en términos diferentes (una en bits/s/Hz y la otra en bits/s/Hz/km²) ayuda a dejar claro que la comparación no es posible.

La implicación de este hecho es que, por ejemplo, los servicios de radiodifusión satelital se miden en bits/s/Hz, mientras que los servicios fijos satelitales (los cuales están diseñados para proveer servicios de datos diferentes a numerosos usuarios individuales) son medidos en bits/s/Hz/km². Esto tiene en cuenta el hecho de que los sistemas fijos satelitales necesitan ser dimensionados para proveer la capacidad necesaria a una serie de puntos de terminación de red dentro del área de servicio del sistema. Es decir, el sistema está diseñado para satisfacer la demanda dentro del área en cuestión, la cual varía en función de la capacidad consumida por los enlaces individuales. En cambio, un sistema de radiodifusión satelital no está específicamente diseñado según la demanda del usuario final, dado que la capacidad del sistema no se ve impactada por el número de usuarios que hacen uso del mismo. En el caso de la radiodifusión, los sistemas son diseñados para distribuir el mismo contenido a múltiples usuarios y localizaciones, por lo que la métrica apropiada no debe incluir el área cubierta. El ejemplo aquí presentado muestra que se requieren variables diferentes para medir la eficiencia espectral de distintos sistemas diferentes.

Estas unidades de medida combinan la información transmitida en un periodo de tiempo determinado, el ancho de banda y, cuando es relevante, el área de cobertura, estando en línea con la definición adoptada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en su recomendación SM.1046-2 “Definición del uso del espectro y eficiencia espectral de un sistema de radio”,⁴ donde “el factor de utilización del espectro” (U) se define como:

$$U = B * S * T$$

Donde:

- *B* es el ancho de banda (en MHz)
- *S* es el espacio geométrico (normalmente área)
- *T* es el tiempo.

³ En México la programación de una canal nacional puede variar entre estaciones que transmitan en distintas regiones.

⁴ Recomendación de la UIT-R SM.1046-2, *Definition of spectrum use and efficiency of a radio system*, aprobado en 2006 y disponible en <http://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1046-2-200605-I/en>

Siguiendo la recomendación de la UIT, para hallar la “Eficiencia en la utilización del espectro” (SUE por sus siglas en inglés) dicho factor U debe dividirse al factor M.

Donde:

- *M* es el “efecto útil obtenido con el sistema en cuestión” (para sistemas de comunicación digital asumimos que se refiere a bits de información transmitida)

Por lo tanto la Eficiencia en la utilización del espectro se define como: $SUE = \frac{M}{U}$

Aunque podría ser posible considerar métricas que contengan parámetros que se desvíen de los tipos de parámetros especificados anteriormente, es decir, utilizando variables diferentes a la información transmitida en una variable de tiempo determinada, ancho de banda y área cubierta, éstas se desviarían de la definición de la UIT. Por lo tanto, consideramos que este ejercicio no resultaría de utilidad. Cada uno de los servicios a analizar resultará en una metodología y datos de entrada distintos para poder calcular la métrica en cuestión (valores de *M*, *B*, *S* y *T*).

Independientemente del tipo de métrica utilizada, la aplicación de estas métricas de eficiencia espectral debe realizarse con cierta cautela:

- *El nivel de eficiencia puede cambiar a lo largo del tiempo* – Este punto hace referencia a las ganancias que se podrían lograr desplegando nuevas o mejores tecnologías dentro de un determinado sistema. Por ejemplo, si un operador móvil desplegara más celdas en su red móvil la capacidad de la red aumentaría y con ello la capacidad de transmisión de datos, consiguiendo un uso más eficiente del espectro. Puede resultar difícil prever la densidad de la red que un operador terminará desplegando y, por lo tanto, el nivel de eficiencia espectral que se alcanzará para un servicio determinado. Otros factores que afectarían el nivel de eficiencia alcanzado incluyen:
 - la migración a nuevas tecnologías (por ejemplo, de 3G a 4G)
 - cambios en la topología de red (por ejemplo, migración de una topología macro-celular a una jerarquía de radio bases con células más pequeñas que se superponen a las grandes)
 - el despliegue de puntos terminales adicionales, como pueden ser los correspondientes a un nuevo enlace fijo dentro de una banda de frecuencia o usuarios finales dentro de un sistema de red móvil.
- *El nivel de eficiencia variará por zona geográfica* – Este punto cubre las diferencias en la topología existente dentro de los sistemas desplegados en áreas amplias. Por ejemplo, el nivel de eficiencia suele ser más alto en áreas urbanas donde se despliegan un mayor número de celdas. En algunos casos, como es el de las redes Wi-Fi, los niveles de eficiencia pueden llegar a ser mucho más altos en áreas urbanas que en zonas rurales. La utilización de un promedio nacional puede resultar apropiado en algunos casos, pero no en otros. Por ello, es importante definir el área geográfica para la cual se quiere medir el nivel de eficiencia espectral.

- *El costo de obtener un alto nivel de eficiencia puede ser elevado* – Este punto hace referencia a consideraciones de costos relacionadas con la ganancia en eficiencia espectral que se puede llegar a obtener y si dicha ganancia estaría justificada desde un punto de vista económico. La implantación de una solución más eficiente puede requerir una fuerte inversión en redes o la utilización de terminales mucho más caros, por lo que puede no ser la opción más benéfica para el operador en cuestión. Así pues, el operador debería evaluar cuidadosamente si convendría o no implementar dicha solución si con ello se incrementa significativamente el costo por bit de datos considerando las ganancias en ingresos que dichas inversiones puedan generar con respecto a los costos incurridos. Este factor necesita ser considerado caso por caso ya que no hay una forma sencilla de evaluar si el incremento de costos compensa los potenciales beneficios. Las herramientas que se pudieran utilizar para realizar esta evaluación incluirían una evaluación económica de los beneficios que un uso particular proporcionaría a un operador, así como los beneficios que se derivarían en el caso que el espectro fuera utilizado de manera más eficiente. Si el costo de transición es mayor que el beneficio económico adicional derivado entonces no debe llevarse a cabo.

- *El concepto de eficiencia espectral no debería aplicarse como único factor a considerar* – Este punto cubre varios factores relevantes a la hora de comparar métricas entre diferentes tipos de sistemas (aunque cabe notar que éste no es el foco de interés principal del presente estudio). Por ejemplo, la eficiencia de los sistemas de enlaces fijos suele ser notablemente inferior a la de los sistemas celulares debido al número relativamente limitado de enlaces fijos, que sólo cubren áreas de extensión muy reducida de un país. Sin embargo, afirmar que los enlaces fijos deberían ser remplazados por sistemas celulares podría ser erróneo porque: i) los sistemas celulares necesitan a menudo enlaces fijos de *backhaul* para operar de manera eficiente; y ii) los enlaces fijos son a menudo desplegados en bandas de frecuencia que no son apropiadas para la provisión de comunicaciones móviles. Por esta razón, deberían evitarse o realizarse con sumo cuidado las comparaciones de eficiencia espectral entre servicios cuya arquitectura es diferente (por ejemplo, punto a multipunto y punto a punto). Estas comparaciones se incluyen, pero no están limitadas, entre:
 - servicios de radiodifusión y telecomunicaciones
 - servicios satelitales y servicios terrestres
 - servicios de enlaces fijos y celulares
 - servicios concesionados y de uso libre.

Cuando varios servicios comparten la misma banda de frecuencia, la eficiencia espectral puede medirse como el número total de bits transferido por el conjunto de servicios que hacen uso del espectro. Por ejemplo, en una banda compartida por enlaces fijos y un enlace ascendente satelital, la eficiencia espectral de cada uno de ellos se puede calcular de manera separada y después simplemente se pueden añadir numéricamente ambas medidas. Del mismo modo, si se permitiera una operación de *white spaces* en una banda de frecuencia donde opera el servicio de televisión radiodifundida, la eficiencia de este último y el uso del *white space* podrían, en principio, sumarse. Ahora bien, puesto que el uso del servicio de televisión radiodifundida se mide normalmente en bits/s/Hz y el uso del *white space* se mide en bits/s/Hz/km², uno de los dos servicios necesitaría

adaptar la medida (por ejemplo, eliminando la variable de cobertura en el caso del segundo). Esto implica que el uso compartido de la misma banda de frecuencia es normalmente más eficiente que el no compartido y si las necesidades de los concesionarios no se vean comprometidas cuando operen en el mismo espectro.

Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en las que es posible compartir el espectro de forma equitativa en términos geográficos o de alguna otra forma (como por ejemplo en división por tiempo) entre los concesionarios primarios que cuentan con necesidades diferentes de espectro (por ejemplo, en zonas urbanas y zonas rurales). Sin embargo, de nuevo esta afirmación debe tomarse con cautela. A modo de ejemplo, podría darse el caso de que la ganancia espectral para el concesionario adicional fuese menor que la pérdida de espectro para el concesionario primario en los siguientes casos: si el espectro es compartido entre concesionarios primarios; si los usos primarios y secundarios comparten el mismo ancho de banda en la misma zona geográfica; o si la compartición del espectro redujese la eficiencia de cualquiera de los usos principales del mismo, requiriendo a los concesionarios modificar sus parámetros operacionales, incurrir en mayores costos o sufrir un mayor nivel de interferencias. Es por ello que los reguladores que han implementado políticas para permitir usos secundarios de *white spaces* (por ejemplo, EUA y Reino Unido) definen de forma precisa los requerimientos de protección del uso primario del espectro (es decir, la transmisión de televisión), de tal forma que para los usos compartidos (*white spaces*) se deben diseñar terminales que aseguren que la calidad de los servicios de transmisión de televisión no se vea comprometida.

Las bandas de guarda pueden ser también un factor importante a tener en cuenta a la hora de determinar el nivel de eficiencia ya que si su tamaño es desproporcionado en relación con el ancho de banda reducirán la eficiencia espectral.⁵ En general, una división equitativa de las bandas de guarda sugeriría que ésta debería ser prorrateada a partes iguales entre los usuarios en cada lado de la banda. Por ejemplo, si la banda de guarda se encuentra entre dos usuarios, lo cual suele ser el caso, cada usuario acomodaría la mitad de la banda de guarda dentro de su asignación espectral. Sin embargo, un modo alternativo de asignar la banda de guarda entre dos usuarios sería que el nuevo entrante en la banda acomode la banda de guarda en su totalidad dentro de su asignación espectral, en vez de dividirla entre el nuevo usuario y el usuario incumbente.

Los requisitos sobre las bandas de guarda pueden incrementarse si aumenta el número de usuarios en una banda. Por ejemplo, una banda de frecuencia en la que están presentes tres operadores con 20MHz de espectro cada uno y con bandas de guarda de 10MHz a cada extremo de la banda sería de hecho una banda de 80MHz de ancho (cuando se tiene en cuenta la mitad de la banda de guarda), por lo que cada operador podría utilizar unos 27MHz. Obviamente, si el tamaño de las bandas de guarda se puede reducir a través de una cuidadosa ingeniería del espectro o a través de la mejora en el rendimiento del dispositivo, se podrá mejorar la eficiencia del espectro (siempre y

⁵

Por ejemplo, no es extraño que sistemas GSM operen en anchos de banda de 2x5MHz por operador, separados por una banda de guarda de 200kHz. Esto no se consideraría desproporcionado en términos de tamaño. Sin embargo, si el espectro GSM se dividiese en bloques más pequeños por operador (por ejemplo, 2x1MHz o menos), entonces una banda de guarda de 200kHz entre cada atribución parecería relativamente grande en comparación con el ancho de banda utilizable, por lo que se podría argumentar un uso ineficiente del espectro.

cuando no se reduzca excesivamente el rendimiento del sistema debido al incremento de la interferencia perjudicial). Las bandas de guarda geográficas, por ejemplo entre regiones o países, también deben ser consideradas.

Una problemática similar es la que plantea la necesidad de proporcionar una cierta separación geográfica entre estaciones transmisoras y receptoras de distintos servicios que operan en la misma banda o en bandas adyacentes. Al calcular los bits/s/Hz/km², la superficie total que no pueda ser utilizada por otro servicio debería ser incluida dentro de la cobertura del área del sistema que está siendo analizado aunque el operador no la utilice (o la pueda utilizar sólo con restricciones, como puede ser operar a baja potencia).

La cantidad de espectro que es utilizado por un sistema de radiocomunicaciones y que no está disponible para otros sistemas de radiocomunicaciones depende del rendimiento del transmisor y receptor. A la hora de determinar cómo podrían utilizarse las métricas de eficiencia espectral (particularmente al comparar diferentes sistemas y servicios), podría ser necesario obtener una visión completa del sistema de radiocomunicaciones objeto de estudio, incluyendo los transmisores y receptores que lo componen, lo cual se aborda en secciones ulteriores del presente informe.

2.3 Aplicación de la métrica para diferentes usos del espectro

En esta sección tratamos brevemente cómo pueden aplicarse las métricas de eficiencia espectral a diferentes categorías de sistemas inalámbricos, lo cual servirá de base para futuras discusiones con el IFT. Se ha de tener en cuenta que la eficiencia sólo se puede aplicar a una categoría y uso específico, y que no es posible tener una medida de eficiencia genérica ya que el número de bits/s debe determinarse sobre la base de una implementación real o teórica. Ahondaremos en el análisis presentado en esta sección en entregables futuros del presente estudio.

2.3.1 Sistemas satelitales (radiodifusión y servicios fijos)

Los servicios satelitales comprenden un amplio rango de servicios (para mayor detalle, ver el informe correspondiente al Componente 1 del presente estudio). Dentro de este grupo se distinguen principalmente tres tipos de sistemas: radiodifusión por satélite, servicios satelitales fijos y servicios satelitales móviles. Estos sistemas tienen características muy diferentes, por lo que cabría definir una métrica de eficiencia espectral para cada uno de ellos.

El nivel de eficiencia espectral de los sistemas de radiodifusión (bien sea por satélite o terrestres) es relativamente simple de medir, pero es necesario actuar con cierta cautela a la hora de comparar su eficiencia con la de otras aplicaciones. La unidad de medida más evidente es el volumen de datos entregado, donde cada programa transmitido tendrá un número máximo de Mbit/s asociado. Así pues, si cada canal transmitido equivale a 2Mbit/s y se transmiten 100 canales, la cantidad total será de 200Mbit/s.

La mayor dificultad a la hora de medir el nivel de eficiencia espectral de los sistemas de radiodifusión (satelitales o terrestres) es la comparación de su eficiencia con la de otras aplicaciones.

El espectro es raramente compartido por los enlaces descendentes de radiodifusión satelital. No obstante, también es posible que se atribuya espectro a los enlaces ascendentes. A menudo existe un único enlace ascendente en una región relativamente aislada para que ese espectro pueda ser compartido con otros servicios. El área geográfica a considerar corresponde casi siempre a la totalidad del país ya que ésta suele ser el área cubierta por un satélite.

Sin embargo, pueden surgir dificultades a la hora de comparar el nivel de eficiencia de los sistemas de radiodifusión satelital con el nivel de eficiencia de los sistemas de comunicaciones no radiodifundidas utilizados para ver contenido similar. A modo de ejemplo, si un programa es visto por suscriptores de banda ancha móvil, cada uno con un enlace individual de datos móviles, la cantidad de datos total consumida sería la transmisión de datos (Mbit/s) del canal multiplicado por el número de suscriptores móviles – que pueden ser varios millones – y la eficiencia técnica espectral podría parecer mucho mayor. Por ende, al comparar servicios de radiodifusión y telecomunicaciones debe tenerse en cuenta si se está incluyendo o no el número de suscriptores dentro del área del programa. Cabe notar que un sistema satelital puede que divida su cobertura entre diferentes áreas de programa, que pueden cubrir varios países, ser específico para un solo país o para una región dentro de un país. Así, aunque la métrica para el sistema de radiodifusión satelital no incluya el cálculo de la capacidad del sistema por área de cobertura (el cual sí se incluiría en un sistema móvil utilizado para transmitir contenido de radiodifusión), se asume que la métrica de radiodifusión por satélite es sólo aplicable dentro del área del programa de dicho servicio satelital, ya sea a través de múltiples países, un solo país o un área dentro de un país.

Para sistemas fijos satelitales, el volumen total de datos es el transmitido (y recibido) por el satélite y el área de cobertura corresponde típicamente a la totalidad del país, por lo que las métricas de eficiencia espectral son relativamente más simples de medir que en la radiodifusión.

Las bandas satelitales pueden ser compartidas en algunas ocasiones, en cuyo caso debería tenerse en cuenta los datos transmitidos por los usuarios que comparten esa banda de frecuencia en el cálculo de la eficiencia espectral.

La comparación con otros servicios puede resultar problemática. Por ejemplo, con la radiodifusión por satélite el mismo flujo de datos es recibido por múltiples usuarios (espectadores) y, por tanto, cuentan con una mayor utilidad que un haz de luz (*spot beam*) satelital recibido por un solo usuario, cuando la eficiencia técnica para ambos casos puede ser la misma. El número de “celdas” es mucho menor para un transmisor satelital que para una red móvil de acceso público, lo que resultará en una eficiencia espectral notablemente inferior. Sin embargo, los sistemas satelitales fijos a menudo operan en frecuencias que no serían de gran utilidad para las redes móviles de acceso público. Por lo tanto, ya que no existe un uso alternativo adecuado del espectro, por lo general no es necesario su contraste con usos diferentes.

2.3.2 Sistemas terrestres

Redes móviles de acceso público (voz y banda ancha)

Mientras que los sistemas satelitales incorporan un amplio rango de tipos de sistemas con arquitecturas y servicios prestados diferentes, los sistemas móviles de acceso público desplegados por los operadores en un mercado específico son a menudo similares en cuanto a su despliegue. Por ejemplo, en términos de las frecuencias utilizadas, tecnologías desplegadas y objetivos de cobertura deseados. No obstante, puede que existan importantes diferencias en el uso entre los sistemas de acceso público según el momento en el que los diferentes sistemas entraron en el mercado; su base de subscriptores y las tarifas generadas por subscritor. Lo cual también depende de la estrategia de precios del operador, ya que ciertos operadores pueden incentivar un mayor uso de un servicio en particular o utilizar redes a horas del día diferentes fijándolas a un precio menor.

Los operadores suelen recabar información relativa al volumen de tráfico cursado en sus redes o en su defecto este tipo de información puede calcularse a partir del volumen de datos promedio por subscritor (el número de minutos de voz puede ser fácilmente convertido a datos equivalentes), y además la cantidad de espectro que posee cada operador es de dominio público. Normalmente no existe ningún acuerdo de compartición entre redes móviles de acceso público y otros servicios que utilizan el mismo espectro, ya que la mayoría de reguladores atribuyen el espectro móvil de acceso público de forma exclusiva dentro de regiones determinadas. Es decir, el mismo espectro puede ser reutilizado por diferentes operadores en diversas regiones, pero en una misma región cada operador utilizará un bloque de frecuencias exclusivo para sí mismo. La mayoría de las concesiones otorgadas son a nivel nacional o regional dependiendo del enfoque de la licitación.

Redes móviles de acceso público (banda ancha móvil)

La banda ancha móvil puede tratarse de igual manera que los servicios de voz y datos. De hecho, cada vez es más difícil distinguir estas dos áreas – por ejemplo, el empaquetamiento de servicios de voz con datos móviles y servicios de banda ancha en las redes 3G y 4G – lo que dificulta la definición de métricas de eficiencia espectral que puedan ser aplicadas individualmente a cada uno de estos servicios. Pese a ello, sería posible diferenciar el cálculo de la eficiencia espectral entre las diferentes generaciones de servicios de banda ancha, es decir 3G y 4G.

Por ejemplo, es relevante considerar que las sucesivas generaciones de las tecnologías empleadas por las redes móviles de acceso público han tenido como objetivo incrementar la velocidad máxima de subida y bajada, y la velocidad de datos promedio que el usuario espera recibir. Este incremento se ha logrado de diferentes maneras, utilizando tecnologías que hacen un uso más eficiente del espectro y operando portadoras de frecuencias más amplias (por ejemplo, 200kHz con 2G/GSM, 4–5MHz con 3G (CDMA/WCDMA), o entre 10 y 20MHz con 4G). La tecnología 4G también incorpora características específicas que, en el caso de ser desplegadas por los operadores, incrementarán aún más el rendimiento de los servicios de datos, a través del uso de tecnologías de antenas como MIMO.

Enlaces fijos (punto a punto / punto a multipunto)

Cuando se evalúan enlaces fijos la cantidad de datos transmitidos puede ser a menudo proporcionada por el operador o, en su defecto, puede ser calculada a partir de la velocidad de transmisión de datos típicamente lograda por un enlace fijo en un rango determinado disponible públicamente. Este cálculo deberá realizarse para todos los enlaces dentro de una banda de frecuencia; el número de enlaces es un dato que puede poseer el regulador o, de no ser así, se tendría que requerir esta información a las empresas Certificadoras o a los Concesionarios de bandas de frecuencias para prestar el servicio de enlaces fijos.

El área cubierta por un sistema de enlaces fijos podría ser interpretada de dos maneras. Por un lado, podría considerarse el área a nivel nacional, ya que típicamente la banda de frecuencia está disponible en todo el territorio nacional o región. Por otro lado, puede analizarse en términos de la cobertura del enlace. Ésta es a menudo relativamente limitada dado que el enlace genera una radiación con una alta directividad. Por ello, con esta medición, el área cubierta por todos los enlaces fijos en una banda de frecuencia sería mucho más pequeña que utilizando el área nacional o regional. Dado que el uso de enlaces fijos típicamente imposibilita que la banda sea utilizada para otras aplicaciones, en términos generales es preferible considerar para la métrica el área de cobertura puesto que la distancia total sobre la cual se transmite la información en un sistema de enlaces fijos determina la cantidad de reutilización de las frecuencias afectadas por enlaces en otras áreas geográficas.

Las bandas de enlaces fijos son a menudo compartidas, por ejemplo con enlaces ascendentes satelitales. Esto ha de tenerse en cuenta a la hora de determinar las métricas de eficiencia espectral.

Redes móviles privadas, incluyendo radio trunking

Las radiocomunicaciones privadas pueden ser tratadas a grandes rasgos de una manera similar a las redes móviles de acceso público. Sin embargo, hay importantes diferencias en cuanto al área geográfica que cubren y la disponibilidad de datos.

Algunas redes móviles privadas proporcionan cobertura a nivel nacional o regional. En estos casos, es probable que los operadores dispongan de información relativa al total de datos transmitidos a través de sus redes, mientras que el área de cobertura puede estar especificada en la concesión o ser un dato que también poseen los operadores. Otros sistemas pueden tener una cobertura mucho más limitada, cubriendo solamente una pequeña región o municipio, puede que incluso con una sola radio base. Una banda de frecuencia destinada a redes móviles privadas puede ser utilizada por muchos operadores, con miles de usuarios individuales. Este tipo de redes suelen dar cobertura principalmente en zonas urbanas, en comparación con las redes móviles de acceso público.

Las características de las redes móviles privadas pueden dificultar la recopilación de datos, ya que muchos de sus usuarios no proporcionan estadísticas. También podría resultar complicado comparar el nivel de eficiencia espectral de estas redes con otros tipos de sistemas móviles debido a las diferencias de cobertura que existen entre ellos. Por ejemplo, una comparación a nivel

nacional entre un sistema móvil público y el *trunking* para un uso de una banda de frecuencia en específico (por ejemplo, 800MHz) podría conferir una ventaja a los sistemas móviles de acceso público, mientras que una comparación a nivel de ciudad podría arrojar resultados más favorables para los sistemas de radio móviles privados. Sin embargo, cabe notar que el IFT no tiene por objetivo el utilizar las métricas para proporcionar una comparación entre servicios, y por lo tanto no será necesaria la consideración de dicha dificultad inherente de comparar usos diferentes del espectro en tareas futuras de este proyecto.

Radiodifusión de televisión terrestre

Las métricas para los sistemas de radiodifusión de televisión pueden generalmente ser definidas de una manera similar a los sistemas de radiodifusión satelital. El volumen total de datos puede ser medido en términos de programas, y el área de cobertura es típicamente regional o nacional dependiendo del área de programación del servicio.

Con frecuencia, estas mediciones mostrarán que la radiodifusión terrestre es menos eficiente que la radiodifusión por satélite, ya que la primera requiere que las “celdas” colindantes utilicen frecuencias diferentes, y esta reutilización de las frecuencias significa que en una determinada localización sólo un cuarto del espectro está siendo utilizado. Sin embargo, por otro lado, esto permite una mayor variación de la programación televisiva por región.

Alternativamente, el volumen total de datos podría ser medido por celda (multiplicando el volumen de datos por el número de celdas). Esto permitiría realizar una comparación directa con el uso del espectro para sistemas celulares, pero menos directa en lo que respecta a sistemas satelitales. Dado que el objetivo del servicio es entregar el mismo contenido, o similar, a toda la audiencia, éste no sería nuestro enfoque preferido.

La televisión digital puede ser transmitida a diferentes niveles de calidad (por ejemplo, definición estándar (SD) o alta definición (HD)). Las plataformas de televisión digital – en México se utiliza el estándar ATSC – a menudo se diseñan para proporcionar una combinación de estos servicios (por ejemplo, un cierto número de canales en HD junto con un cierto número de canales en SD), según la demanda de mercado, la capacidad del operador, su viabilidad económica y/o regulación impuesta. Como ejemplo de dichas medidas regulatorias, la *Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre*⁶ de México establece que “*Los Concesionarios de Televisión y Permisionarios de Televisión que únicamente transmitan un Canal de Programación en el Canal Adicional o en Operación Intermitente, deberán transmitir con calidad HDTV la misma programación que en el Canal de Transmisión Principal, a efecto de aprovechar eficientemente el espectro asignado. En caso de Canales de Transmisión que hayan sido concesionados o permisionados para operar directa y originariamente en formato digital y únicamente se transmita un Canal de Programación, éste deberá contar con calidad HDTV*”.

⁶

IFT: http://apps.ift.org.mx/publicdata/CN_DOF_P_IFT_030914_259.pdf Art. 20 y 21

Sin embargo, éstas no son consideraciones relevantes para métricas de eficiencia desde un punto de vista técnico. En general, una transmisión de televisión consistirá en un multiplexor⁷ con una velocidad de datos definida que puede ser utilizado para calcular el número de bits transmitidos y, por tanto, la eficiencia. Un proveedor de transmisión de televisión digital (o multiplexor) podría elegir utilizar dicho multiplexor para un número menor de canales en HD o un número mayor de canales en SD, pero esto no afectaría a los bits transmitidos o la eficiencia técnica. Por otro lado, determinados objetivos de servicio pueden ser aplicados a algunos transmisores como una cuestión de política nacional de radiodifusión (por ejemplo, en relación a la cobertura y la calidad de las emisiones de un radiodifusor público). Por tanto, la calidad no se estaría abordando dentro de la métrica propuesta ya que no se propone comparar la eficiencia entre las transmisiones en SD y HD. No obstante, el número de programas que transporta el servicio cambiará dependiendo de si la transmisión es en HD o SD. Esto supone una posible consideración (más allá de la métrica de eficiencia del uso del espectro) que debería reflejarse en las siguientes tareas de este proyecto cuando se evalúe el cómo la eficiencia de sistemas digitales de televisión puedan ser computados.

Radiodifusión terrestre sonora (AM/FM y digital)

La radiodifusión sonora de AM y FM puede ser tratada de una manera similar a la radiodifusión de televisión, desde un punto de vista de poder medir la eficiencia en términos de programas transmitidos por cantidad de espectro utilizado. A diferencia de la televisión, el método de transmisión de la radiodifusión sonora es opcional en México, puesto que a través de su modalidad híbrida, puede darse de forma analógica y digital de forma simultánea. Noruega es el país que ha confirmado el primer apagón de la radio analógica FM mediante el estándar de radio digital DAB (del inglés *digital audio broadcasting*), y tendrá lugar en enero de 2017⁸. Por ello, es necesario considerar la forma en que las radiodifusiones AM/FM son transmitidas, ya sea en modo analógico, híbrido o digital.

2.4 Comparación de la eficiencia espectral para distintos servicios

Aunque hacemos notar que el objetivo del IFT no es comparar métricas entre diferentes usos del espectro, es valioso señalar que existen numerosas razones por las que esa comparación, en caso de hacerse, podría conducir a errores. Se debe de tener especial cuidado en las siguientes situaciones:

- *Comparación entre radiodifusión y telecomunicaciones* – Cuando los servicios de radiodifusión se entregan, por un lado, mediante un mecanismo de radiodifusión tradicional punto a multipunto (como la radiodifusión satelital o terrestre) en comparación con transmisiones individuales a dispositivos (como puede ser *multi-casting* a través de un servicio de *streaming* móvil), se debe elaborar un sistema de contabilización de la utilidad ganada en condiciones iguales. En este caso, podría utilizarse el número de suscriptores para calcular el

⁷ Un multiplexor en TDT consiste en un número de canales de televisión que han sido digitalizados, comprimidos y combinados en un flujo de datos para su transmisión sobre un canal de frecuencia único) o grupos de canales de frecuencia (dependiendo de si la red es una red de frecuencia única (SFN por sus siglas en inglés) o de frecuencia múltiple (MFN, por sus siglas en inglés)).

⁸ Fuente: Radio.no <http://radio.no/2015/04/norway-to-switch-off-fm-in-2017/>

nivel de eficiencia espectral para la radiodifusión con fines comparativos (para sistemas satelitales en los que el número de suscriptores es conocido como por ejemplo en la televisión satelital restringida (DTH) o televisión por cable), de manera que los datos transmitidos por el radiodifusor por un enfoque convencional se multiplique por el número de suscriptores que típicamente recibe el radiodifusor. Para otros sistemas de radiodifusión, la consideración relevante sería el número de usuarios servidos dentro de un área de programación, lo cual para calcularlo se deberían utilizar diferentes hipótesis en caso de no disponer de la información.

- *Bandas no aplicables* – Algunos servicios o tecnologías no están preparados para ser ofrecidos en ciertas bandas de frecuencia teniendo en cuenta las tecnologías actuales. Por ejemplo, los servicios móviles de acceso público que utilizan la tecnología actual tienden a no ser viables por encima de los 3GHz (aunque bandas más altas están siendo objeto de estudio para la tecnología 5G). Por lo tanto, resultaría inapropiado utilizar el grado de eficiencia de este tipo de redes con fines comparativos con frecuencias superiores a 3GHz. En otros casos, las soluciones pueden volverse incrementalmente menos eficientes si se mueven de las bandas principales para dicho servicio.
- *Impacto del espectro adicional* – A medida que se asigna más espectro para la provisión de un servicio determinado, su eficiencia espectral puede cambiar. Se puede considerar el caso de un operador de telefonía móvil al que se le haya concesionado un segmento de frecuencias determinado. El día en el que el espectro le ha sido atribuido sus volúmenes de datos no cambian pero la tenencia de espectro sí habría incrementado, por lo que la eficiencia disminuiría. Con el paso del tiempo, el operador móvil desplegará la infraestructura con la tecnología inalámbrica adecuada utilizando el espectro que se les ha asignado para los servicios que quieran proveer permitiendo mayores volúmenes de datos en toda la red, lo que incrementaría la eficiencia de nuevo. De forma alternativa, el nuevo espectro podría permitir que se transmitiese el mismo volumen de datos pero a una calidad más alta que de forma previa, es decir, con mejor disponibilidad y fiabilidad. En el caso que un operador hubiera obtenido una cantidad de espectro muy grande es posible que los volúmenes de datos no aumenten tanto como cabría esperar durante una serie de años puesto que el espectro puede que se obtenga y la red se despliegue antes de que exista una demanda en el mercado. Por lo tanto, la eficiencia podría permanecer más baja durante un tiempo mientras que el espectro haya sido desplegado, pero la demanda de los servicios todavía esté por crecer.

No obstante, la ganancia de dicho espectro adicional y/o resultante de cambios tecnológicos será evidente cuando la misma métrica de eficiencia espectral se mida de nuevo en el futuro. Cabe notar que también puede obtenerse un resultado perverso ya que, a medida que los operadores móviles van adquiriendo más espectro, despliegan menos radio bases que si tuvieran menos espectro. Esto es así dado que los operadores pueden desplegar más capacidad en radio bases existentes en vez de tener que construir radio bases nuevas. Por lo tanto, el resultado podría ser menor en eficiencia espectral pero también menor en el costo de provisión de los servicios a los suscriptores lo que compensaría la menor eficiencia espectral. Este efecto muestra la necesidad de que las medidas de eficiencia deben tomarse en contexto junto con

otras medidas que garanticen el éxito en los despliegues de red, como por ejemplo la ganancia en ingresos en relación a los costos, servicios de despliegue innovadores, y otros impactos beneficiosos de invertir en tecnologías más eficientes respecto al uso del espectro.

- *Opciones no cubiertas* – No todos los servicios son susceptibles de medición. Puede resultar excesivamente problemático medir la eficiencia con la que se usa el espectro de uso libre, e igualmente complicado medir la eficiencia de frecuencias destinadas a uso exclusivo del gobierno, sistemas de radar y de radioastronomía. Estos usos no deberían olvidarse o ignorarse sólo porque no encajen debidamente en la metodología de medición de eficiencia espectral que se propone en este trabajo.
- *Armonización del espectro radioeléctrico y otras cuestiones de costos* – Para muchas aplicaciones la disponibilidad de dispositivos, al menos a un costo asequible, ocurre cuando los operadores despliegan servicios en una banda de frecuencia armonizada internacionalmente. Esto es así porque, como se ha explicado anteriormente, los grandes fabricantes de equipos se centrarán en diseñar productos en bandas de frecuencia que están armonizadas internacionalmente ya que esto resulta en un mayor mercado potencial para sus productos. Este efecto es más acusado en las aplicaciones dirigidas al mercado masivo, como son los sistemas móviles de acceso público donde la disponibilidad de terminales en bandas no ampliamente armonizadas es escasa. Por lo tanto, es probable que destinar una banda de frecuencia no armonizada internacionalmente para sistemas móviles de acceso público limite el número de despliegues de este tipo de sistemas.

A continuación exponemos un proceso que podría utilizarse para comparar el nivel de eficiencia en el uso del espectro para distintos servicios:

- Identificar el uso actual de la banda y determinar su eficiencia técnica.
- Considerar otros posibles usos de la banda, basados en la armonización, su atribución en el CNAF y si las frecuencias son o no adecuadas, además de otras restricciones relevantes.
- Considerar también si la banda podría no estar licenciada.
- Una vez identificados otros posibles usos, determinar si las medidas de eficiencia técnica pueden ser directamente comparadas o si los servicios son lo suficientemente diferentes para que las medidas deban ser modificadas con fines comparativos.

Basados en las consideraciones analizadas en este informe, es posible utilizar un proceso basado en métricas de eficiencia para determinar si se está haciendo un uso eficiente del recurso espectral – por ejemplo, analizar si los concesionarios están utilizando el espectro conforme a las condiciones estipuladas en sus concesiones; qué ganancias en eficiencia podrían conseguirse al desplegar una nueva o mejorada tecnología, determinar si los sistemas actuales podrían operar con menos espectro del que utilizan actualmente, etc. Dicho proceso podría constar de los siguientes pasos:

- Identificar el uso actual de la banda basado en la configuración de la red y la tecnología utilizada, y determinar su eficiencia
- Identificar las condiciones de la concesión relevantes para el despliegue en cuestión, como obligaciones de cobertura, velocidades y despliegue de infraestructura objetivo (no necesariamente por requerimiento), etc. y determinar si el uso actual cumple dichos requisitos; y/o
- Considerar qué ganancias podrían lograrse al migrar a tecnologías mejores o más modernas que estén disponibles en una banda determinada
- Considerar qué incentivos podrían aplicarse para promover un uso más eficiente y/o lograr los objetivos de despliegue planificados, como pueden ser incentivos a utilizar canales más estrechos o migrar de una banda de frecuencia más baja a otra más alta, incentivar la migración a equipos digitales, etc.

En términos de los incentivos que podrían aplicarse para alcanzar los objetivos fijados en materia de gestión del espectro, la experiencia internacional sugiere que la medida más útil es la fijación del precio del espectro. Por ejemplo, en aquellos casos en los que precio del espectro se fija por canal o por frecuencia/área de uso, sería útil aplicar incentivos de precios con el fin de que los usuarios pagasen sólo por el espectro que necesitan. Por ejemplo, varios reguladores utilizan este tipo de incentivos para las redes móviles privadas y los enlaces fijos fijando una estructura de precios que refleja la demanda de espectro en cada una de las bandas de frecuencia destinadas para su uso. Así, deberían establecerse tarifas para una determinada banda de frecuencia en función de si la banda está congestionada o no, y también en función del ancho de banda y otros requisitos estipulados en la concesión (por ejemplo, el rendimiento demandado por un sistema, que podría basarse en la disponibilidad requerida, fiabilidad, distancia requerida para la transmisión, etc.).

2.5 Impacto del funcionamiento del receptor

La eficiencia espectral puede verse afectada de manera significativa por el funcionamiento de los equipos de radiocomunicación, aunque puede ser complejo de regular ya que el rendimiento de los equipos respecto al concepto de eficiencia espectral podría no ser parte de los requisitos específicos para que un dispositivo sea puesto en el mercado para un uso concreto.

Por ejemplo, dentro de una banda de frecuencia en específico, un receptor que tiene una baja sensibilidad (y por lo tanto no recibe bien una señal) no será capaz de utilizar los esquemas de modulación más altos requiriendo que el sistema transmita a un nivel de eficiencia espectral más bajo (menos bits/Hz). De manera alterna, los receptores con filtros deficientes para las bandas adyacentes no rechazarán de forma satisfactoria las señales provenientes de bandas adyacentes, reduciendo así su rendimiento y eficiencia espectral. En algún caso, esto puede llevar a los reguladores a imponer bandas de guarda o incluso impedir el despliegue de ciertos servicios.

Un ejemplo reciente es el de LightSquared⁹ en EUA, al que se le prohibió desplegar servicios de banda ancha móvil de forma contigua a las bandas GPS ya que algunos receptores GPS no rechazarían satisfactoriamente la señal del servicio de banda ancha. Claramente, estas decisiones en el caso de ser requeridas, reducen significativamente la eficiencia en el uso del espectro. El funcionamiento deficiente de los receptores también puede llevar a que una banda de frecuencia no pueda ser compartida por distintos usuarios. Muchas de las regulaciones sobre el posible uso de los *white spaces* de televisión han sido revisadas para reducir la potencia a la que pueden transmitir los usuarios que comparten el espectro debido a las deficiencias observadas en los receptores de televisión. Sin embargo, se puede observar que el funcionamiento de los diferentes receptores de TV rinden de manera diversa (por fabricantes distintos, componentes diferentes, etc.), siendo los receptores nuevos los que típicamente tienen un mejor funcionamiento y, por tanto, estos ajustes podrían ser solamente necesarios en un tiempo limitado. Es decir, hasta el momento en el que la demanda de mercado hace que sean receptores de uso generalizado, momento en el que la reducciones de potencia se pueden relajar.

Así, para maximizar la eficiencia espectral es beneficioso que los receptores tengan un funcionamiento óptimo y por lo tanto que la regulación esté diseñada para fomentar que el mercado suministre mejores productos. Claramente el costo de un receptor en óptimas condiciones será más alto. Sin embargo, numerosos estudios sugieren que se pueden lograr mejoras significativas en el funcionamiento de la mayoría de los receptores por alrededor de USD1.¹⁰ Aunque dichos estudios se realizaron con el fin de evaluar la posibilidad de interferencias entre teléfonos celulares y receptores de televisión en bandas colindantes, cabría esperar resultados similares para otros servicios. A día de hoy, el funcionamiento de los receptores no está regulado, pero sí existe un interés creciente para que esto suceda. Sería más conveniente una regulación a nivel internacional puesto que la mayoría de los equipos de radiocomunicaciones son comercializados a escala global.

2.6 Resumen de las medidas propuestas

Tomando como base los temas tratados en el presente informe, hemos definido las métricas de eficiencia espectral que podrían ser utilizadas para cada una de las categorías de uso de las bandas de frecuencia de interés en el contexto de este estudio. La siguiente tabla resume la métrica de eficiencia espectral que consideramos podría aplicarse a cada servicio de manera individual, junto con un resumen de otros factores que necesitarían ponderarse en cada caso si se desea realizar una comparación entre servicios que arroje resultados estadísticamente significativos.

Estos factores adicionales se considerarán en mayor detalle y profundidad en la siguiente fase de este proyecto, con el objetivo de mejorar la métrica de cada servicio.

⁹ www.lightsquared.com/

¹⁰ Revisar el estudio de desempeño de los receptores actuales y futuros de Ofcom en <http://stakeholders.ofcom.org.uk/market-data-research/other/technology-research/research/spectrum-liberalisation/receiver/>

Figura 2.1: Resumen de posibles métricas por servicio [Fuente: Analysys Mason, 2015]

Categoría de uso	de Bandas de frecuencia objeto de estudio	Métrica de eficiencia propuesta	Factores técnicos que afectan a este servicio	Factores económicos y/o de demanda que afectan a este servicio
Radiodifusión por satélite	11.7–12.75GHz 17.3–17.8GHz	Bits/s/Hertz – para cada sistema individual	<p>La cobertura regional y/o global que proporcionan los sistemas satelitales implica que es esencial conseguir una armonización del espectro a nivel internacional, ya que los sistemas están diseñados para poder dar cobertura a múltiples países y regiones utilizando la misma banda de frecuencia</p> <p>El elevado costo del lanzamiento de un satélite y los largos plazos que transcurren entre su diseño y su lanzamiento implica que una vez que los sistemas han sido diseñados y desplegados no es posible actualizarlos fácilmente</p>	<p>La amplia cobertura geográfica de los sistemas satelitales y su dispersa base de suscriptores no implica necesariamente que este tipo de sistemas sean una opción menos favorable que otros sistemas que tienen un mayor número de suscriptores por área (por ejemplo, los sistemas móviles)</p> <p>La amplia cobertura geográfica de los sistemas satelitales no puede ser replicada por los sistemas terrestres ya que estos sistemas no pueden cubrir de forma comercialmente viable las áreas escasamente pobladas que cubren los sistemas satelitales</p>
Sistemas satelitales fijos	<p>Banda C: 3.7–4.2GHz 5850–7075MHz</p> <p>Banda Ku: 11.7–12.2GHz 14–14.5GHz</p> <p>Banda Ka: 17.7–21.2/ 27.5–31GHz</p>	Bits/s/Hertz/km ² – para cada sistema individual, medido para el área de cobertura del sistema dentro del país de interés ¹¹	La cobertura regional y/o global que proporcionan los sistemas satelitales implica que es esencial conseguir una armonización del espectro a nivel internacional, ya que los sistemas están diseñados para poder dar cobertura a múltiples países y regiones utilizando la misma banda de frecuencia	Además de los factores arriba mencionados, cabe notar que algunos sistemas satelitales fijos son utilizados para proporcionar servicios de radiodifusión satelital. Por ello, es preciso analizar la demanda de los diferentes tipos de sistemas ya que son múltiples los servicios que pueden ser provistos a través de sistemas satelitales

¹¹ Esto refleja que un sistema satelital típicamente se diseña para cubrir grandes áreas de cobertura y así proporcionar cobertura y capacidad de servicios en varios países, mientras que los reguladores suelen estar interesados en la eficiencia en el uso de una banda dentro de un determinado país (o región de un país). Se observa que la cobertura del satélite sería típicamente el 100% de la geografía de cada país dentro de su área de cobertura.

Categoría de uso	de	Bandas de frecuencia objeto de estudio	Métrica de eficiencia propuesta	Factores técnicos que afectan a este servicio	Factores económicos y/o de demanda que afectan a este servicio
Redes móviles de acceso público (voz y datos)		Banda 700: 703–748/ 758–803MHz	Bits/s/Hertz/km ² – para cada sistema medido a nivel nacional	El elevado costo del lanzamiento de un satélite y los largos plazos que transcurren entre su diseño y su lanzamiento implica que una vez los sistemas han sido diseñados y desplegados no es posible actualizarlos fácilmente	
		Banda 850: 824–849/ 869–894MHz		La generación de tecnología utilizada impactará en la eficiencia técnica del sistema – las tecnologías más modernas son más eficientes pero el costo de actualización de las redes es significativo	Mientras la migración de 2G a 3G y de 3G a 4G mejora la eficiencia técnica del espectro, la modernización de las redes requiere de cuantiosas inversiones, y es posible que también haya que actualizar los equipos utilizados en las radio bases (por ejemplo, nuevas antenas para abarcar un mayor rango de frecuencias en 4G)
		Banda AWS: 1710–1780/ 2155–2180MHz		La armonización del espectro a nivel internacional es crítica para que los terminales móviles puedan ser diseñados de una manera efectiva en términos de costos y para que los usuarios puedan utilizar sus terminales móviles en distintas regiones	
		Banda PCS: 1850–1910/ 1930–1990MHz			
		Banda 2500: FDD 2500–2570/ 2620–2690MHz TDD 2570–2620MHz			
Enlaces fijos		3.4–3.7GHz 5725–5850MHz	Bits/s/Hertz/km ² – para el total de enlaces medidos en el área de servicio	La compartición del espectro es a menudo posible entre enlaces fijos y otros servicios	El exceso de demanda de espectro para enlaces fijos suele darse en algunas bandas de frecuencia más que en otras. Deberían diseñarse implementaciones prácticas, como por ejemplo para que los enlaces se desplieguen en las bandas más acordes a la longitud requerida para su operación. Los enlaces más cortos pueden acomodarse en bandas de frecuencia más altas donde hay
		7110–7725MHz 10.15–10.65GHz 14.5–15.35GHz 21.2–23.6GHz 37–38.6GHz 71–76GHz y		Los enlaces de corto alcance normalmente se pueden implementar de manera más eficiente en las bandas de frecuencia más altas (lo que significa que las posibilidades de reutilización de las frecuencias son mayores y, por tanto, hay una mejora en la	

Categoría de uso	de	Bandas de frecuencia objeto de estudio	Métrica de eficiencia propuesta	Factores técnicos que afectan a este servicio	Factores económicos y/o de demanda que afectan a este servicio
		81–86GHz		eficiencia en el uso de la banda	más ancho de banda disponible, para así dejar las bandas de frecuencia más bajas para enlaces más largos a fin de proporcionar la propagación necesaria
Redes móviles privadas		136–174MHz 380–399.9MHz 410–430MHz 440–450MHz 806–814 / 851–859MHz	Bits/s/Hertz/km ² – para todos los sistemas en una banda medido de forma local o regional	La compartición del espectro también es posible con las redes móviles privadas	–
Radiodifusión de televisión terrestre		VHF: 54–72MHz 76–88MHz 174–216MHz UHF: 470–608MHz	Bits/s/Hertz – para cada sistema individual	Cabe señalar que en ocasiones es necesario asumir ciertos compromisos en el diseño de sistemas de radiodifusión para cumplir los objetivos marcados (por ejemplo, uso de redes multi-frecuencia en lugar de redes de frecuencia única para evitar problemas de interferencia y reducir el costo de despliegue a través de las áreas de servicio más amplias)	La compartición del espectro a través de la implementación de <i>white spaces</i> puede ser posible, lo cual mejoraría la eficiencia del espectro acomodando múltiples usos en el mismo ancho de banda. La eficiencia sería entonces la suma de la eficiencia para la radiodifusión de televisión terrestre + la eficiencia de los usos compartidos (<i>white spaces</i>)
Radiodifusión terrestre sonora (AM/FM y digital)		Radio AM: 535–1705kHz Radio FM y radio digital: 88–108MHz	Bits/s/Hertz – para cada sistema individual	No existen factores técnicos que afecten al sistema	La compartición en el uso de las mismas técnicas que en la televisión para <i>white spaces</i> puede ser posible, lo cual mejoraría la eficiencia económica del espectro acomodando múltiples usos en el mismo ancho de banda. La eficiencia técnica sería entonces la suma de la eficiencia para la radiodifusión de radio + la eficiencia de los usos compartidos (<i>white spaces</i>)

3 Métricas de eficiencia espectral para una gestión óptima del espectro

En esta sección resumimos los principales hallazgos del análisis realizado en el contexto del presente informe sobre cómo la medición de las métricas de eficiencia espectral definidas pueden ayudar al IFT a lograr una gestión más eficiente del espectro y alcanzar sus objetivos en materia de política pública y regulación.

Tal y como mencionamos anteriormente, las métricas de eficiencia espectral pueden ayudar al IFT en la toma de decisiones sobre cómo gestionar el espectro radioeléctrico, pero sólo pueden ser utilizadas a modo de guía puesto que existen muchos otros factores a considerar. Ejemplos de estos factores relevantes, que de no tenerse en cuenta podrían derivar en decisiones no acertadas, son la congestión del espectro o las obligaciones de cobertura más allá de los considerados en los planes de negocio (por ejemplo, cuando las condiciones en una licitación incluyen disposiciones concretas para atender zonas rurales no atendidas comercialmente por los concesionarios).

Concretamente, un análisis del nivel de eficiencia espectral en México podría ayudar al IFT a dar respuesta a las siguientes preguntas sobre cómo lograr una gestión más eficiente de este recurso:

- Cuánto espectro está siendo utilizado por un servicio en particular dentro de una banda de frecuencia asignada a dicho uso, y si las condiciones de la concesión están siendo cumplidas.
- Cuál es el grado actual de eficiencia del espectro y qué medidas cabría implantar para incentivar un uso más eficiente del mismo (por ejemplo, canales más estrechos, migración a la tecnología digital, uso de frecuencias más altas donde la congestión del espectro es menor, etc.).
- Para qué está siendo utilizada una banda de frecuencia en específico y si se podría utilizar de manera más eficiente.
- Cómo se debería asignar una banda de frecuencia en específico (por ejemplo, si debería o no estar concesionada, si debería ser de uso libre o si debería ser de uso exclusivo para el concesionario que posee el título de concesión).
- Si una banda de frecuencia puede o no ser compartida por varios usuarios diferentes.
- Si deberían existir restricciones en el uso que se le puede dar a una banda de frecuencia en específico y/o en lo que respecta a la tecnología que puede ser desplegada en dicha banda.

A continuación se muestran algunos ejemplos de respuestas que pudiera haber a las preguntas antes planteadas dentro de las prioridades actuales del IFT en relación a la gestión del espectro (basado en nuestro entendimiento actual de los aspectos clave para la gestión del espectro en México). Sin embargo, es conveniente observar que en la respuesta a estas preguntas, por lo general es conveniente que los reguladores consideren factores adicionales más allá de la

eficiencia técnica que pudieran tener un impacto en la decisión de qué servicios son los más adecuados para el uso de una banda de frecuencia en específico. Estos otros factores, que serán considerados en más detalle en fases posteriores de este proyecto, se podrían incluir objetivos sociales, alineación con los objetivos del Gobierno y aspectos de innovación.

Figura 3.1: Cómo podrían utilizarse las métricas de eficiencia espectral en México [Fuente: Analysys Mason, 2015]

Preguntas sobre la gestión del espectro que las métricas de eficiencia espectral podrían ayudar a responder	Políticas o medidas relevantes en México
<p>¿Cuánto espectro está siendo utilizado por un servicio en particular dentro de una banda de frecuencia asignada a dicho uso, y hasta qué punto se están cumpliendo las condiciones de la concesión?</p>	<p>La disponibilidad de servicios 3G y 4G en México – qué redes han sido desplegadas y cuál es la cobertura y los servicios desplegados en cada una.</p> <p>La concesión de espectro en las bandas de 700MHz, AWS y 2.5GHz para servicios móviles. ¿Qué obligaciones de cobertura deberían aplicarse en las diferentes concesiones?</p>
<p>¿Para qué está siendo utilizada una banda de frecuencia en específico? ¿Podría utilizarse de manera más eficiente?</p>	<p>El futuro uso de la banda UHF (470–806MHz) y la liberación de las bandas de 600MHz (posible segundo dividendo digital) y 700MHz.</p> <p>El futuro uso del espectro en la banda de 806–890MHz. Por ejemplo, la banda de 800MHz está actualmente destinada a servicios de <i>trunking</i>, pero ¿es éste el uso más eficiente que se le puede dar a esta banda, o podría utilizarse para usos más eficientes?</p>
<p>¿Cuál es el grado actual de eficiencia del espectro y qué medidas cabría implantar para incentivar un uso más eficiente del mismo?</p>	<p>Este enfoque podría ser utilizado para dar respuesta a cuestiones relacionadas con la congestión del espectro en determinadas bandas de frecuencia utilizadas para la provisión de servicios que podrían ser acomodados en otras bandas, a fin de incentivar a los usuarios a minimizar el espectro que necesitan. Por ejemplo, pueden derivarse algoritmos de precios basados en incentivos para enlaces fijos o PMR usando métricas basadas en eficiencia como base para fijar el pago de derechos por el uso del espectro (por ejemplo, sobre la base de una tarifa que refleje el ancho de banda utilizado, longitud del enlace / área cubierta y otras características del sistema como la disponibilidad o el número de dispositivos soportados).</p>
<p>¿Cómo se debería licenciar una banda de frecuencia en específico (por ejemplo, si debería o no estar concesionada, si debería ser de uso libre o si debería ser de uso exclusivo para el concesionario que posee el título de licencia).</p>	<p>También aplica a la cuestión sobre el uso futuro del espectro en la banda UHF (por ejemplo, si existen <i>white spaces</i> dentro de la banda utilizados por la televisión digital que podrían ser de uso libre por terminales móviles).</p> <p>Una cuestión relacionada podría ser la siguiente: ¿Cuánto espectro de uso libre se necesita en México? Por ejemplo, algunos informes sugieren que el uso de algunas bandas de espectro sin licenciar está creciendo significativamente, especialmente en la banda ISM 2.4GHz. Sin embargo, cabe notar que la congestión localizada en sistemas Wi-Fi es compleja de identificar ya que existen varias razones por las que el funcionamiento de esos sistemas puede verse degradado en un lugar o momento determinados (por ejemplo, debido al intercambio de información de señalización).</p>

Preguntas sobre la gestión del espectro que las métricas de eficiencia espectral podrían ayudar a responder	Políticas o medidas relevantes en México
<p>¿Puede una banda de frecuencia ser compartida por varios usuarios diferentes?</p>	<p>Podría aplicar a cuestiones de política a fin de determinar los usos más eficientes del espectro microondas y utilizar ondas milimétricas de espectro para nuevos usos (por ejemplo, en el contexto de las decisiones de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) sobre el futuro del espectro 4G, y un elemento futuro de la agenda sobre los requisitos de la tecnología 5G).</p> <p>Una cuestión relacionada podría ser la siguiente: ¿En qué bandas de frecuencia podrían operar los sistemas de radio cognitiva? Estos sistemas son capaces de detectar los canales que están desocupados para poder así acceder a ellos en ciertas localizaciones y en un momento determinado. Las decisiones políticas sobre en qué bandas podrían operar este tipo de sistemas dependen de información precisa sobre el grado de utilización del espectro en un área determinada. Esto es así no sólo en el caso del país o región de interés, sino también en lo que respecta a las emisiones espectrales de países vecinos y el aprovechamiento de los diferentes canales de frecuencia en diversos lugares.</p>
<p>¿Deberían existir restricciones en el uso que se le puede dar a una banda de frecuencia en específico y/o en lo que respecta a la tecnología que puede ser desplegada en dicha banda?</p>	<p>Las concesiones de espectro en las bandas de 700MHz, AWS y 2.5GHz para servicios móviles: ¿Qué condiciones deberían imponerse en lo que respecta al uso del espectro disponible?</p>
<p>¿Qué uso se le está dando a algunas bandas de frecuencia en México en comparación con bandas similares en otros países?</p>	<p>Sería necesario analizar métricas de eficiencia espectral utilizadas en otros países similares a las métricas que se desean implantar en México (algo que podría conseguirse de mejor manera a nivel regional, como por ejemplo a través de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL). Este tipo de métricas podrían utilizarse para informar la toma de decisiones en materia de gestión del espectro a nivel regional e internacional (por ejemplo, para informar estudios realizados en el contexto de las CMR en relación con los cambios propuestos a las atribuciones de frecuencias a nivel internacional).</p>

Anexo A: Casos de estudio sobre inventarios de usos del espectro y definición de métricas de eficiencia espectral

A.1 Comisión Federal de Comunicaciones (EUA)

La FCC ha realizado una serie de estudios sobre el uso de métricas de eficiencia en la gestión del espectro a través de la *Spectrum Policy Task Force*. El informe resultante concluye que no existe un solo tipo de medida de eficiencia espectral que pueda ser aplicada a todos los servicios por igual. El documento aboga por la necesidad no sólo de ajustar las métricas de eficiencia espectral a cada tipo de tecnología (por ejemplo, sistemas satelitales y sistemas terrestres), sino también a la necesidad de diferenciarlas según el tipo de servicios dentro de cada tecnología. A modo de ejemplo, el informe diferencia entre banda ancha satelital y sistemas punto a punto, y propone la aplicación de métricas diferentes en cada caso.

Las métricas son definidas con base en información bits/s por banda ancha (por ejemplo, bits/s/Hz).

Sin embargo, en su informe la FCC define *eficiencia espectral* como medidas de información por unidad de uso de espectro, mientras que en el caso de *eficiencia técnica* la FCC sugiere que deben tenerse en cuenta otros factores como los costos de los equipos de radio. No obstante, la FCC no desarrolla ninguno de estos dos conceptos en más detalle, destacando únicamente que podrían requerirse diferentes métricas, o diferentes formulaciones de la misma métrica, para medir el grado de eficiencia espectral según el servicio analizado.

La FCC también ha implantado una serie de políticas innovadoras de compartición del espectro. EUA fue pionero en permitir la utilización de los *white spaces* de televisión (seguido de otros reguladores como Ofcom en el Reino Unido). La FCC fue también el primer regulador en permitir el uso terrestre del espectro que había sido concesionado para la provisión de servicios satelitales móviles – denominados sistemas de “componentes complementarios en tierra”, lo que llevó a la formación de la compañía LightSquared centrada en explotar el espectro satelital en la banda de 2GHz.

A.2 Comisión Europea

La Comisión Europea (CE) ha fijado una serie de objetivos para promover el uso eficiente del espectro radioeléctrico en beneficio de los ciudadanos e industria europea.

Uno de los documentos clave publicados por la CE es el Programa de Política del Espectro Radioeléctrico (RSPP, del inglés *Radio Spectrum Policy Programme*) el cual tiene como objetivo principal fomentar el uso y gestión eficiente del espectro. El RSPP establece una serie de iniciativas prioritarias para la Unión Europea (UE) y los Estados Miembros, agrupadas en seis áreas principales:

- conseguir un uso más eficiente y flexible del espectro
- promover la competencia
- mejorar la coordinación, la flexibilidad y la disponibilidad del espectro para las comunicaciones inalámbricas de banda ancha
- responder a las necesidades de espectro específicas
- crear un inventario de usos existentes y necesidades emergentes del espectro
- participar en negociaciones internacionales y cooperar con diferentes órganos e instituciones.

El programa propuesto incluye la creación de un inventario de los usos actuales y de las necesidades futuras de espectro en las bandas comprendidas entre los 300MHz y los 3GHz (indicando que el Cuadro de Atribución de Frecuencias para los diferentes tipos de servicios de radiocomunicación ya se encuentra disponible en la base de datos del Sistema de Información sobre Frecuencias (EFIS), pero sin detallar el uso individual de cada una de las bandas). Se espera que este inventario genere una serie de beneficios y facilite la consecución de algunos de los objetivos establecidos por el RSPP. Por ejemplo, se espera que el inventario ayude a identificar:

- casos en los que el espectro no está siendo utilizado de forma óptima desde una perspectiva técnica, económica y/o funcional
- casos en los que el espectro no está siendo utilizado (es decir, bandas de frecuencia que han sido asignadas pero que no están siendo utilizadas), lo cual podría ayudar a identificar qué espectro se encuentra disponible para satisfacer la demanda creciente de espectro para servicios inalámbricos
- diferencias entre el uso que se está haciendo del espectro en los países europeos, lo cual podría dificultar una futura armonización del espectro en la UE.

En el año 2014, la CE llevó a cabo la realización de un inventario de los usos actuales del espectro en la UE y una evaluación de cómo podría conseguirse una mejora de la eficiencia espectral.¹² Las principales conclusiones de este estudio se resumen a continuación:

- no existe un solo tipo de métrica de eficiencia espectral
- para medir la eficiencia espectral de cada servicio deben ponderarse una serie de métricas cuantitativas y cualitativas
- las métricas utilizadas deben distinguir entre servicios y bandas
- pueden aplicarse cuatro criterios genéricos: utilización, demanda, tecnología y alcance geográfico.

¹² Disponible en español en: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/ES/1-2014-536-ES-F1-1.Pdf>

A.3 Ofcom (Reino Unido)

En el Reino Unido, Ofcom publica periódicamente su plan estratégico de gestión del espectro. La última versión sometida a consulta en 2013 establece la visión de Ofcom sobre futuros desarrollos en el uso del espectro y sus prioridades para los próximos diez años, entre las que figura la necesidad de entender mejor cómo se están utilizando las diferentes bandas de frecuencia.

El documento sometido a consulta identifica siete áreas prioritarias, incluyendo iniciativas dirigidas a satisfacer la creciente demanda de espectro para servicios móviles y para las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, promover la compartición de espectro, y analizar las futuras necesidades de espectro para servicios de emergencia. Para garantizar que estos objetivos se cumplan, Ofcom destaca la necesidad de entender cómo se está utilizando el espectro en la actualidad y su evolución en el tiempo. En particular, Ofcom propone el uso de medidas y métricas de eficiencia espectral para determinar hasta qué punto las distintas bandas de frecuencia están siendo utilizadas y gestionadas de manera eficiente. Ofcom señala que esto podría sustentar futuras decisiones relativas a la reasignación de bandas específicas, así como proporcionar información a los consumidores (por ejemplo, sobre la disponibilidad de redes de datos móviles), o apoyar la implementación de acuerdos de compartición de espectro.

Junto con su plan estratégico de gestión del espectro, Ofcom también lanzó una consulta pública sobre métricas de atribución del espectro.¹³ Este documento se centra principalmente en cómo el espectro es asignado en el Reino Unido (por ejemplo, mediante la concesión de una licencia, sin licencia o compartido), en lugar de indicadores capturados de las medidas de radio frecuencia; sin embargo, el informe define varias propiedades del espectro que, junto con otras métricas, podrían utilizarse para evaluar el grado de aprovechamiento y explotación del espectro.

Adicionalmente, Ofcom ha sido, junto con la FCC, uno de los reguladores pioneros en promover la adopción de mecanismos de acceso dinámico al espectro, como permitir el acceso a los *white spaces* de televisión.¹⁴ Actualmente, el acceso a estos espacios en la banda UHF (470–698MHz) está permitido en el Reino Unido sin que para ello se requiera una licencia, de conformidad con el criterio técnico definido por Ofcom en consulta con la industria.

A.4 Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT)

El Comité de Comunicaciones Electrónicas (ECC) de la Conferencia Europea de Administraciones Correos y Telecomunicaciones (CEPT, por sus siglas en inglés) ha realizado varios estudios con el objetivo de evaluar la eficiencia espectral de diferentes bandas de frecuencia, si bien el objetivo principal de la mayoría de estos estudios ha sido determinar la cantidad de espectro disponible para usos inalámbricos (por ejemplo, terminales de corto alcance), más que analizar diversas bandas de frecuencia y los servicios que hacen uso de las mismas. Por ejemplo, el informe ECC Report 181 – *Mejorando la eficiencia espectral en bandas de terminales de corto alcance* (SRDs, del inglés *short range devices*) – investiga posibles modos de mejorar la eficiencia espectral de dichas bandas en Europa.

¹³ Disponible en http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spectrum-management-strategy/annexes/Spectrum_attribution_metrics.pdf

¹⁴ Disponible en <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/spectrum-sharing/>

Como en la mayoría de países a nivel mundial, en los países europeos no se requiere una licencia o permiso individual para operar en las bandas SRD. De forma similar a la banda de 2.4GHz, es preciso que cualquier regulación o cambio de política por parte de la ECC o reguladores europeos en bandas SRD que existan a lo largo del espectro radioeléctrico tenga en cuenta el hecho de mantener los niveles de calidad de servicio (QoS, del inglés *quality of service*) existentes en uso.

El informe de la ECC citado más arriba sugiere que es difícil que los reguladores adopten un enfoque de neutralidad tecnológica en miras de la eficiencia espectral. El informe indica que la eficiencia espectral necesita ser tecnológicamente específica, dado que aplicar una métrica consignada a una o a otra tecnología llevaría a una mala interpretación de la eficiencia espectral del otro sistema. También es necesario establecer condiciones técnicas específicas para permitir una compartición (dinámica o estática) exitosa. Sin embargo, puede que exista el caso de métricas no específicas para evaluar el uso del espectro en bandas utilizadas por varias tecnologías, como la banda de 2.4GHz. En estos casos, la clave es incentivar la aparición de nuevas tecnologías que no restrinjan al nuevo sistema de tal forma que todas las aplicaciones tengan un igual acceso y requisitos.

El informe también apoya que la segregación por aplicación en la banda SRD plantea barreras a la eficiencia espectral y expone el énfasis que debe dársele a la partición de bandas en sub-bandas designadas para apoyar un conjunto de características comunes, como por ejemplo una sub-banda donde siempre sea posible una alta fiabilidad, baja latencia y una señalización relativamente baja. El informe sugiere que una regulación de este tipo proporcionaría un mejor servicio para fabricantes y usuarios, mientras que seguir aplicando la neutralidad al mismo tiempo no incentiva la innovación en la sub-banda. Al mismo tiempo, algunas aplicaciones SRD podrían tener características técnicas específicas que partan las bandas en sub-bandas específicas, lo cual podría proporcionar una eficiencia espectral más alta.

Los reguladores europeos también organizaron un taller sobre la eficiencia espectral en enero de 2014.¹⁵ El taller exploró cómo las medidas de ocupación del espectro pueden ayudar a conseguir una mejor gestión del mismo. Varios de los ponentes presentaron las experiencias de diversas entidades privadas y públicas que llevan a cabo este tipo de mediciones, destacando los retos – y las oportunidades – que supone extraer conclusiones significativas. Aparte de los enfoques tradicionales de monitorización del espectro, el taller también identificó nuevos enfoques como el “*crowd sourcing*” de información que podrían llevar a entender mejor cómo se está utilizando el espectro para algunos servicios (por ejemplo, redes móviles de acceso público). Uno de los ponentes fue el regulador holandés (Agentschap Telecom), que presentó métodos de monitorización de frecuencias alternativos para medidas de ocupación de canales, por ejemplo la utilización de mediciones secuenciales aleatorias (por ejemplo, Monte-Carlo) en vez de enfoques continuos o sistemáticos. Los beneficios de este enfoque incluían un menor tiempo para completar las medidas y la posibilidad de llevar a cabo mediciones en lugares puntuales en vez de en todo el país.

¹⁵

Ver <http://www.cept.org/ecc/ecc-workshop-exploring-spectrum-occupancy-measurements>

Annex B Glosario

AM	Amplitud modulada
AWS	Servicio inalámbrico avanzado (del inglés <i>advanced wireless service</i>)
ATSC	Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (del inglés <i>Advanced Television System Committee</i>)
CDMA	Acceso múltiple por división de código (CDMA, del inglés <i>code division multiple access</i>)
CE	Comisión Europea
CEPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (del inglés <i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>)
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
DAB	Transmisión digital de audio (del inglés <i>digital audio broadcasting</i>)
DTH	<i>Direct to home</i>
ECC	Comité de Comunicaciones Electrónicas (del inglés <i>Electronic Communications Committee</i>)
EFIS	Sistema de Información sobre Frecuencias (del inglés <i>ECO Frequency Information System</i>). ECO es la Oficina Europea de Comunicaciones (del inglés <i>European Communications Office</i>)
EUA	Estados Unidos de América
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones (del inglés <i>Federal Communications Commission</i>)
FDD	Multiplexación por división de frecuencia (del inglés <i>frequency división multiplexing</i>)
FM	Frecuencia modulada
FTA	<i>Free to air</i>
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (del inglés <i>global positioning system</i>)
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles (del inglés <i>Global System for Mobile Communications</i>)
HD	Alta definición (del inglés <i>high definition</i>)
IBOC	<i>In-band-on-channel</i>
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
ISM	Industrial, científica y médica (del inglés <i>industrial, scientific and medical</i>)
MIMO	<i>Multiple-input multiple-output</i>
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional

PCS	Servicio de comunicaciones personales (del inglés <i>personal communications system</i>)
PMR	Sistema de radiocomunicaciones móviles privado (del inglés <i>private mobile radio</i>)
RSPP	Programa de Política del Espectro Radioeléctrico (RSPP, del inglés <i>Radio Spectrum Policy Programme</i>)
SD	Definición estándar (del inglés <i>standard definition</i>)
SUE	Eficiencia en la utilización del espectro (del inglés <i>Spectrum utilisation factor</i>). Concepto desarrollado por la UIT.
SRD	Terminal de corto alcance (del inglés <i>short range device</i>)
TDD	Duplexación por división de tiempo (del inglés <i>time division duplexing</i>)
TDT	Televisión digital terrestre
UE	Unión Europea
UHF	Frecuencia ultra alta (del inglés <i>ultra high frequency</i>)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VHF	Frecuencia muy alta (del inglés <i>very high frequency</i>)
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha (del inglés <i>wideband code division multiple access</i>)