

Consideraciones de eficiencia de los mecanismos de coexistencia, compartición, acceso dinámico y mercado secundario del espectro

Jrisy Motis^{1,2,3}

Centro de Estudios
2021

El estudio realiza una revisión de los diferentes mecanismos que se han propuesto para el uso eficiente del espectro radioeléctrico, a saber, la coexistencia de tecnologías, compartición, mercado secundario y acceso dinámico del espectro radioeléctrico. Analiza las propuestas académicas, las consideraciones de eficiencia que derivan de la utilización de dichos mecanismos en la práctica, la experiencia internacional en el uso de éstas y concluye con algunas recomendaciones que podrían ajustarse para el uso eficiente del espectro radioeléctrico en México.

Jrisy Motis

¹ Los argumentos, el uso de los datos y el análisis incluido en este estudio son responsabilidad absoluta de la autora y no representan necesariamente la opinión del Instituto Federal de Telecomunicaciones ni la del Centro de Estudios.

² Doctora en Ciencias Económicas por la *Toulouse School of Economics* y Post Doctorado en la Universidad de Creta en donde realizó investigación en organización industrial aplicada para casos de prácticas anticompetitivas. Se ha desempeñado como asesora en materia de competencia económica, regulación e inversiones en los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión en PROMTEL, el IFT y la COFECE. Se desempeñó como asesora en competencia económica en la Comisión de Competencia del Reino Unido y para la Dirección de Competencia de la Unión Europea; también como investigadora en competencia económica y regulación en instituciones académicas y consultorías de Francia, el Reino Unido y Grecia.

³ El autor agradece la colaboración de la Investigadora en Tecnologías y Regulación del Centro de estudios del IFT, Dra. María Isabel Reza Meneses, en la introducción de la sección III. Consideraciones de eficiencia, las subsecciones III.1 Coexistencia, III.2 Compartición y III.4 Acceso dinámico, particularmente de los aspectos técnicos de dichas subsecciones.

I. Introducción

Una de las facultades y obligaciones más importantes del Instituto Federal de Telecomunicaciones (en adelante IFT o Instituto) es propiciar un entorno de competencia en los mercados de telecomunicaciones y radiodifusión. En el actual contexto digital, debe considerar las nuevas tecnologías y modelos de negocio que en la economía digital han proliferado. Para llevar a cabo lo anterior, el IFT debe evaluar las mejores prácticas internacionales y analizar el diseño e implementación de estas en México. La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) reconoce los beneficios que aporta la compartición de espectro y de infraestructura en el desarrollo de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión (TyR) y en el despliegue de redes de nueva generación, como el aumentar las economías de escala de quienes prestan los servicios de telecomunicaciones. En México, la infraestructura de TyR existente ya cubre una parte relevante del país, por lo que un aprovechamiento adecuado de la misma es crítico para el desarrollo de nuevas redes y la expansión de las existentes, a través de su compartición entre los diferentes concesionarios, lo que beneficia tanto a estos como a los usuarios. En el mismo tenor, es conveniente establecer los incentivos y las acciones necesarias para impulsar otros mecanismos que permiten fortalecer el uso eficiente del espectro radioeléctrico al ahorrar costos a los oferentes de servicios de TyR e, idealmente, beneficiar al usuario a través de menores precios y mayor calidad, estos mecanismos son el mercado secundario de espectro⁴, mecanismos de coexistencia, la compartición del espectro radioeléctrico y el acceso dinámico al mismo. Para cualquiera de los cuatro mecanismos para el uso del espectro mencionados, es importante conocer y entender las ventajas, desventajas, requerimientos y posibilidades de la coexistencia de tecnologías en determinadas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, pues permitiría justamente su asignación y uso eficiente, siempre conforme a los principios de fomento a la competencia y eliminación de barreras a la entrada de nuevos competidores.

El espectro radioeléctrico es un recurso finito y escaso. En México y en el resto del mundo, tradicionalmente la política de asignación de espectro consiste en concesionar un segmento de banda de frecuencias de forma exclusiva, con determinada cobertura geográfica, para determinado servicio⁵ y plazo determinado a un solo agente económico. Sin embargo, dicho mecanismo de asignación ha tenido como consecuencia que una cantidad significativa de espectro radioeléctrico pueda subutilizarse, tanto en el tiempo, cobertura geográfica como en el ancho de banda asignado. Por otro lado, la proliferación de servicios inalámbricos de los últimos años, así como la diversidad de dispositivos que hacen uso del espectro radioeléctrico han provocado que la demanda del tráfico móvil se haya incrementado sustancialmente. En este sentido, la asignación actual (y potencial) de espectro podría revelar un exceso de oferta (una falta de uso del espectro asignado particularmente en pequeñas y medianas poblaciones en virtud de que se relaciona con la cobertura de los bloques que se asignan, los cuales en su mayoría son a nivel nacional o regiones completas) y un posible exceso de demanda (por quienes no tienen concesión o

⁴ A través de figuras jurídicas que permiten flexibilidad en el uso del espectro asignado.

⁵ Aunque la LFTR indica una plena libertad respecto a los servicios que se pudieran prestar en un segmento concesionado, en la realidad el titular de una concesión de espectro radioeléctrico no puede utilizar dicha concesión para prestar servicios distintos a los previstos en esta, en su caso debe solicitar la autorización de servicios adicionales o modificar su concesión.

tienen una demanda reprimida en razón del alto costo del espectro, pues no es posible para ellos acceder a este principalmente por el alto costo de los derechos tasados en la Ley Federal de Derechos -LFD-, pero brindan servicios inalámbricos que requieren espectro), esto es, podría generarse un desequilibrio de oferta y demanda que el regulador y el mercado en conjunto podrían ajustar para lograr un uso eficiente del recurso escaso.

El objetivo de este estudio, es investigar sobre modalidades de compartición en la medida en que éstas no afecten el proceso de competencia y libre concurrencia en un proceso de mejora continua en la utilización del espectro radioeléctrico, con el fin de promover el acceso a las tecnologías y servicios de TyR, para el beneficio de los usuarios del país a través de mecanismos de coexistencia, compartición, acceso dinámico y mercado secundario del espectro radioeléctrico entre diversos oferentes de servicios de TyR.

El estudio realiza una revisión de literatura teórica y empírica sobre las ventajas y desventajas de los mecanismos de coexistencia, las alternativas de compartición de espectro, de uso dinámico de espectro radioeléctrico y su mercado secundario, así como de la experiencia internacional. Análisis de los diferentes posibles efectos de la compartición de espectro, pues, por un lado, puede mejorar las condiciones de competencia al evitar la duplicación de costos y la negativa de trato hacia los competidores y por otro puede facilitar la colusión. Análisis y recopilación de las mejores prácticas y recomendaciones internacionales.

Con lo anterior, se considera que el IFT puede disponer de la información que permita diseñar propuestas de mecanismos de coexistencia, compartición y acceso dinámico, mercado secundario al espectro radioeléctrico, entre diversos servicios. Aún más, el estudio podría ser un insumo para futuros trabajos en la línea de investigación del acceso dinámico y uso compartido del espectro radioeléctrico desde la perspectiva de las alternativas regulatorias en México para su habilitación, es decir, para la implementación de dichos mecanismos de acuerdo con el marco normativo en México.

II. Literatura

II.1 Coexistencia

De acuerdo con Ben Temim, Ferré y Tajan (2020) el rápido crecimiento de Internet de las cosas (IoT) conduce actualmente a un aumento en la densidad del número de objetos conectados, normalmente en bandas de uso libre o no concesionadas o de espectro libre. Operar en bandas sin concesión permite tener más objetos conectados a una misma banda y reducir el consumo de energía. Para ello, una de las técnicas adoptadas es el acceso aleatorio al canal de radio⁶.

⁶ En el enlace de radio, es decir, entre el dispositivo y la puerta de enlace, se pueden utilizar bandas de frecuencia gratuitas o con concesión. Operar en ancho de banda libre, típicamente bandas industriales, científicas y médicas (ISM, por sus siglas en inglés), ofrece la posibilidad de que diferentes dispositivos accedan al espectro y brinden una amplia cantidad de servicios siempre que cumplan con las regulaciones. Las tecnologías de comunicación utilizadas en las bandas ISM son tales que las bandas utilizadas para comunicarse son de banda estrecha o de banda ancha.

La principal ventaja es la rentabilidad de la concesión. No obstante, los autores plantean que la principal desventaja del acceso al medio no controlado es casi siempre el alto nivel de interferencia inherente tanto a las tecnologías propias como a las cruzadas (es decir, otras tecnologías distintas). Entre las diversas tecnologías que se utilizan para conectar una cantidad considerable de dispositivos, los autores distinguen dos tecnologías emergentes basadas en espectro extendido y de banda ultra estrecha, a saber: *Sigfox* que es una de las tecnologías de IoT más atractivas que se basa en *Ultra Narrow-Band*⁷ (UNB) como capa física; y, su principal tecnología competidora que es *LoRa*, una tecnología de espectro extendido. Más precisamente, es la técnica *Chirp Spread Spectrum*⁸ (CSS) la que se utiliza para transmitir información.

Así, el objetivo de estos autores fue analizar el impacto de la coexistencia de ambas tecnologías (UNB y tecnología de espectro ensanchado) en sus interfaces de radio, en bandas sin concesión Industrial, Científica y Médica (ISM, por las siglas en inglés de *Industry, Science and Medicine*); esto es, examinar el impacto de las interferencias en el rendimiento de la decodificación de señales y evaluar su solidez en términos de tasa de error de bits, definiendo así una expresión formal para las señales interferentes. El estudio se realiza a nivel de la capa física; explica la escala de tiempo el impacto de la interferencia UNB en una comunicación CSS y viceversa, siendo pioneros en su investigación⁹. En este contexto, los autores evalúan el rendimiento de decodificación de señales de estas dos técnicas proporcionando modelos teóricos que describen este fenómeno. Sobre la base de estos modelos, proponen evaluar numéricamente y con baja complejidad el impacto mutuo de las dos técnicas de comunicación observando la degradación de las curvas de tasa de error de bit (BER) y las curvas de sensibilidad.

En ese contexto, sus resultados muestran que el aumento en el ancho de banda de las señales UNB no conduce a una mejor robustez de las posteriores a la interferencia CSS. Sin embargo, el aumento en el ancho de banda de la señal CSS permite que la última sea más resistente a la interferencia UNB. En términos de perspectivas, los autores cuantifican el ahorro de tiempo en términos de duración de ejecución del enfoque que plantean en comparación con el enfoque de simulador global, luego, gracias a sus modelos de interferencia, se podrán analizar casos realistas de implementación utilizando redes IoT (por las siglas en inglés de *Internet of Things*) actuales.

⁷ La banda ultra estrecha generalmente se refiere a la tecnología que transmite en un canal de espectro muy estrecho, es decir, <1 kHz para lograr una velocidad de comunicación baja y una distancia de comunicación larga (5 km en zonas urbanas o 25 km + en áreas suburbanas). Esto tiene sentido teórico debido al excelente balance de enlace de la banda, esto es, a su bajo ruido de recepción en banda. Este tipo de ancho de banda es particularmente adecuado para tráfico pequeño con baja tasa de bits, lo que lo convierte en un buen candidato para redes de área amplia de baja potencia (LPWAN).

⁸ *Chirp Spread Spectrum* es una técnica de espectro ensanchado que utiliza pulsos de chirp modulados de frecuencia lineal de banda ancha para transmitir la información binaria. Cuando se considera LoRa, la señal se transmite en todo el ancho de banda asignado utilizando diferentes factores de dispersión (SF). Inicialmente, el flujo de información binaria generado a partir de la capa MAC se divide en subsecuencias, cada una de longitud determinada. Desde el punto de vista de la comunicación digital, SF también representa el número de bits por símbolo.

⁹ Validaron sus resultados de interferencia corroborando las mismas con resultados obtenidos en simuladores Matlab desarrollados en laboratorio.

II.2 Compartición

Algunos académicos consideran que el uso limitado del espectro representa una restricción para los sistemas de comunicación inalámbricos existentes y los que vayan surgiendo en el futuro.¹⁰ La escasez del espectro es uno de los principales factores que obstaculiza ofrecer los niveles de calidad de los servicios que los usuarios demandan e induce mayores costos de operación y de capital para que los operadores terminan reflejando en los precios a los usuarios. Por lo anterior, es necesario diseñar nuevos esquemas de la gestión del espectro radioeléctrico que permitan a operadores que no tienen una concesión, ya sea porque no cuentan con los niveles de inversión necesarios o porque no les interesa un uso exclusivo del espectro a nivel nacional, que sería recomendable permitirles el uso compartido del espectro radioeléctrico para fines específicos.

Tanto en México como en el resto del mundo, la compartición del espectro en aplicaciones comerciales se da de forma concesionada, exenta de concesión o en una combinación de ambas. En estos esquemas, los operadores coexisten dentro de una misma banda de frecuencias y una determinada zona geográfica. Los primeros mecanismos de compartición de espectro se dieron en Estados Unidos bajo el concepto de Radio Cognitivo (en adelante RC), es decir, como alternativa al uso del espectro. RC es la tecnología que permite a operadores sin concesión, usuarios secundarios, hacer uso del espectro sin causar interferencias en los usuarios primarios (los concesionarios). El primer uso que se le dio fue para los espacios blancos de televisión (TVWS por las siglas en inglés de TV *White Spaces*), esto es, en los segmentos de espacio liberado por quienes fueran proveedores de televisión analógica, luego para usos comerciales de telecomunicaciones móviles. Como era de esperarse, los operadores de servicios de banda ancha móvil con concesión se opusieron a este mecanismo de compartición quienes consideraron que el mecanismo no eliminaba las interferencias a los usuarios primarios, problema al que se le conoció como “escondido”. Se intentó usar un registro (base de datos) para prevenir la interferencia dañina para los usuarios primarios, pero aun así se consideró insuficiente pues tampoco los usuarios secundarios podían garantizar la calidad de sus servicios. Los métodos técnicos para lograr los diferentes tipos de compartición se describen en la sección III.2.

Luego, en Europa, en 2011, se introdujo el concepto de acceso autorizado del espectro (ASA por las siglas en inglés de *Authorised Shared Access*) o LSA (por las siglas en inglés de *Licensed Shared Access*) definido por el RSPC (por las siglas en inglés de *Radio Spectrum Policy Group*) como: *Régimen individual de licencia para un número limitado de licencias en una banda de frecuencias previamente asignada a uno o más usuarios históricos, para la cual los usuarios adicionales pueden usar el espectro (o parte de él) en concordancia con las reglas de compartición incluidos en los derechos de uso de los concesionarios, permitiendo así a todos los licenciarios proveer sus servicios con cierto nivel de calidad.* LSA requiere de un sistema de registro donde los operadores históricos informan sobre el espectro que está siendo ocupado, y una unidad de control que gestiona y cumple con las obligaciones del uso de este. El LSA con estos elementos adicionales se ofrecieron a concesionarios de diversos tipos, por ejemplo, de uso público (gobierno) y de uso comercial que operan aplicaciones diferentes y que está sujetos a diferentes obligaciones regulatoria. Posteriormente, se incorporaron al esquema de LSA los conceptos de acceso al espectro de manera oportunista, uso secundario típico o uso secundario cuando el usuario no tiene

¹⁰ Papadoas, C; Ratmarajah, T y Slock, D.T.T, (2020).

la protección del usuario primario. Mientras que las primeras versiones de LSA fueron otorgadas a operadores móviles tradicionales y no consideraron las aplicaciones verticales emergentes y los nuevos tipos de redes que hacen uso de la tecnología 5G.

Después, la CBRS (por las siglas en inglés de *Citizens Broadband Radio Service*) de la FCC (por las siglas en inglés de *Federal Communications Commission*) de Estados Unidos, aprobó un esquema de compartición de espectro en el segmento de la banda de frecuencias 3.55-3.7 GHz combinando a usuarios con y sin concesión, que generó el SAS (por las siglas en inglés de *Spectrum Access Systems*) el cual permite incorporar a operadores de tres tipos (*three tiers*): operadores históricos (que usan sistemas de radar) los cuales tenían uso exclusivo del espectro, usuarios PAL (por las siglas en inglés de *Priority Access License*) los cuales tienen acceso exclusivo en caso de ausencia de un operador histórico, y usuarios GAA (por las siglas en inglés de *General Authorized Access*).

En resumen, los dos tipos de compartición de espectro se pueden describir como¹¹:

LSA (Unión Europea)

- Promovido por CEPT, ETSI y 3GPP
- Modelo de dos participantes: operadores históricos y concesionarios
- La detección del espectro es a nivel país
- Protección al operador histórico a través de una base de datos

SAS (Estados Unidos)

- Promovido por la FCC, 3GPP y WInnForum
- Modelo de tres participantes: operadores históricos, PAL y GAA
- Detección del espectro en áreas reducidas (por ejemplo, de 4000 habitantes)
- Mitigación de interferencias a través de censos poblacionales
- La detección del espectro está basada en la protección a los operadores históricos

Más recientemente surgió otro esquema de compartición de espectro que se basa en la coexistencia de LTE (por las siglas en inglés de *Long Term Evolution*) y Wi-Fi. Para afrontar algunos desafíos que presenta este esquema, se han desarrollado mecanismos como por ejemplo el uso de LTE en bandas no concesionadas (LTE-U), LAA (por las siglas en inglés de *License Assited Access*) en LTE-A (LTE *advanced*), LTE inalámbrico en localidades WLAN (LTE *Wireless Local Area Network*), LWA (LTE agregado), LTE-WLAN (integración de radio), LWIP (integración de radio con protocolo de internet de túnel de seguridad), Wi-Fi-Li (Wi-Fi con licencia), Wi-Fi Boost entre otras tecnologías.

¹¹ Ídem.

De acuerdo a Papadias et al. (2020), la culminación de estas tendencias en los últimos años significa una importante evolución tecnológica que afectará la manera en que se usa el espectro por una vasta variedad de aplicaciones y operadores en los siguientes años, lo cual afectará tanto la economía como la sociedad.

III.2 Mercado secundario del espectro

El uso secundario del espectro también conocido como el comercio del espectro (*spectrum trading*), esto es, cuando se ceden los derechos de uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico concesionado a cambio de un pago monetario u otro tipo de acuerdo ya sea por un periodo determinado o por toda la vigencia de la concesión. El mercado secundario del espectro puede englobar todas las frecuencias o cierta cobertura geográfica de una concesión. Es decir, el intercambio se hace por los derechos de uso que el concesionario posee más no por la compañía que posee el espectro concesionado. Existen varias definiciones o mecanismo para el mercado secundario del espectro. Por ejemplo: *Spectrum Lease* se refiere a cuando a un concesionario de espectro se le permite usar los derechos del espectro de otro concesionario por un periodo de tiempo limitado más corto que la duración de la concesión, después del cual, los derechos de uso del espectro regresan al concesionario que obtuvo la concesión; *Due Diligence Form* se refiere a la revisión de que cierta concesión no tiene impedimento para ser transferida; *First Phase of Spectrum Trading* se refiere a la forma sencilla de comercializar el espectro en un primer paso, seguido de mecanismos de transferencia más complejos; etc. Todos los distintos mecanismos de uso secundario del espectro deben ser validados y aprobados por el regulador. A diferencia de uso compartido del espectro, el mercado secundario del espectro no conlleva a posibles problemas técnicos como interferencias dado que la potencia de las bandas arrendadas no se ve afectada. Cuando las frecuencias son transferidas de manera parcial, si se pueden crear problemas de interferencia cuando los operadores involucrados usan tecnologías diferentes, la mayoría de ellas se pueden resolver, sin embargo, el problema no se presenta cuando la banda completa es operada por un solo oferente. Lo anterior en virtud de que dicho oferente es quien optimizará el uso del espectro arrendado, en cambio cuando la transferencia del espectro es parcial, ya sea en banda o en cobertura geográfica, es necesario contar con un mecanismo de coordinación entre el concesionario original con el arrendador. De hecho, justamente, el principal reto al implementar mecanismos de uso secundario del espectro es definir quién será el responsable de las posibles interferencias perjudiciales. Buena parte del análisis del mecanismo del mercado secundario del espectro coincide con el mecanismo de compartición de espectro.

II.3 Acceso dinámico

El acceso dinámico al espectro es un mecanismo que incrementa el uso eficiente del espectro a través de los ajustes de los recursos de radio justamente en tiempo real, mediante procesos de detección y sondeo del espectro local, así como el establecimiento autónomo de conexiones inalámbricas locales entre nodos cognitivos y redes.¹² El mecanismo fue originalmente propuesto para subastas de espectro en tiempo real con postores interesados en ofrecer servicios distintos. Por ejemplo, un postor interesado en ofrecer telefonía celular y otro en ofrecer servicios para seguridad pública en la misma banda de frecuencias del espectro radioeléctrico y, por otro lado, multiplicando los puntos de acceso de los dos servicios durante momentos de uso intenso. Subsecuentemente, la

¹² Mitola III (2010).

FCC de Estados Unidos de América promovió el mecanismo para el uso secundario del espectro inutilizado, pero concesionado para servicio de televisión radiodifundida, esto es, en las llamadas WLAN (por las siglas en inglés de *Wireless Local Area Network*).

Por ejemplo, en marzo de 2016, la FCC diseñó un mecanismo de asignación al que se le llamó "*incentive auction*" en el que se convocó a interesados en obtener frecuencias de radio de dos tipos: oferentes de televisión radiodifundida y de acceso a internet inalámbrico y que estuvieran dispuestos tanto a comprar como a vender frecuencias. Los elementos complejos en el diseño no fueron solamente las reglas de mercado para comercializar un número fijo de transacciones entre oferentes, sino también determinar los derechos de propiedad de los emisores de televisión radiodifundida, los bienes a ser intercambiados, las cantidades a ser comercializadas, los procesos informáticos de participación (por ejemplo, que pudieran verificar que no se generaran interferencias entre oferentes) e incluso los objetivos de desempeño. Un elemento esencial e inusual para tomar en cuenta en el diseño fue hacer que la subasta fuera lo suficientemente clara para los participantes y que al mismo tiempo asegurar que el cómputo fuera manejable y capaz de obtener resultados de asignación eficientes en términos de recaudación, eficiencia económica, mayor competencia en la oferta de los servicios a los usuarios finales, etc. El paso previo fue hacer una liberación de banda de frecuencias, esto es, identificar cuántos canales de televisión se podrían reasignar para uso inalámbrico, cuáles estaciones podrían ser eliminadas para proceder con la reasignación y cómo reasignar las bandas desocupadas para reasignarlas a compañías de infraestructura inalámbrica. Luego, determinar el mecanismo de subasta que asegurara un resultado eficiente, en el caso mencionado se optó por la subasta de *Vicrey-Clarke-Groves* (VCG) denominada por los académicos como la subasta "a prueba de estrategia" (en inglés "*strategy-proof*")¹³ la cual demuestra resultados eficientes en términos de que el precio que pagan los oferentes de banda ancha inalámbrica, quienes apuestan el verdadero valor que le otorgan a la frecuencia, es superior al valor que asignan los emisores de televisión radiodifundida y que establecen como mínimo en la venta de la frecuencia, éste último se encuentra en función de los derechos de propiedad que se le otorgaron al emisor de televisión radiodifundida. Los anteriores supuestos se deben cumplir en todos los casos (número de frecuencias, zonas, alcances geográficos, ubicación, etc.). En los casos en los que el valor del comprador (el oferente de banda ancha inalámbrica) no supera el valor de emisor de televisión radiodifundida, la frecuencia la mantiene el segundo. La FCC, siguiendo las recomendaciones de los académicos, ajustó el modelo de subasta de tal manera que se consideraran los casos en los que las frecuencias se pudieran considerar como heterogéneas entre ellas en virtud de sus distintas ubicaciones y coberturas y por lo tanto en las que vendedores y compradores no encontrarán un equilibrio de reasignación, el modelo ajustado se denominó "*heuristic clock auction*"¹⁴. La subasta se lleva a cabo en varios pasos, un primer paso en el que el gobierno le compra al emisor de televisión radiodifundida sus derechos de propiedad, y un último paso en el que el gobierno le vende a los proveedores de internet inalámbrico las frecuencias despejadas. La subasta terminó en enero de 2017 después de cuatro etapas en las que los canales de televisión 38-51 fueron reasignados a proveedores de

¹³ Milgrom, P., (2017), *Discovering Prices: Auction Design in Markets with Complex Constraints* (Columbia Univ Press, New York).

¹⁴ Leyton-Brown et. Al (2017).

internet inalámbrico. Los autores del diseño de la subasta afirman que el mecanismo permitió generar valor económico y benefició a todos los participantes del mercado al igual que a todo el público del país.¹⁵

Ahora bien, los investigadores académicos han caracterizado las ventajas de la localización en el corto plazo para subastas dinámicas incluyendo las implicaciones procompetitivas y de reconfiguración de programas de asignación. Sin embargo, a pesar de los objetivos comerciales que busca el mecanismo, en Europa, la capacidad de largo plazo de los interesados en el uso secundario del espectro parece haberse establecido por los reguladores en el caso de Europa. Estos aspectos se abordan a mayor abundamiento en la sección III.4.

III. Consideraciones de eficiencia de los mecanismos de coexistencia, compartición, mercado secundario y acceso dinámico del espectro

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado, esencial para la provisión de servicios de TyR. Su asignación y uso tiene importantes efectos en los ámbitos económico y social.

De acuerdo con la OCDE, desde el punto de vista económico, el espectro es un recurso escaso en un lugar o momento dado, lo que resulta en la utilización de una cantidad limitada de este. En ese contexto, bajo la premisa de que el espectro se utiliza para prestar servicios de TyR que se consideran esenciales, las autoridades están obligadas a garantizar que se use de la forma más eficiente.

Generalmente, las políticas de gestión eficiente del espectro radioeléctrico traen a aparejadas diversas metas específicas, entre las que se encuentran:

- Maximizar los beneficios sociales y económicos derivados del uso del espectro radioeléctrico;
- Aumentar la disponibilidad, penetración y uso de servicios de TyR, y
- Crear condiciones equitativas de competencia al asignar el espectro radioeléctrico.

Los organismos internacionales han dado cuenta del debate y/o implementación en varios países de una política que puede potenciar el uso eficiente del espectro, a saber, la comercialización del espectro y el desarrollo de mercados secundarios. Lo anterior, bajo la hipótesis de que ***“la comercialización del espectro aporta mayor flexibilidad a la conformación de mejores estructuras de mercado al posibilitar su transferencia a aquellos que más lo valoran, siempre y cuando las condiciones para dicha comercialización estén bien diseñadas y establezcan requisitos claros y procedimientos oportunos”*** (OCDE).

¹⁵ Ídem.

Mecanismos para aprovechamiento del espectro radioeléctrico

La demanda del tráfico móvil crece exponencialmente desde hace varios años. Los reguladores de las TyR deben implementar planes de acción que permitan liberar bandas de frecuencias para la utilización de las comunicaciones móviles, ya que si bien los servicios móviles son los más demandados, la obligación del regulador es garantizar el acceso a todos los tipos de servicios que se requieran (i.e. Radio, TV, Satélites, Fijo, aeronáutico, seguridad, etc.), en este sentido, podría enfocarse a implementar acciones que permitan el acceso eficiente al espectro por parte de los diferentes servicios de radiocomunicaciones que son requeridos en las sociedades modernas. Por su parte, la industria de las telecomunicaciones se esfuerza en buscar alternativas tecnológicas que puedan ser implementadas de forma rápida, sobre todo en la necesidad de que los reguladores identifiquen o liberen nuevas bandas para el uso del espectro, particularmente aquellas que buscan optimizar el uso del espectro de tal forma que sea técnicamente posible compartirlo entre varios usuarios o mediante la implementación de medidas de coexistencia técnico-regulatorias que asegure la correcta convivencia de los servicios, esto es sin degradar su calidad ni estropear su funcionamiento en una misma zona geográfica por ejemplo o incluso en la misma frecuencia. El IFT en su estudio *Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro* (2017), ha identificado tres categorías de tecnologías: tecnologías emergentes, que encuentran en etapa de desarrollo y experimentación (basadas en LTE -por sus siglas en inglés de *Long Term Evolution*- que operan con en bandas de frecuencia de uso libre y las basadas en MIMO -por sus siglas en inglés de *Multiple Input Multiple Output*); tecnologías desplegadas, cuyas investigaciones han concluido, e incluso están estandarizadas, pero no cuentan aún con madurez en el mercado (Radio Cognitivo); y soluciones tecnológicas convergentes, las cuales para su operación se componen de varias tecnologías y/o de un marco regulatorio impulsado por el regulador (Comunicaciones *Device-to-Device* y *TV White Spaces*). Adicionalmente, tanto el IFT como otros reguladores del mundo consideran una propuesta regulatoria que permite compartir el espectro bajo un régimen de concesión, esta es la conocida como LSA por sus siglas en inglés *Licensed Shared Access*.

La gestión de espectro requiere de la observancia de cuatro ejes: la identificación del espectro previamente a su asignación, neutralidad tecnológica, definición de derechos y mecanismos de asignación.

III.1 Coexistencia

Las cuestiones técnicas de gestión del espectro ocupan un lugar central en el uso eficiente del mismo. Evaluar la cobertura, la compatibilidad y la coexistencia de servicios, ya sea locales, nacionales o internacionales es crucial para evitar interferencias perjudiciales. Los concesionarios y prestadores de servicios de telecomunicaciones inalámbricas buscan cada vez más poder compartir el espectro y eficientizar su uso. Aunque se debe reconocer que, salvo que los concesionarios tengan los incentivos suficientes o el regulador les imponga obligaciones, los concesionarios poseedores de espectro no tienen, en principio, interés en realizar la compartición de sus frecuencias.¹⁶ Sin embargo, compartir conlleva a un mayor riesgo de interferencias. Para evitar dicho efecto

¹⁶ Por ejemplo, en el caso particular del arrendamiento del espectro, éste está limitado por la propia Ley. Primero, en relación a la modalidad de uso, un concesionario de espectro para de uso comercial solo puede arrendarle a otro que tenga concesión única para uso comercial y un concesionario de espectro para uso privado con propósitos de comunicación privada a quien tenga una concesión única del mismo tipo. Segundo, en cuanto a las obligaciones solidarias, algunos concesionarios han señalado que prefieren no arrendar el espectro por las sanciones que pudiera imponerles el Instituto por el servicio deficiente que pudieran prestar los arrendatarios.

adverso se deben resolver problemas de ingeniería, analizar, planificar y optimizar las redes, sus capacidades y coberturas.

En este rubro el estudio aborda los mecanismos de coexistencia de las tecnologías, esto es, las condiciones técnico-regulatorias necesarias para la operatividad eficiente de las tecnologías en la misma banda de frecuencias. Por ejemplo, Wifi, que ha alcanzado tasas de transmisión elevadas, aunque es difícil garantizar su calidad del servicio (*QoS*), ya que su naturaleza es compartir el espectro con múltiples usuarios y con múltiples tecnologías existentes en la banda de frecuencias de operación.

La UIT atribuye bandas de espectro a servicios de radiocomunicaciones específicos a alto nivel (servicio fijo por satélite, servicio móvil, etc.). Este proceso ocurre cada 3 o 4 años en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR), la cual involucra la participación de los países participantes. La CMR también puede identificar bandas para ciertos usos, como las IMT (por las siglas en inglés de *International Mobile Telecommunications*). Existe una diferencia importante entre asignación y atribución de espectro. Si bien la identificación se usa comúnmente, no tiene un estatus específico bajo el tratado del UIT, solamente aparece como notas al pie de página en la tabla de asignaciones de la UIT y cada país es responsable de las identificaciones para sus políticas nacionales de espectro. Sin embargo, es necesario tener una atribución prevista (por ejemplo, servicios móviles) para proceder con la identificación de bandas (por ejemplo, para IMT). Ambos ejes son importantes para una política de espectro eficiente, pues permite que los servicios y los equipos se utilicen en la misma banda o en bandas similares a nivel mundial o regional. Por lo anterior, la armonización y flexibilidad de la atribución de bandas es importante para que los usuarios gocen de una continuidad de los servicios al moverse de un país a otro o de una región a otra. La armonización global es importante para algunos servicios como los sistemas de satélite. Y es cada vez más importante para los servicios móviles terrestres.

Los diversos organismos que velan por la gestión de espectro en el mundo recomiendan considerar la armonización regional e internacional de los arreglos de frecuencia. La *Global mobile Suppliers Association* (propone implementar los acuerdos concertados en la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) y confirmados en la CMR. Así mismo, propone que los planes nacionales de atribución de bandas de frecuencias como el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias para México, se ajusten al Reglamento de Radiocomunicaciones y a las propuestas de la próxima CMR para la identificación de espectro radioeléctrico para las IMT. La UIT recomienda asegurar la equidad, racionalidad, eficiencia técnica y eficiencia económica en la asignación de espectro para servicios móviles incluyendo los provistos por la tecnología satelital, sugiere a las autoridades encargadas de la asignación del espectro realizar estudios de flexibilidad y armonización sin límite de rango de frecuencias, pero cuidando el intercambio de información para mejorar la gestión del tráfico y el transporte seguro.

Cabe señalar que las características de la banda de 6 GHz ha sido discutida en los últimos meses por reguladores, académicos e industria como una banda ideal para coexistencia de tecnologías y compartición de espectro. A nivel mundial, diversos organismos e instituciones que se encargan de estudiar, analizar y elaborar lineamientos, reglas, normas, condiciones de uso y recomendaciones que coadyuvan con el desarrollo de tecnologías inalámbricas homologadas internacionalmente por parte de los desarrolladores y fabricantes de dispositivos de

radiocomunicaciones han emitido recomendaciones y estándares relacionadas con la banda de frecuencias 5925-7125 MHz están resumida en el Cuadro 1 siguiente:

Cuadro 1. Recomendaciones y estándares aplicables en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz

Organismo	Estándar / recomendación	Descripción
UIT-R (Sector de Radiocomunicaciones de la UIT)	Recomendación UIT-R F.383 ¹⁷	Contiene las disposiciones de canales de radiofrecuencia para sistemas inalámbricos fijos de alta capacidad que funcionan en la parte inferior de la banda 6 GHz (5 925 a 6 425 MHz).
	Recomendación UIT-R F.384 ¹⁸	Contiene las disposiciones de radiocanales para sistemas de radioenlaces analógicos o digitales de media y gran capacidad que funcionan en la parte superior de la banda 6 GHz.
	Recomendación UIT-R F.758 ¹⁹	Describe los parámetros de sistemas y consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición o la compatibilidad entre los sistemas inalámbricos fijos digitales del servicio fijo y sistemas de otros servicios y otras fuentes de interferencia.
	Recomendación UIT-R P.452 ²⁰	Contiene el procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra en la gama de frecuencias de entre 0.1 y 50 GHz.
	Recomendación UIT-R P.525 ²¹	Contiene métodos facilitados para calcular la atenuación en el espacio libre.
	Recomendación UIT-R P.526 ²²	Contempla varios modelos de propagación para evaluar el efecto de la difracción en la intensidad de campo recibida.
	Recomendación UIT-R P.530 ²³	Contiene datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.
	Recomendación UIT-R P.2040 ²⁴	Contempla los efectos de los materiales y estructuras de construcción en la propagación de las ondas radioeléctricas por encima de unos 100 MHz.
	Recomendación UIT-R P.2108 ²⁵	Contiene un modelo de predicción de las pérdidas debidas a la ocupación del suelo en la propagación de ondas radioeléctricas.
	Recomendación UIT-R P.2109 ²⁶	Contiene un modelo de predicción de las pérdidas debidas a la penetración en edificios en la propagación de ondas radioeléctricas.
	Recomendación UIT-R SM.1756 ²⁷	Contiene el marco de referencia para la introducción de dispositivos que utilizan tecnología de banda ultra ancha.

¹⁷ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.383-9-201302-!!PDF-S.pdf

¹⁸ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.384-6-199510-S!!PDF-S.pdf

¹⁹ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.758-7-201911-!!PDF-S.pdf

²⁰ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.452-16-201507-!!PDF-S.pdf

²¹ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-4-201908-!!PDF-S.pdf

²² https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-15-201910-!!PDF-S.pdf

²³ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-17-201712-!!PDF-S.pdf

²⁴ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-!!PDF-S.pdf

²⁵ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2108-0-201706-!!PDF-S.pdf

²⁶ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2109-1-201908-!!PDF-S.pdf

²⁷ https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1756-0-200605-!!PDF-E.pdf

Organismo	Estándar / recomendación	Descripción
ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)	EN 301 216 ²⁸	Estándar de armonización para los sistemas de radio fijos, en particular, los equipos punto a punto que operan en las bandas de frecuencias entre 3-11 GHz.
	EN 302 217 ²⁹	Estándar de armonización para los sistemas de radio fijos, en particular, los equipos punto a punto y antenas.
	EN 302 326 ³⁰	Estándar de armonización para los sistemas de radio fijos, en particular, los equipos multipunto y antenas.
	Reporte Técnico TR 103 631 ³¹	Es un reporte técnico referente a la operación de los WAS/RLAN en la banda de frecuencias 6725-7125 MHz.
ECC (Comité de Comunicaciones Electrónicas)	Reporte ECC 235 ³²	Es un reporte de evaluación de la viabilidad del posible uso conjunto, a largo plazo, de las bandas adyacentes 5925-6425 MHz y 6425-7125 MHz para enlaces punto a punto.
IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y en Electrónica)	802.11ax ³³	Define las modificaciones para la capa física y la subcapa de control de acceso al medio del estándar IEEE 802.11 para una operación de alta eficiencia en las bandas de frecuencias entre 1 GHz y 7.125 GHz.
3GPP (Proyecto de Asociación de Tercera Generación)	5G NR-U ³⁴	Contiene la característica de la quinta generación de telefonía móvil para acceder a espectro no licenciado y habilitar la tecnología 5G en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz.

Fuente: IFT 2020 Banda de frecuencias 5925-7125 MHz.

Adicionalmente, en el ámbito internacional la banda de 6 GHz, o porciones de ésta, se ha considerado para IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) o tecnologías 5G. A mayor abundamiento, el estándar de 5G de telefonía móvil “NR-U” del organismo internacional 3GPP es la primera especificación de la tecnología 5G que plantea un posible acceso al espectro radioeléctrico bajo la modalidad de espectro no concesionado o espectro libre. NR-U propone aprovechar las características de la 5G, tales como transmisiones redundantes para comunicaciones altamente fiables, monitoreo de la calidad del servicio, reducción de la latencia, entre otros³⁵.

III.2 Compartición

La compartición de espectro es el mecanismo mediante el cual se permite que más de un grupo de usuarios tengan acceso a un segmento del espectro. En realidad, la compartición de espectro sucede todo el tiempo, generalmente

²⁸ https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301200_301299/301216/01.02.01_40/en_301216v010201o.pdf

²⁹ https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/30221702/03.00.08_20/en_30221702v030008a.pdf

³⁰ https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/30232602/01.02.02_60/en_30232602v010202p.pdf

³¹ https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103600_103699/103631/01.01.01_60/tr_103631v010101p.pdf

³² <https://docdb.cept.org/download/905f2acf-4506/ECCREP235.PDF>

³³ https://standards.ieee.org/project/802_11ax.html

³⁴ http://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/TSG_RAN/TSGR_86/Docs/RP-192926.zip

³⁵ 3GPP. 3GPP TR 21.916 V0.6.0 (2020-09). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 16 Description; Summary of Rel-16 Work Items (Release 16). Consultable en el siguiente enlace: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3493>

en tres niveles territoriales: internacional, entre naciones de un grupo en particular, y dentro de cada nación (intranacional).

La compartición del espectro se puede alcanzar permitiendo a múltiples sistemas inalámbricos existir en un solo segmento de banda, por ejemplo, la tecnología 5G y los servicios satelitales fijos y/o simplemente con los servicios fijos, o la banda ancha móvil y los servicios de radar, etc.

Una de las propuestas regulatorias que han surgido para la compartición de espectro es la denominada LSA (por las siglas en inglés de *Licensed Shared Spectrum*). Cada regulador ha adoptado el mecanismo de acuerdo con sus condiciones y regulaciones locales. La primera definición del LSA la propuso el Grupo de Políticas de Espectro Radioeléctrico (RSPG por las siglas en inglés de *Radio Spectrum Policy Group*) de la Comisión Europea (CE) en 2013, y consiste en:

“Una propuesta regulatoria enfocada a facilitar la introducción de los sistemas de radiocomunicaciones operados por un número limitado de licencias bajo un régimen individual de licenciarios en una banda de frecuencias ya asignada o de la que se espera que se asigne a uno o más usuarios titulares. Bajo la propuesta de Licensed Shared Access, los usuarios adicionales están autorizados para usar el espectro (o parte de éste) de acuerdo con las reglas de compartición incluidos en sus derechos del uso del espectro, permitiendo a todos los usuarios autorizados, incluyendo a los usuarios titulares, proveer cierta calidad de servicio (QoS)”³⁶

De acuerdo con *LS telecom Smart Spectrum Solutions*, el LSA de uso primario es recomendable únicamente en los casos en los que el concesionario:

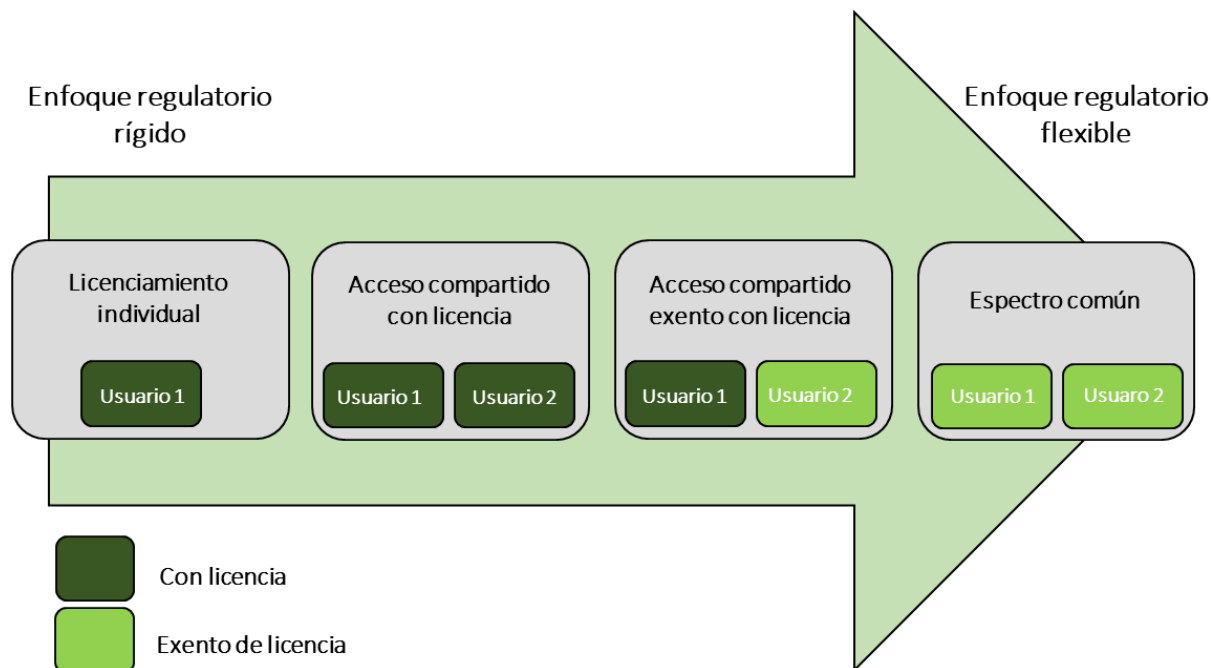
- no puede arrendar o comercializar su espectro concesionado,
- tiene la habilidad de fragmentarlo (por ejemplo, diferentes segmentos de espectro en diferentes áreas),
- no necesariamente quiere poner a disposición del mercado toda su banda asignada,
- se encuentra despejando su banda para posteriormente no hacer uso de ella,
- tenga pensado cambiar el uso del espectro concesionado en el mediano plazo.

En general, estas condiciones son aplicables principalmente en el espectro asignado para usos militares, del gobierno, televisión radiodifundida y espectro satelital.

Ahora bien, existen varias propuestas para una gestión del espectro en la que el regulador le permita implementar el LSA a los agentes económicos, se pueden resumir en la Gráfica 1:

³⁶ RSPG, “RSPG Opinion on Licensed Shared Access”, EUROPEAN COMMISSION, Bélgica, 12 de noviembre de 2013, p. 7. Disponible en: https://circabc.europa.eu/sd/d/3958ecef-c25e-4e4f-8e3b-469d1db6bc07/RSPG13-538_RSPGOpinion-on-LSA%20.pdf

Gráfica 1. Gestión del espectro implementado por el regulador o los agentes económicos



¿Cambio de la gestión del espectro del regulador a las organizaciones comerciales?

Fuente: LS telcom AG, 2021

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, considerando que la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas a menudo exige la compartición de bandas de frecuencias entre diversos servicios, recomienda que, al determinar las posibilidades de **compartir bandas específicas entre servicios**, las administraciones consideren los principios y métodos generales relacionados con la compartición del espectro, a saber:

- **Dimensiones de la compartición de atribuciones.** De acuerdo con la UIT la compartición de servicios tiene lugar cuando dos o más servicios de radiocomunicación utilizan realmente la misma banda de frecuencias. La utilización del espectro radioeléctrico depende de la **frecuencia**, el **periodo**, la **ubicación espacial** y la **separación** entre las **señales ortogonales**. En este sentido, la recomendación UIT-R SM.1132 advierte que en todo tipo de compartición del espectro se deben tener en cuenta una o más de esas cuatro dimensiones, en consecuencia, la compartición se puede efectuar de manera directa si dos de esas dimensiones son comunes y la tercera y/o cuarta dimensiones difieren en un grado suficiente como para que todos los servicios de que se trata (dos o más) puedan funcionar satisfactoriamente. La compartición también es posible cuando los servicios tienen las cuatro dimensiones en común. En tales casos, la compartición se logra aplicando condiciones técnicas que no comprometen la calidad de funcionamiento necesaria de los servicios de que se trata, y
- **Bases técnicas para la compartición de atribuciones.** En el siguiente cuadro se indican algunos de los métodos que, de acuerdo con la recomendación UIT-R SM.1132, se pueden emplear para facilitar la

compartición, agrupados en columnas sobre la base de las cuatro dimensiones de separación (frecuencia, tiempo, ubicación espacial y separación de las señales)

Cuadro 2. Métodos técnicos para facilitar la compartición

Separación en frecuencia	Separación espacial	Separación en el tiempo	Separación de las señales ortogonales
Planes de disposición de canales	Selección del emplazamiento	Control del ciclo de trabajo	Sistemas de acceso múltiple basados en división por código (AMDC)
Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real	Discriminación del diagrama de radiación de antena	Asignación dinámica de frecuencias en tiempo real	Polarización de la antena
Sistemas de acceso múltiple basados en división por frecuencia (AMDF)	Barreras físicas Apantallamiento por el terreno	Sistemas de acceso múltiple basados en división por tiempo (AMDT)	
Codificación: — corrección de errores — compresión	Potencia de interferencia: — control dinámico de potencia — limitación de la DFP — limitación de la densidad espectral de potencia (dispersión de energía)	Codificación: — corrección de errores — compresión	
Control de las características de emisión del espectro			
Partición dinámica variable			
Limitación de la tolerancia de frecuencia			

Fuente: Rec. UIT-R SM.1132. Principios y métodos generales de compartición entre servicios de radiocomunicación.

En relación con lo anterior, se han introducido conceptos como acceso dinámico del espectro (DSA, por las siglas en inglés de *Dynamic Spectrum Access*) y acceso oportunista del espectro (OSA, por las siglas en inglés de *Opportunistic Spectrum Access*), ambos definen un conjunto de técnicas y modelos sobre los cuales se ha desarrollado gestión dinámica del espectro radioeléctrico de los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

En un modelo de uso compartido, el espectro puede ser utilizado por el usuario cognitivo³⁷ en tres modos diferentes³⁸, a saber, entrelazado (*interweaving*)/acceso oportunista, superposición (*overlay*) y subyacente (*underlay*), que se discuten a mayor detalle de la siguiente manera.

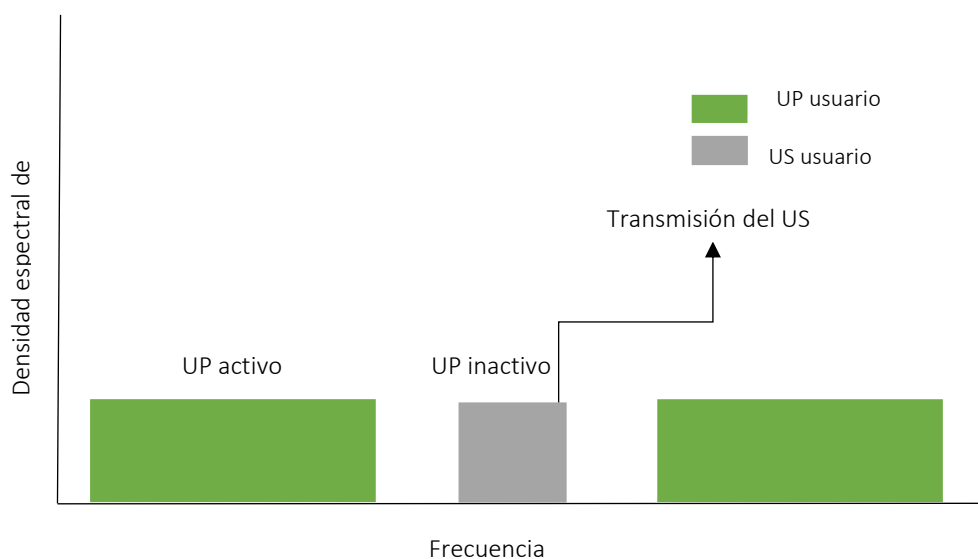
³⁷ Hoossain, E., Niyato, D., & Han, Z. (2009). *Dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks*. New York: Cambridge University Press

³⁸ De acuerdo con UIT-R SM.2405-0, “en un sistema de radiocomunicación con tecnología que permite al sistema extraer información de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su situación interna requiere adaptar de manera dinámica y autónoma sus parámetros y protocolos operacionales en función de la información obtenida a fin de cumplir unos objetivos predeterminados, y extraer enseñanzas de los resultados obtenidos”.

- Modelo entrelazado (*interweaving*)/acceso oportunista del espectro (OSA)

En un tiempo, frecuencia o espacio dados, si el espectro no es empleado por el usuario primario, este puede ser utilizado de forma oportunista por un usuario cognitivo a través de la técnica de espectro entrelazado, iniciando por una inspección del espectro para detectar la actividad de un usuario primario. Si se detecta un “agujero” en el espectro que está siendo inutilizado, el usuario cognitivo puede acceder a ese espectro de la forma en la que se aprecia en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Modelo entrelazado



Una vez que el usuario primario reanuda su transmisión, el usuario cognitivo debe desocupar el espectro. El método de entrelazado de espectro es usado por los sistemas de radio cognitivo en acceso múltiple por división de frecuencia FDMA (por las siglas en inglés de *Frequency Division Multiple Access*), acceso múltiple por división de tiempo TDMA (por las siglas en inglés de *Time Division Multiple Access*) o multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM (por las siglas en inglés de *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)³⁹.

- Modelo subyacente (*underlay*)

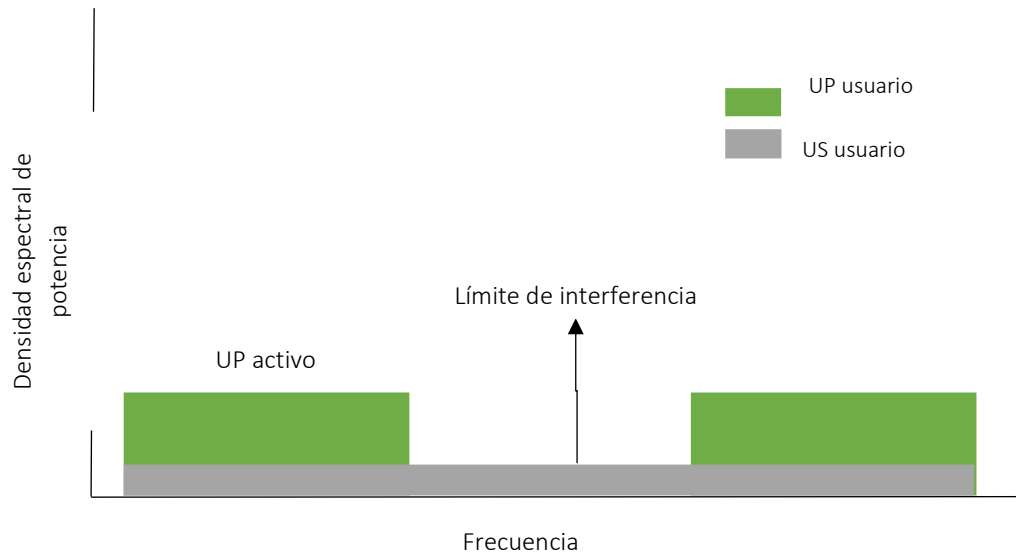
En este modelo, el usuario cognitivo transmite simultáneamente con el usuario primario, tal y como se muestra en la Gráfica 3. En consecuencia, la potencia de transmisión del usuario cognitivo se debe limitar para que la interferencia causada por este se mantenga por debajo del límite de la temperatura de interferencia⁴⁰, definido

³⁹ Shweta Pandit y G. Singh, (2015), "An overview of spectrum sharing techniques in cognitive radio communication system", *Wireless Netw* 23, 497–518 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1171-1>

⁴⁰ Song, M., Xon, C., Zhao, Y., & Cheng, X. 2012. Dynamic spectrum access: From cognitive radio to network radio. *IEEE Wireless Communications*.

como el límite de interferencia establecido en el receptor del usuario primario hasta el que puede tolerar interferencias sin afectar su funcionamiento⁴¹.

Gráfica 3. Modelo subyacente



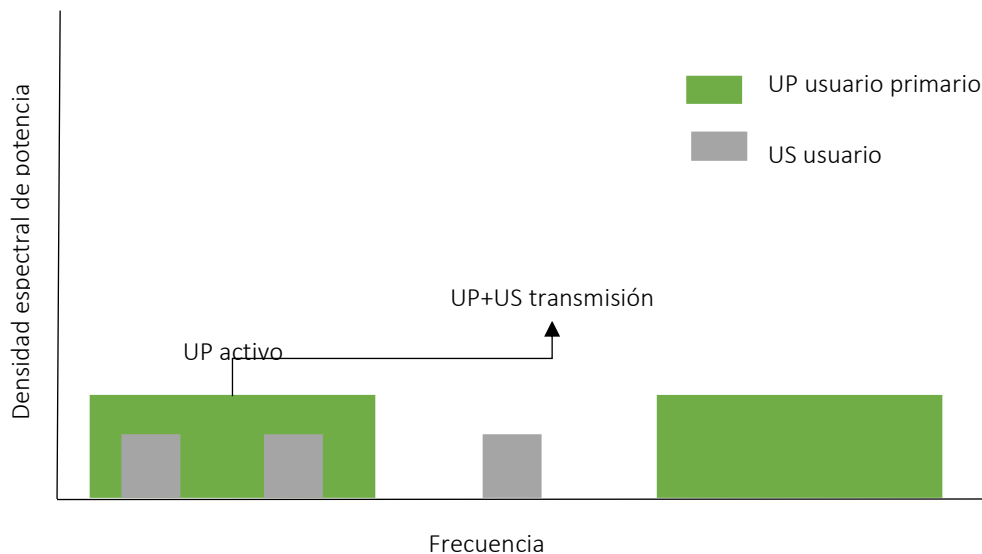
El modelo subyacente se emplea por sistemas de radio cognitivo que usan el acceso múltiple por división de código CDMA (por las siglas en inglés de *Code Division Multiple Acces*) o la tecnología UWB (por las siglas en inglés de *Ultrawide Band*).

- Modelo superpuesto (*overlay*)

Bajo este modelo, ambos usuarios transmiten al mismo tiempo como se muestra en la Gráfica 4. Sin embargo, la interferencia en los receptores primario y secundario se mitiga por técnicas avanzadas de precodificación y eliminación de interferencia perjudicial.

⁴¹ Shweta Pandit y G. Singh, (2015).

Gráfica 4. Modelo subyacente



En seguimiento al paso de identificación y asignación del espectro radioeléctrico, la neutralidad tecnológica es otro factor clave para el acceso al recurso escaso. En este sentido, la asignación de espectro debe ser balanceada y de tal manera que todas las tecnologías puedan tener certidumbre y acceso adecuado. Esto es, tanto las terrestres (ej. móvil y fija) como las no terrestres (ej. satelitales).

Los expertos aseguran que la armonización del espectro es importante para que coexistan servicios diferentes, pues esto asegura un uso eficiente del recurso escaso y el desarrollo de economías de escala que finalmente beneficia a los usuarios. Por ejemplo, para los usos de la tecnología 5G, principalmente en las bandas 3.3-3.8 GHz, México ha planeado 300 MHz en este segmento de banda, 100 MHz en el segmento específico de 3.35-3.45GHz y los ha atribuido al servicio móvil. En el resto del segmento también presenta usos adicionales, particularmente de servicios satelitales fijo, móvil y fijo. Otros países de América Latina en la misma situación que México son Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Perú y Uruguay.⁴²

De hecho, se afirma que la tecnología satelital es clave para prevenir una división en la asignación del espectro para el 5G pues, por un lado, las inversiones existentes y futuras en sistemas GEO (geoestacionarios) y NGSO (de órbita no geoestacionaria) cubrirán las necesidades de todos los usuarios de Latinoamérica incluyendo zonas urbanas, suburbanas, rurales y móviles. La disponibilidad de la banda ancha satelital en Latinoamérica asegura cubrir no únicamente las zonas rurales sino también los servicios de emergencia, seguridad pública, escenarios de desastre y otros servicios críticos del gobierno, así como usos de IoT. Se afirma que la capacidad demostrada de

⁴² GSMA y Blue Note Management Consulting, 5G y el Rango 3.3-3.8 GHz en América Latina, noviembre 2020. Disponible en: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/11/5G-and-3.5-GHz-Range-in-Latam-Spanish.pdf>

los satélites para proveer *backhaul* de 4G y 5G puede cubrir los servicios de conectividad directamente al usuario, al IoT y a otros servicios incluyendo los de integración, esto es, de “*networks of networks*”.⁴³

Por otra parte, dentro de la estrategia de asignación del espectro radioeléctrico identificado para las IMT a largo plazo, también se considera factible que en nuestro país se puedan asignar hasta 15,750 MHz en bandas milimétricas, es decir, bandas por encima de los 24GHz, en virtud del trabajo de identificación de espectro para las IMT identificado en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2019 (CMR-19), celebrada en noviembre de ese año. Esto será posible una vez que entren en vigor las nuevas modificaciones efectuadas al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

En este contexto, vale la pena señalar que a nivel global existe la tendencia de que la compartición del espectro será imperativa para la tecnología 5G. De acuerdo con el *ECC Report 205* sobre LSA⁴⁴, lo anterior se podrá implementar ya sea a través de mecanismos existentes, de autorizaciones generales, de derechos individuales de uso, y de licencias o concesiones “light” y del LSA, como lo ilustra el Cuadro 3:

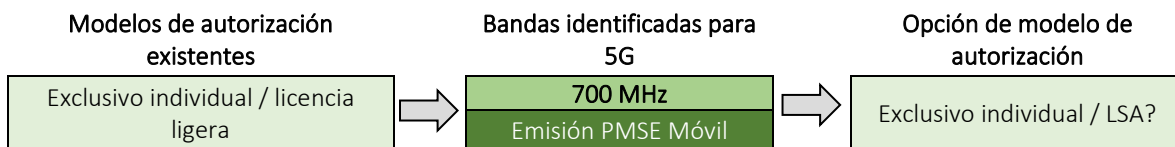
Cuadro 3. Esquemas de autorización para uso del espectro

Autorización individual (derecho individual de uso)		Autorización general (Sin derecho individual de uso)	
Licencia individual	Licencia ligera		Exento de licencia
Sin planificación/ coordinación de frecuencias individuales	Planificación/ coordinación de frecuencias individuales	Sin planificación/ coordinación de frecuencias individuales	Sin planificación/ coordinación de frecuencias individuales
Procedimiento tradicional para la emisión de licencias	Procedimiento simplificado en comparación con el procedimiento tradicional para la emisión de licencias	Registro y/o notificación	Sin registro ni notificaciones
	Con limitaciones en el número de usuarios	Sin limitaciones en el número de usuarios ni necesidad de coordinación	

Fuente: ECC Report 205, 2014.

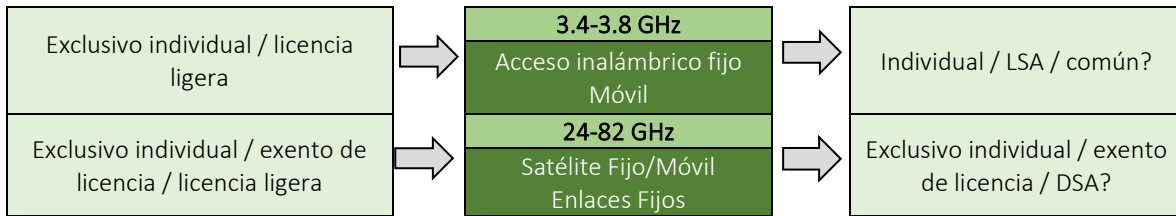
A pesar de que todavía parecería pronto para anticipar las técnicas de compartición que se utilizarán para la 5G de acuerdo con LS Telcom las bandas de frecuencias altas (*mmWave*) podrían usar una mezcla de autorizaciones como las que se ilustran en el siguiente Cuadro 4:

Cuadro 4. Opciones de autorización para uso del espectro para 5G



⁴³ Jennifer A. Manner, ESOA, EMEA Satellite Operators Association, 5G Strategy, Policy and Implementation in the Americas, en el evento de Latin America Spectrum Management Conference, noviembre 2020.

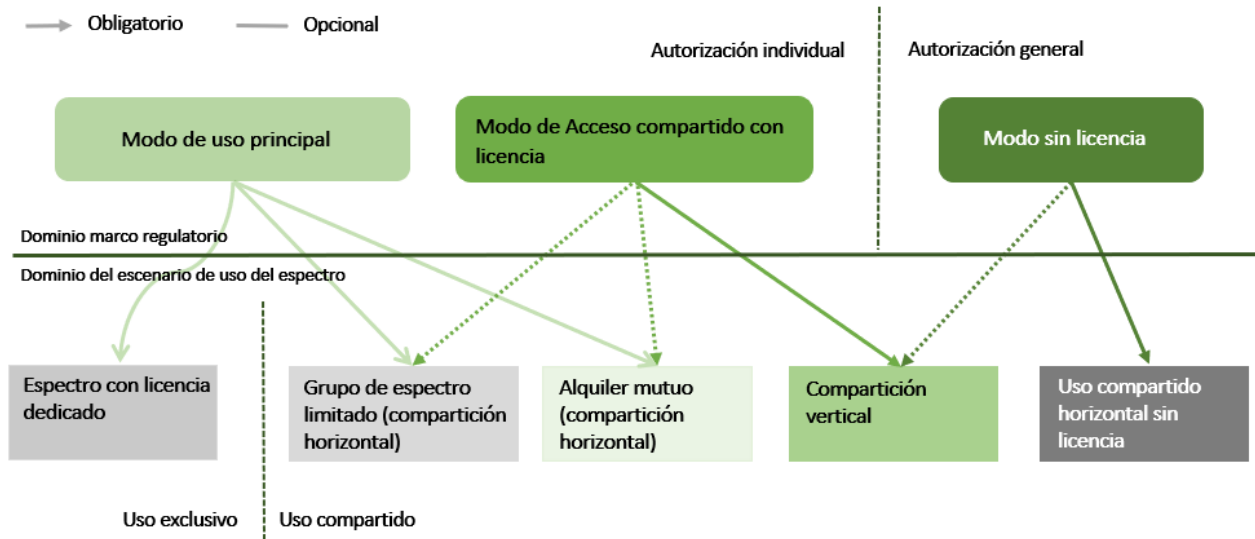
⁴⁴ ECC Report 205, 2014.



Fuente: LS telcom AG, 2021.

Adicionalmente, METIS II presenta los aspectos técnicos de la tecnología 5G para bandas superiores a la banda de 6 GHz y anticipa los siguientes escenarios⁴⁵:

Cuadro 5. Escenarios de uso/Compartición del espectro para 5G para bandas por encima de 6 GHz

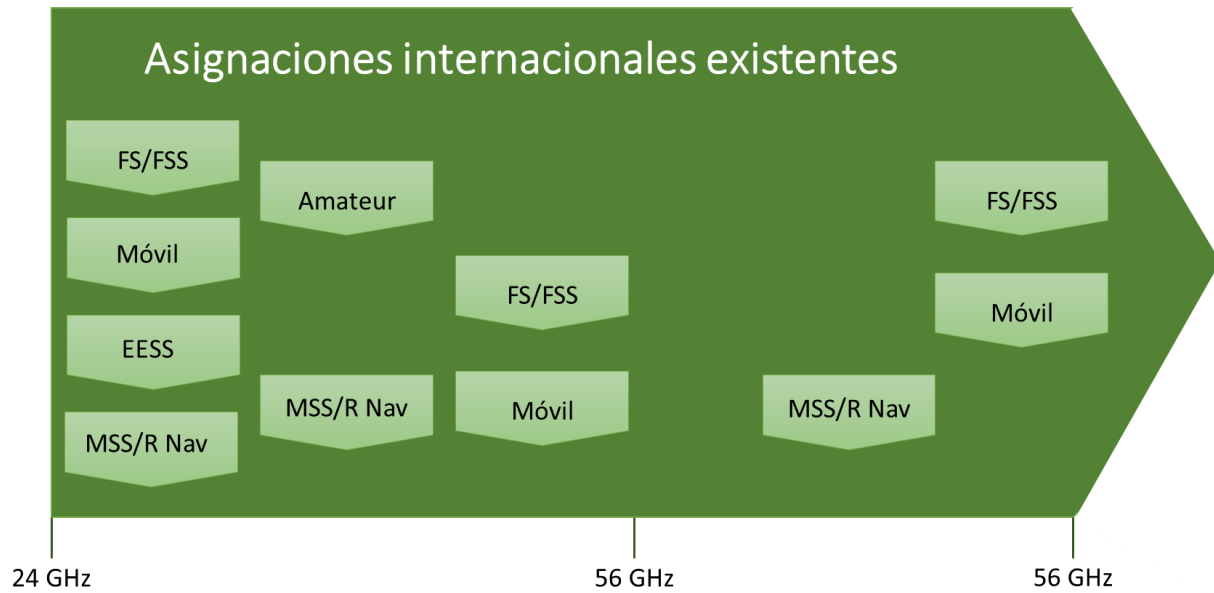


Fuente: MET14-D53.

No hay duda de que la compartición del espectro para la tecnología 5G será requerida, Esta se podrá obtener a partir de una mezcla de asignaciones existentes compartición con tecnología satelital, servicios fijos, servicios de amateur, televisión radiodifundida y navegación. Los casos extremos de uso requerirán lotes de bandas más grandes. Los estudios de la ITU-R ya han analizado cuidadosamente la coexistencia de tecnologías existentes y han arrojado que diversos servicios de 5G podrán ser desplegados en la banda C de 3.4-3.8 GHz (en su mayoría de manera no compartida). El Cuadro 6 ilustra las asignaciones existentes a nivel internacional, particularmente en las bandas por arriba de los 24 GHz:

⁴⁵ METIS II, 2015.

Cuadro 6. Asignaciones existentes a nivel internacional

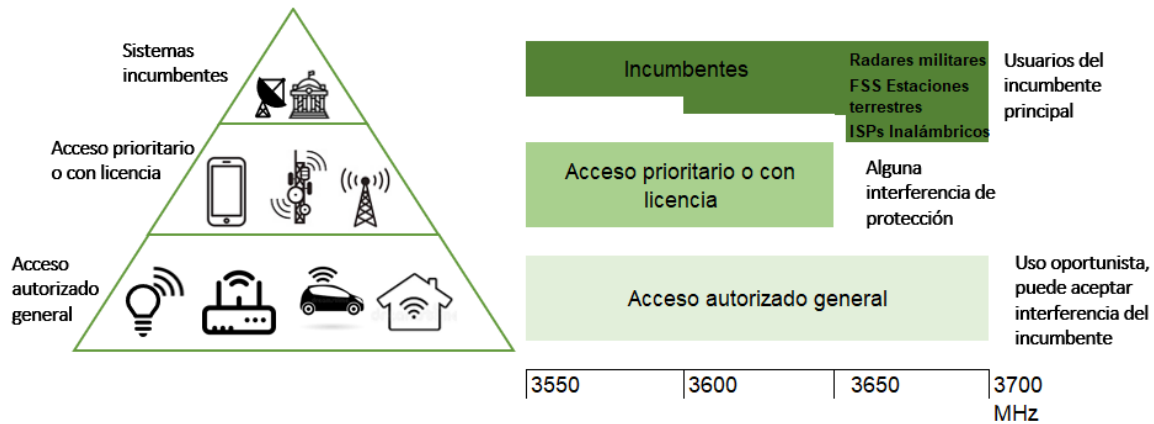


Fuente: LS Telecom AG, 2021.

Por último, vale la pena destacar el mecanismo implementado en Estados Unidos por la FCC, el CBRS (por las siglas en inglés de *Multi-tier licensing Citizen Broadband Radio Service*) adaptado en la banda C con la utilización de bases de datos.⁴⁶ Se trata de un segmento de banda de frecuencias de 150 MHz entre 3550-3700 MHz destinado para tres partes cuyo orden de prioridad es: concesionario, acceso con licencia y acceso autorizado general, respectivamente. Los concesionarios son generalmente los militares con sistemas de radar operando en los segmentos de banda de 3550-3650 MHz y 3650-3700. Sin embargo, dichos concesionarios no hacen un uso intensivo del espectro por lo que, de acuerdo con la FCC, resulta ideal para compartirse. Adicionalmente, el uso del radar se concentra justamente en las costas del este y el oeste, las regiones más densamente pobladas de los EE. UU., esta es una de las principales razones por las que la FCC propuso este sistema de acceso activo de tal manera que se pueda proteger al concesionario de interferencias al tiempo que se les permite a los operadores de telecomunicaciones compartir el espectro. El mecanismo se puede resumir ilustrativamente en la siguiente Gráfica 5:

⁴⁶ Amdocs, 2019.

Gráfica 5. El espectro CBRS



Fuente: Amdocs, 2019.

III.3 Mercado secundario del espectro

El mercado secundario del espectro se refiere principalmente a la cesión de derechos en el uso de espectro concesionado.⁴⁷ El mecanismo ha sido utilizado en diversos países para flexibilizar, agilizar y hacer más dinámica la gestión del espectro. Permite disminuir las ineficiencias que hayan ocurrido en la asignación del espectro tales como una acumulación y un uso ocioso del mismo. Es una alternativa para aquellos que necesitan obtener espectro y que no necesariamente tienen el tiempo o los recursos para que el Estado lo licite.

El mercado secundario de espectro radioeléctrico es de gran importancia por los beneficios de eficiencia económica (el uso óptimo del recurso escaso) y técnica (maximizar el uso de este), conforme lo requerido por la demanda de corto y mediano plazo de este, sin que existan elementos que restrinjan su oferta. El IFT tiene reglamentado el arrendamiento del espectro desde el 2017 a través de los *Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro radioeléctrico*. Cabe destacar que el arrendamiento se puede implementar únicamente con las bandas asignadas para uso comercial o uso privado, en su totalidad o de manera parcial y que la renta o precio materia del contrato de arrendamiento es determinado libremente por los interesados. En virtud de que el IFT es también autoridad de competencia en el sector de las TyR, al permitir el uso secundario del espectro debe prevenir fenómenos de concentración o de propiedad cruzada mediante las facultades que le otorga la Ley Federal de Competencia Económica (LFCE). Así, el interesado en arrendar el espectro debe sujetarse a un procedimiento de autorización del IFT que verifica justamente que no se generen fenómenos de concentración, antes de su realización cuando el valor del activo acumulado o el monto acordado entre las partes sobrepase los umbrales de concentración establecidos por el IFT.⁴⁸ El subarrendamiento del espectro radioeléctrico también está permitido y regulado con los citados lineamientos, aunque el

⁴⁷ Si bien se puede señalar como la figura por excelencia del mercado secundario, existen otras figuras que lo componen tales como el intercambio de bandas de frecuencias, el arrendamiento del espectro radioeléctrico y provisión de capacidad. Estas dos últimas son de especial interés ya que son las que permiten el uso compartido del espectro.

⁴⁸ IFT, Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro radioeléctrico, 2017. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5431448&fecha=30/03/2016

subarrendatario no podrá subarrendar a su vez el uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro subarrendado.

III.4 Acceso Dinámico

El acceso dinámico al espectro radioeléctrico es el proceso mediante el cual se puede aumentar la eficiencia del uso del espectro mediante el ajuste en tiempo real de los recursos radio, por ejemplo, mediante procesos de detección y sondeo del espectro local y el establecimiento de conexiones inalámbricas entre nodos cognitivos y redes.

Es decir, responde a una demanda innovadora basada en estándares técnicos para el uso del espectro, en lugar de implementar una estrategia de “primero en tiempo, primero en derecho”. Está basado en el hecho de que aún en las áreas densamente pobladas, muchas frecuencias no son ocupadas la mayor parte del tiempo. Probablemente el primer ejemplo del uso dinámico del espectro en áreas que no están concesionadas es el del Wifi. Otro ejemplo es la utilización de *TV White Spaces* (TVWS por sus siglas en inglés) el cual consiste en el uso de las frecuencias disponibles localizadas en las bandas VHF y UHF que no son utilizadas por los concesionarios del servicio de televisión radiodifundida. Estas bandas de frecuencias disponibles pueden ser utilizadas para proveer servicios de banda ancha, generalmente a través de dispositivos de baja potencia, sin causar interferencias significativas en los servicios de otros usuarios.

Para implementar el acceso dinámico al espectro es necesaria la utilización de bases de datos robustas, dinámicas e inteligentes que procesen la información sobre los parámetros técnicos de los elementos de la red en tiempo real; de radios cognitivos capaces de analizar las señales de radio en un determinado segmento del espectro. Para el caso de las frecuencias asignadas a la televisión radiodifundida, se debe tener un registro actualizado además de las estaciones de TV (potencia de transmisión, alturas de antenas, etc.) y su ubicación geográfica precisa, así como información técnica de otro tipo de equipos habilitados dentro del segmento de espectro seleccionado para TVWS. La ventaja de estas herramientas es que la información arroja la lista de frecuencias disponibles en cierta ubicación, incluso, revela el tiempo y la potencia con la que dicha frecuencia cuenta. Los dispositivos utilizados para identificar las frecuencias disponibles justamente utilizan frecuencias disponibles, por lo que existe una oportunidad de cobrar por el uso de dichas frecuencias, así como de registrar el uso de la frecuencia. En general se considera que esta información propicia un entorno regulatorio favorable.

Algunos ejemplos concretos de lo que la TVWS puede identificar para el acceso dinámico al espectro son los siguientes:

- Televisión radiodifundida: a servicios locales o regionales de baja potencia y a cable inalámbrico.
- CCTV (cámaras de seguridad) de corto alcance, por ejemplo, ZooCam de Ofcom (streaming de fotografías de los zoológicos de Londres en vivo, lanzadas por Ofcom y Google)⁴⁹;
- Acceso a internet de banda ancha en áreas rurales;

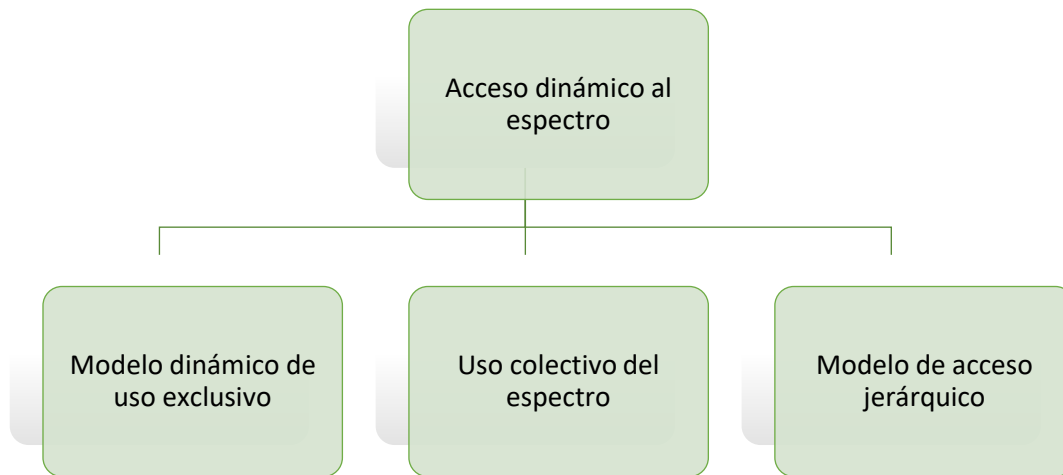
⁴⁹ <https://www.wirelesswaffle.com/index.php/index.php?m=02&y=15&d=27&entry=entry150227-080905&category=2>

Consideraciones de los mecanismos para el uso eficiente del espectro radioeléctrico

- Comunicación local: para teletrabajo o “White-Fi” (o Super Wifi), se refiere al Wifi con mayor alcance geográfico y velocidad. Puede proveer banda ancha en interiores y alcanzar velocidades de entre 400 y 800 Mbps⁵⁰;
- *Smart grids*, para Internet de las cosas de dispositivos conectados de manera inalámbrica (*mesh networks*).
- Banda ancha adicional para servicios de PPDR (por las siglas en ingles de *Public Protection an Disaster Relief*).
- Banda ancha adicional para redes LTE por ejemplo LTE-U (*Long Term Evolution Unlicensed*).

En resumen, el acceso dinámico al espectro radioeléctrico se puede representar en la siguiente Gráfica:

Gráfica 6. Acceso Dinámico al Espectro



Las ventajas y desventajas de las Acceso Dinámico al espectro se resumen en el Cuadro 7:

Cuadro 7. Ventajas y desventajas del Acceso Dinámico al Espectro

Acceso Dinámico al Espectro	Pros	Contras
Usuario concesionario	<ul style="list-style-type: none"> -Determina el uso y protege sus servicios -Puede detener el uso si lo requiere (por ejemplo, el día y la hora) 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere que documente formalmente el uso del espectro -Necesita gestionar la información para formar una base de datos -Presión para compartir

⁵⁰ <https://www.lifewire.com/what-is-white-fi-4587311>

	-Puede cobrar por el uso del espectro	
Dispositivo Whitespace	<ul style="list-style-type: none"> -Garantiza que una frecuencia pueda ser usada -El uso no debe causar interferencia -Los concesionarios pueden estar dispuestos a compartir (si se compara con el acceso puramente cognitivo⁵¹) -Existe la posibilidad de registrar el uso (para proteger su servicio) 	<ul style="list-style-type: none"> -El concesionario determina el uso (puede ser restrictivo) -Necesita conocer la ubicación exacta -Necesita una interfaz de la información -Puede ser que tenga que pagar por el uso del espectro

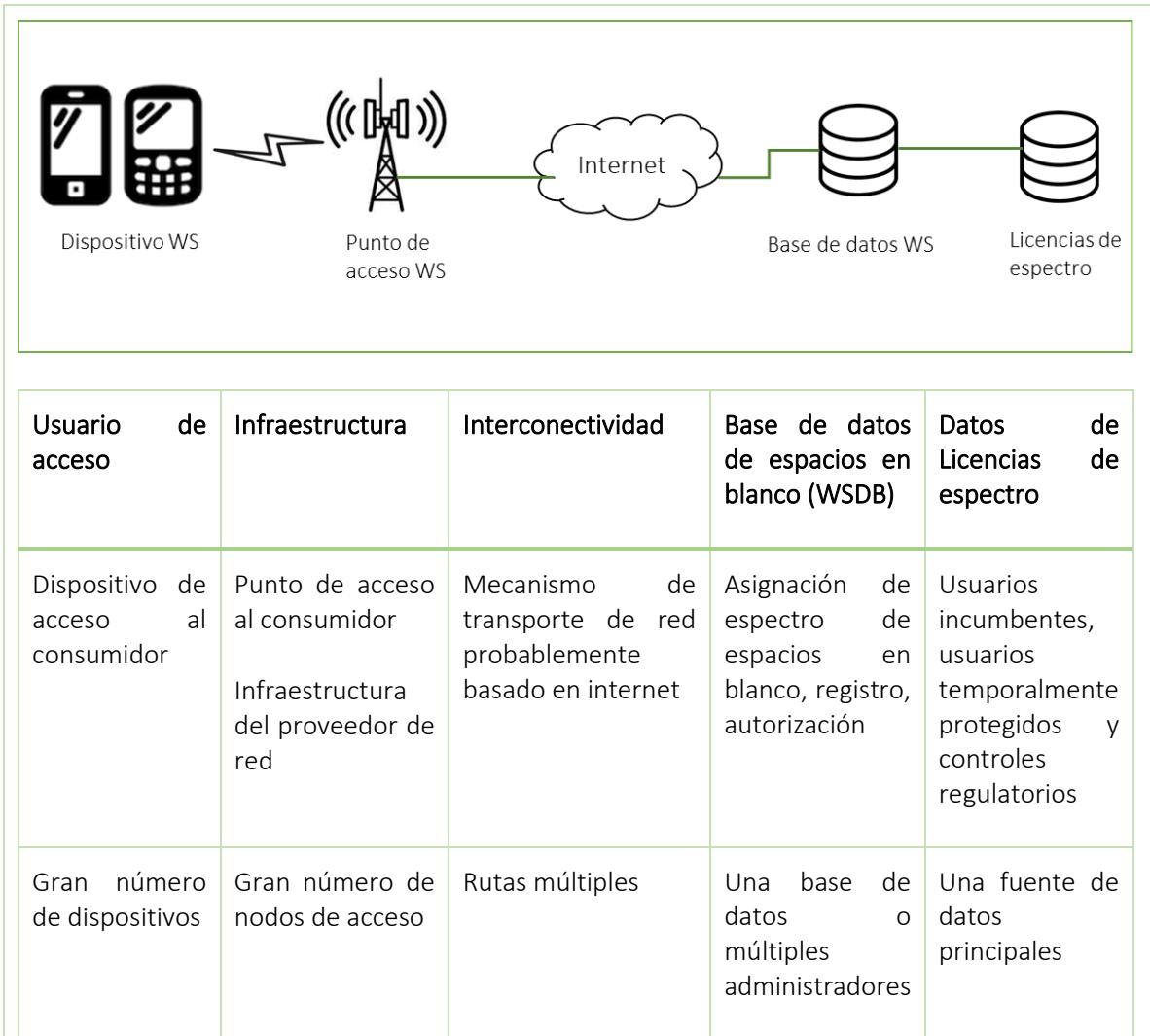
A mayor abundamiento algunos problemas que se podrían presentar en el uso de espacios blancos:

1. Existen ya usuarios en las frecuencias de espacios blancos, son justamente las estaciones de televisión radiodifundida, los PMSE y los LPAUX (ambos se refieren a eventos especiales).
2. La disponibilidad de los canales varía por ubicación y tiempo. Algunos lugares tienen cero espacios, otros tienen mucho, algunos otros varían debido al uso de micrófonos inalámbricos.
3. La posibilidad de interferencia es elevada. La televisión radiodifundida generalmente usa dispositivos de corto alcance, pero la tendencia dirige hacia micrófonos inalámbricos más sofisticados que requieren de mayor ancho de banda.
4. El potencial del número de dispositivos es enorme. Por ejemplo, las estaciones base de wifi en caso de que se vuelvan populares.
5. Los canales no se reservan con precisión. En realidad, no hay un canal correcto o exacto, y si lo hubiera no se tiene derecho a mantenerlo.

Lo propuesta para mitigar los problemas arriba mencionados consiste en el uso de bases de datos para manejar adecuadamente la asignación del espectro, lo anterior se resume en el siguiente Cuadro:

⁵¹ Las funcionalidades cognitivas pueden ser complejas y costosas de implementar pues son aquellas como la detección espectral, el aprendizaje autónomo, la cooperación, el razonamiento, etc.

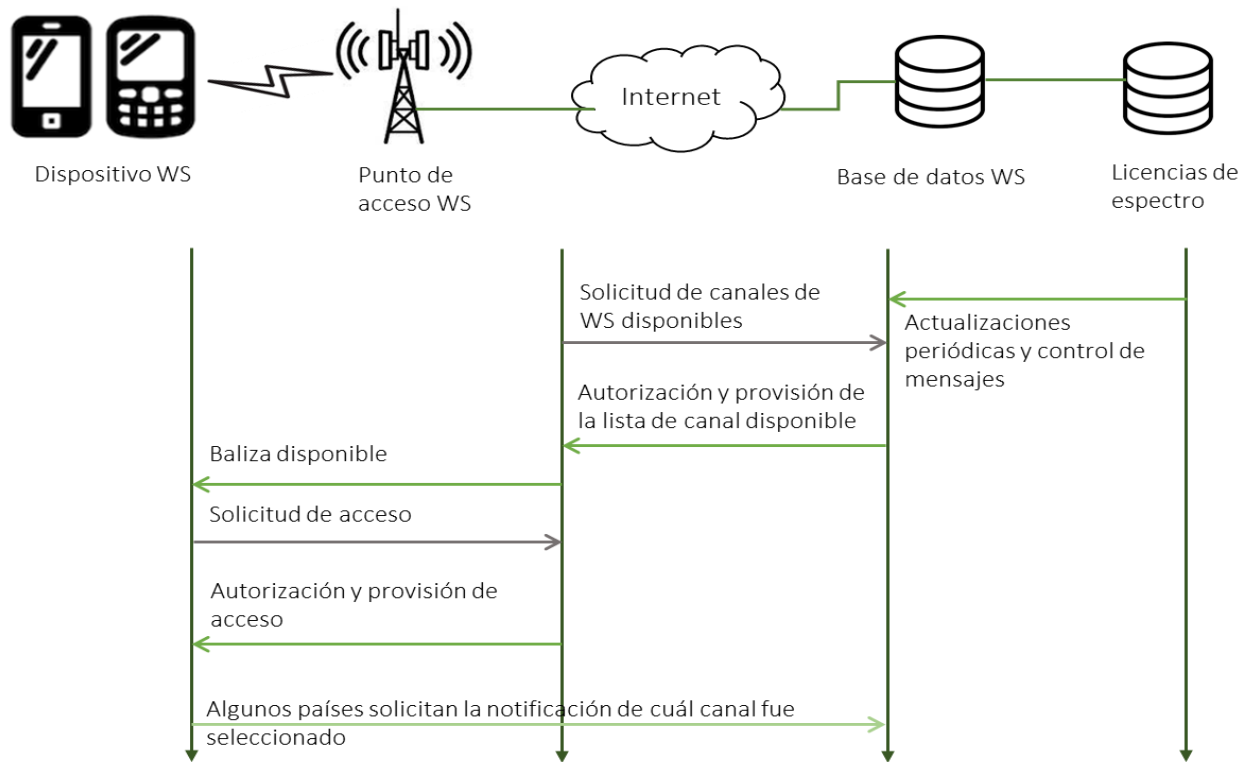
Cuadro 8. Uso de bases de datos para gestionar la asignación de espectro



Fuente: LS Telcom AG, 2021.

Luego entonces, la siguiente ilustración resume lo que hace precisamente la base de datos:

Cuadro 9. Lo que hacen las bases de datos



Fuente: LS Telcom AG, 2021.

Por otro lado, se ha discutido últimamente sobre el uso del espectro en los sistemas de radiocomunicaciones con capacidades cognitivas tienen características innovadoras que pueden emplearse para al acceso dinámico⁵².

Según el Informe UIT-R SM.2152 de la UIT, un sistema de radiocomunicaciones con capacidades cognitivas (CRS) es aquel con tecnología que permite al sistema extraer información de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su situación interna, adaptar de manera dinámica y autónoma sus parámetros y protocolos operacionales en función de la información obtenida a fin de cumplir unos objetivos predeterminados, y extraer enseñanzas de los resultados obtenidos.

Como se indica en el Informe UIT-R M.2225, los nodos CRS tienen tres características técnicas que se resumen en el Cuadro 10:

⁵² Informe UIT-R SM.2405-0 "Principios, retos y problemas de la gestión del espectro relacionado con el acceso dinámico a las bandas de frecuencias mediante sistemas de radiocomunicaciones con capacidades cognitivas". Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2405-2017-PDF-S.pdf

Cuadro 10. Resumen de las capacidades y características técnicas de los CRS

Característica	Enfoque/Método	Descripción
1. Obtención de información	Enlace radioeléctrico y evaluación de la calidad de la red	Los nodos CRS pueden controlar las características de calidad del enlace radioeléctrico y los parámetros de calidad de la red, según el tipo de aplicación.
	Escuchar un canal de control inalámbrico	Los nodos CRS reciben información transmitida (por ejemplo, información sobre radiocomunicaciones, operadores y tecnologías disponibles) por un canal predefinido.
	Detección de espectro	Los nodos CRS obtienen directamente información del entorno radioeléctrico, por ejemplo, sobre el espectro no utilizado. Los métodos empleados son, entre otros, el filtrado adaptado, la detección de energía y la cicloestacionaria.
	Geolocalización	Los nodos CRS pueden obtener su localización utilizando técnicas de geolocalización.
	Utilización de bases de datos	Los CRS permiten acceder a bases de datos con información sobre, por ejemplo, las frecuencias disponibles, los niveles de potencia de transmisión permitidos y el entorno operativo.
	Colaboración	Los nodos CRS pueden compartir entre sí la información obtenida.
2. Toma de decisiones	Centralizado	Para la coordinación de recursos entre los nodos CRS en situaciones en que se requiere una configuración y una optimización globales. La entidad central (gestor de recursos de red, estación de base) recopila la información del CRS y toma una decisión de optimización global.
	Distribuido	Los CRS pueden necesitar múltiples entidades de gestión para tomar decisiones sobre su reconfiguración (por ejemplo, múltiples estaciones de base, topología en malla).
2b. Ajuste de parámetros/protocolos operativos	Radiocomunicaciones definidas por software	Los CRS modifican de manera dinámica y autónoma sus parámetros y/o protocolos operativos por medio de la reconfiguración con el fin de alcanzar determinados objetivos predefinidos. Dichos parámetros son, entre otros: – Potencia de salida – Frecuencia de funcionamiento – Tipo de modulación – Tecnología de acceso radioeléctrico – Otros parámetros/protocolos
	Múltiples módulos de hardware	
3. Aprendizaje	–	Permite mejorar el funcionamiento de los CRS gracias a la información almacenada procedente de sus medidas y resultados previos.

Fuente: Rec. UIT-R M.2225

IV. Benchmark internacional

IV.1 Coexistencia de Tecnologías

En cuanto a la compartición del espectro mediante un mecanismo de LSA, se han propuestos los segmentos de bandas de frecuencias para los servicios siguientes:

- 470-790 MHz
 - Banda UHF para televisión radiodifundida,
 - LSA para proveer mejor acceso de “radio cognitivo”⁵³ o para PMSE⁵⁴.
- 2300-2400 MHz
 - Generalmente otorgado para uso militar o gubernamental,
 - Las bandas existentes para IMT
- 3400-4200 MHz
 - Banda C Satelital,
 - Bandas asignadas para IMT en 85 países de la Región 1 y de la Región 2,
 - Generalmente no usado para DTH y por lo tanto con requerimientos de limitación geográfica.

El caso de Alemania es de resaltar ya que reservó una porción de 100 MHz en la banda de 3.7-3.8 GHz para compartirlo con servicios de 5G verticales. Suiza y el Reino Unido.

Cuadro 11. Acceso compartido o localizado en bandas de alto valor

País	Banda(s) de frecuencia	Tipo de compartición
Alemania	3.7 – 3.8 GHz	Vertical con licencia / geográficamente compartida
Suecia	3.72 – 8.8 GHz	Reservado para licencia regional
Reino Unido	1800 MHz	Licencia de acceso compartido
	2300 MHz	Licencia de acceso compartido y Licencia de acceso local
	2600 MHz	Licencia de acceso local
	3.8 – 4.2 GHz	Licencia de acceso compartido

Fuente: LS Telecom AG, 2021.

En cuanto al uso dinámico del espectro, se ha realizado en diversos países bajo la coordinación del respectivo regulador de las telecomunicaciones. El primer país en implementar la tecnología TVWS fue Estados Unidos en 2008 bajo la coordinación de la *Federal Communications Commission* (FCC por sus siglas en inglés), seguido del Reino Unido en 2015 bajo la coordinación de la *Office of Communications* (Ofcom por sus siglas en inglés). En estos dos países tanto la regulación como el estándar tecnológico varían en flexibilidad, siendo más rígidos en Estados Unidos.

⁵³ Tecnología que permite el acceso a aquellos usuarios secundarios que deseen operar en las bandas de frecuencia en las que opera el usuario primario, toda vez que éstos no utilicen el espectro en el dominio del espacio y tiempo. Dicho acceso es logrado a través de un método dinámico y coordinado, así como un esquema que garantice la mínima interferencia posible. IFT (2017).

⁵⁴ Por sus siglas en inglés de *Programme Making and Special Events*, se refiere a dispositivos de bajo alcance, por ejemplo, micrófonos inalámbricos, cascos de escucha, enlaces de datos o audio de corto alcance.

Además de Estados Unidos y el Reino Unido, otros países como Canadá, Singapur, Finlandia y Sudáfrica, cuentan con políticas de operación en curso o en discusión sobre las bases de datos para la TVWS. El Cuadro 12 resume los países de Europa que están discutiendo o que han ya implementado políticas para LSA y para el uso de espacios blancos:

Cuadro 12. LSA y acceso a espacios blancos en Europa

País	Acceso compartido con licencia (LSA)	Uso de espacios en blanco
	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?
Austria	<p>No</p> <p>RTR consultó hasta el 30 de agosto de 2019 sobre las bandas de 2.3 GHz y 26 GHz.</p> <p>En la consulta se estudió la posibilidad de conceder licencias a nivel nacional en la banda de 2.3 GHz que estarían sujetas a LSA con el uso existente de cámaras inalámbricas y telemetría. Sin embargo, el documento pedía principalmente la demanda de espectro de las partes interesadas en la banda, sin hacer propuestas detalladas sobre cómo se organizaría el intercambio.</p>	No
Finlandia	<p>No</p> <p>Sin embargo, Traficom fomenta los experimentos mediante la concesión de licencias de prueba.</p> <p>(Comunicado de prensa del 18 de enero de 2019)</p>	<p>Sí</p> <p>El Decreto del Gobierno 1246/2014 asignó la banda 470-694 MHz para la radio cognitiva sobre una base no protegida y sin interferencias.</p>
Francia	<p>No</p> <p>A la compañía Red Technologies, que proporciona soluciones de LSA a los operadores, se le permitió realizar un piloto de LSA en la banda de 2.3 a 2.4 GHz de enero a abril de 2016 en París. En la consulta de marzo de 2017 sobre la necesidad de espectro adicional, ARCEP mencionó que la LSA dinámica podría implementarse en la banda de 2.3 GHz, pero que habría que evaluar la compatibilidad con los sistemas existentes del Ministerio de Defensa.</p>	No
Irlanda	No	<p>No</p> <p>El sistema de licencias de prueba y ensayo de ComReg ofrece a los usuarios del espectro la oportunidad de solicitar licencias temporales de prueba dentro de la banda 470-790 MHz para la</p>

Consideraciones de los mecanismos para el uso eficiente del espectro radioeléctrico

País	Acceso compartido con licencia (LSA)	Uso de espacios en blanco
	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?
		<p>tecnología de acceso dinámico al espectro.</p> <p>En abril de 2019, se lanzó un proyecto piloto conjunto de Microsoft, Ballyhaise Agricultural College y Net1 para utilizar espacios en blanco de tv para banda ancha de alta velocidad en tierras agrícolas en Ballyhaise.</p>
Italia	<p>Sí</p> <p>Se adoptó un marco de compartición en las bandas 3.6-3.8 y 26.5-27.5 GHz, incluido en las reglas de subasta.</p> <p>Tras la consulta de AGCOM de julio de 2016 sobre el marco y la arquitectura de compartición, otra candidata para compartir es la banda de 2.3-2.4 GHz (que se utiliza para enlaces fijos, PMSE y aplicaciones militares, pero también por un piloto de LSA).</p> <p>(Decisión 121/16/CONS del AGCOM)</p>	No
Países Bajos	<p>No</p> <p>La Agencia de Radiocomunicaciones inició en septiembre de 2016 un piloto de LSA en la banda 2.3-2.4 GHz para enlaces de vídeo móviles.</p> <p>La agencia creó un sistema de reservas en línea donde las partes interesadas pueden reservar un canal en un área determinada hasta por dos días consecutivos.</p>	No
Portugal	<p>No</p> <p>En enero de 2018, ANACOM y sus socios lanzaron el estudio sobre el modelo de compartición de espectro con licencia de acceso compartido (LSA). El regulador publicó el informe final del estudio el 15 de septiembre de 2020, que concluye que la implementación del modelo LSA en Portugal es factible y alcanzable.</p>	No
Eslovaquia	No	<p>No</p> <p>Towercom, el principal proveedor de radiodifusión televisiva formó parte del proyecto financiado por la UE sobre</p>

País	Acceso compartido con licencia (LSA)	Uso de espacios en blanco
	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?	¿Propuesta de la autoridad regulatoria nacional publicada?
		radio cognitiva para el uso eficiente de los espacios en blanco.
España	<p>Sí</p> <p>El Real Decreto 123/2017 sobre espectro permite la LSA en bandas que se identificarán en el Plan Nacional de Frecuencias.</p> <p>LSA puede ser impuesto por el espectro NRA (Ministerio de Economía) para hacer un uso más eficiente del espectro:</p> <p>*en zonas geográficas en las que los derechos de uso del espectro están infrautilizados.</p>	No
	<p>*cuando lo permita la tecnología, de forma compatible con los derechos anteriores y de forma coherente con las medidas de armonización de la UE aplicables.</p> <p>Plan 5G: el ministerio analizará la posibilidad de LSA en la banda 2.3-2.4 GHz (actualmente utilizada para aplicaciones de telemetría y enlaces de radio de TV móvil). Todavía no hay acciones de seguimiento.</p>	
Suecia	<p>No</p> <p>No obstante, en las condiciones de licencia de los 700 MHz y 3.5 GHz se contempla la posibilidad de permitir el uso compartido del espectro, siempre que se dé prioridad y se proteja el uso del licenciatario primario.</p>	No
Reino Unido	<p>Sí</p> <p>Ofcom publicó una declaración sobre el marco para la compartición del espectro el 14 de abril de 2016. La declaración establece el marco que Ofcom aplicará a las futuras decisiones de autorización del espectro para evaluar las oportunidades de compartición del espectro.</p> <p>Junto con esta declaración, Ofcom publicó una convocatoria de comentarios que invitaba a las partes interesadas a hacer comentarios sobre la primera nueva oportunidad que Ofcom está considerando bajo el marco, para la banda 3.8-4.2 GHz.</p>	<p>Sí</p> <p>Ofcom publicó una declaración el 12 de febrero de 2015 aprobando el uso de espacios en blanco de TV en la banda 470-790 MHz. Para evitar interferencias a los usuarios de TDT y PMSE de la banda, las bases de datos aplicarán reglas, establecidas por Ofcom, para poner límites a los niveles de potencia a los que pueden funcionar los dispositivos de espacio en blanco</p>

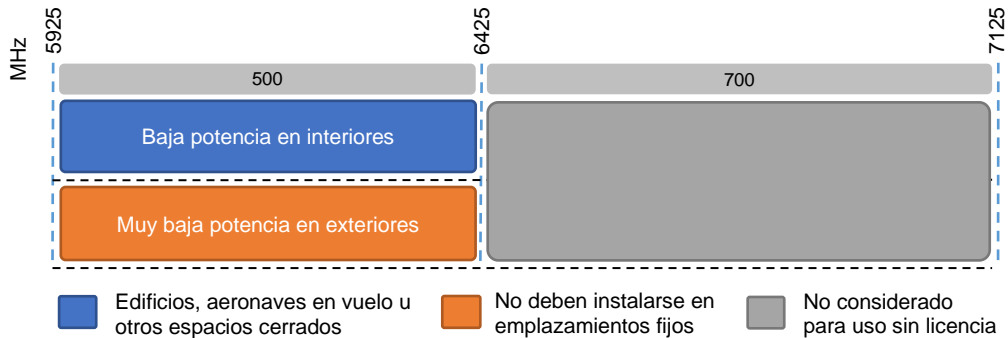
Fuente: Cullen International, consultado en julio 2021.

Con respecto a uso no concesionado del espectro, la ITU emitió en julio 2021 la Directrices de prácticas óptimas del GSR-21, en las cuales recomienda emitir la ampliación de los marcos jurídicos para los regímenes experimentales de innovación digital utilizando entornos aislados para varios sectores tales como la medicina, el transporte, la agricultura, las finanzas, el comercio y los servicios gubernamentales, lo cual requiere de una innovación para la gestión del espectro. Para lo anterior, recomienda un uso equilibrado del espectro entre las concesiones y los servicios que no requieren de una concesión estudiando nuevas normas que permitan la ampliación de la banda ancha sin concesión en la banda de 6 GHz (considerada como banda de frecuencias medias)⁵⁵ para la prestación del Wi-Fi 6E, garantizando que, en esa banda, continúen desarrollándose con normalidad las operaciones de los concesionarios establecidos.

En México, el segmento de banda de 5925-7125 MHz de acuerdo con el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias se encuentra atribuida para la prestación de los diferentes servicios que corresponden a espectro determinado por lo que es necesario contar con un título habilitante que autorice la prestación de servicios. En otras partes del mundo existen diferentes esquemas de licenciamiento, atribuciones de servicios o aplicaciones. Por ejemplo, en EE. UU., la FCC propuso la compartición de la banda entre los servicios otorgados por concesionarios y aquellos que no requieren concesión para operar junto con los parámetros técnicos y condiciones de operación en la banda. A mayor abundamiento, actualmente se permite la compartición de la banda para uso sin concesión “de potencia estándar” y de “baja potencia en interiores” mediante dispositivos que proveen capacidad de red y cuyas transmisiones están abajo control del punto de acceso. Para los puntos de acceso de potencia estándar es necesario contar con un sistema de AFC el cual determina las frecuencias en las que los dispositivos podrían operar sin causar interferencias perjudiciales a los receptores de los radioenlaces del servicio fijo y radioastronomía. En Canadá, el ISED (Ministerios de Innovación, Ciencia y Desarrollo Económico) también sometió a consulta el uso de la banda 6 GHz y reconoció que es altamente utilizada por radioenlaces de servicios fijos y satelitales, aunque tienen visión de que la coexistencia con nuevos servicios podría ser posible dependiendo de las características técnicas y operacionales de los equipos para proteger a los servicios existentes. Brasil aprobó que un segmento de 22.5MHz de la banda de 6GHz se excluya de la categoría “con restricciones de uso” de tal manera que el segmento 5925-7125 MHz quedara de forma continua y fuera de la tabla de bandas de frecuencias con restricciones de uso para posteriormente definir las características técnicas del uso por sistemas de radiación restringida. El Reino Unido permite la operación de dispositivos RLAN (Redes Radioeléctricas de Área Local -de acceso inalámbrico) que no requieren concesión, incluyendo Wi-Fi dentro del segmento de frecuencias 5925-6425 MHz, en coexistencia y compartición del dicho segmento con los servicios que cuentan con una concesión tales como: enlaces del servicio fijo y fijo por satélite, comunicaciones del servicio móvil y otros servicios que operan con un título secundario incluyendo radioaficionado, dispositivos de corto alcance y aplicaciones de banda ultra ancha. Asimismo, Ofcom considera que estas condiciones son tecnológicamente neutrales y, por ende, las nuevas tecnologías como Wi-Fi 6E y 5G NR-U podrán acceder a los 500 MHz de espectro radioeléctrico que han habilitado, como muestra el Cuadro 13 a continuación.

⁵⁵ Permiten una mayor velocidad de transferencia de datos a distancias menores en comparación con bandas de frecuencias inferiores.

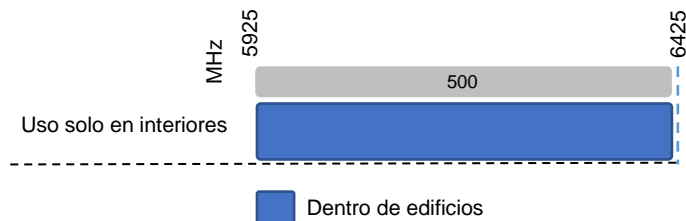
Cuadro 13. Representación gráfica del uso sin licencia en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en Reino Unido



Fuente: IFT 2020 Banda de frecuencias 5925-7125 MHz.

La Comisión Europea (CE) analizó de manera regional la coexistencia entre sistemas WAS/RLAN y los servicios que actualmente hacen uso del segmento de frecuencias 5925-6425 MHz dentro de los 27 países que conforman a la Unión Europea (UE). Con estudios de factibilidad e identificación de condiciones técnicas para la provisión de servicios inalámbricos de banda ancha concluyó que es posible la coexistencia de dispositivos WAS/RLAN en interiores con los servicios fijo, fijo por satélite, radioastronomía, sistemas de banda ultra ancha, transporte inteligente y comunicaciones de control en trenes. La CE también reconoció que dispositivos WAS/RLAN con altas potencias en interiores, al igual que el despliegue en exteriores pueden presentar riesgos de interferencias perjudiciales a todos los servicios analizados, por tal motivo llevará a cabo estudios adicionales que aborden estas consideraciones, mientras tanto, la recomendación respecto al uso sin licencia en los 27 países de la UE se representa en el Cuadro 14:

Cuadro 14. Representación gráfica del uso sin licencia recomendado en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en la Unión Europea



Fuente: IFT 2020 Banda de frecuencias 5925-7125 MHz.

La recomendación de la CEPT respecto al uso sin licencia en los 27 países de la Unión Europea se describe en la Imagen 1156.

IV.2 Compartición

La primera experiencia del uso compartido del espectro bajo el mecanismo ASA se dio en 2011 entre Nokia y Qualcomm, quienes pusieron a disposición del mercado sus bandas licenciadas.⁵⁷ Los mecanismos ASA y LSA fueron los primeros en materializar la compartición del espectro dentro de un marco legal con cláusulas de no interferencias y estándares de calidad mínimos. Los primeros en hacer uso de un LSA fueron La Conferencia Europea Postal y la Administración de Telecomunicaciones (EC y CEPT, respectivamente), en sus primeros contratos excluyeron los conceptos de acceso oportunista del espectro, uso típicamente secundario, o servicio secundario sin protección.

IV.3 Mercado secundario

En Estados Unidos de América se usan dos tipos de arrendamiento del espectro, una en la que el concesionario mantiene las obligaciones legales y de facto (el control diario) del uso del espectro, pero permite a otro operador utilizarlo, esto significa que el concesionario original debe tener la capacidad de gestionar el espectro utilizado por el arrendatario. El segundo tipo de contrato es aquel en el que el arrendatario adquiere también los derechos y obligaciones asociados a la concesión por el periodo que dure el arrendamiento.

En Europa, los estados miembros permiten el comercio del espectro en las bandas celulares de uso común⁵⁸, debido a los beneficios económicos que el mecanismo conlleva buscando ajustes de condiciones de mercado favorables para los usuarios. La única excepción es Finlandia en donde el mercado secundario del espectro está prohibido. Todos los países con excepción de Polonia y Eslovaquia requieren revisar el contrato de arrendamiento entre las partes antes de aprobarlo por las autoridades regulatorias. Esta regulación europea no impone el arrendamiento de espectro en otras bandas adicionales a las mencionadas. En cambio, el Reino Unido, quien adoptó el arrendamiento del espectro desde el 2004 permite que los contratos se lleven a cabo en un rango más amplio de servicios, por ejemplo: radio, uso marítimo, satélite, servicios fijos y para uso científico. Un servicio que Europa considera de importancia por incluir objetivos políticos y sociales es el de la televisión radiodifundida por lo que el espectro destinado a dicho servicio no se incluye en los planes de mercado secundario, incluso Polonia lo prohíbe explícitamente.

En Australia y Nueva Zelanda, al igual que en Estados Unidos, las concesiones de espectro para radiocomunicaciones si se incluyen en el mercado secundario del espectro.

⁵⁶ La CEPT continúa estudiando el segmento de frecuencias 5925-6425 MHz para su posible uso por sistemas RLAN en exteriores. Por otro lado, la CEPT, como parte de la Región 1, también estudia el segmento de frecuencias 6425-7125 MHz para su posible uso por sistemas IMT como se aborda en la sección **Identificación del segmento de frecuencias 5925-7125 MHz para IMT** del presente documento.

⁵⁷ Attorney, Media, Entertainment & Communication Section, Antitrust Division, United States (U.S.) Department of Justice.

⁵⁸ Las bandas son 790-862 MHz, 890-915 MHz, 925-960 MHz, 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz, 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz, 2110-2170 MHz, 2.5- 2.69 GHz and 3.4-3.8 GHz. Ver Commission Decisions 2008/411/EC, 2008/477/EC and 2009/766/EC.

Japón, Singapur y Sudáfrica no permiten el mercado secundario del espectro.

IV.4 Acceso dinámico

El acceso dinámico al espectro a través de radio cognitivo en mercados secundarios fue respaldado en primer lugar por la FCC en Estados Unidos de América, ofreciendo oportunidades para mejorar la utilización del espectro. También, el Instituto Nacional Tecnológico de Información y Comunicaciones (NICT por las siglas en inglés de *National Insitute of Information and Communications Technology*) de Japón, caracterizó el SDR (por las siglas en inglés de *Software Defined Radio*) y el radio cognitivo desde perspectivas técnicas y regulatorias. Por su parte, en un principio, Ofcom se mantuvo escéptico sobre la economía de la disposición dinámica del espectro mientras que COMREG (por las siglas en inglés de *Commission for Communications Regulation*) de Irlanda, impuso algunas restricciones al acceso dinámico al espectro, pero declaró que promovía la innovación y en 2007 asignó 100 MHz de espectro para uso experimental y demostraciones de resultados del uso dinámico.

En América Latina, Guatemala utiliza Títulos de Usufructo de Frecuencias (TUF) en los que especifica los parámetros de uso del espectro que establecen una transición de la asignación del espectro hacia un esquema dinámico.

V. Conclusiones y recomendaciones de mejores prácticas

La planificación oportuna en el espectro radioeléctrico habilita y promueve el desarrollo de comunicaciones inalámbricas de nueva generación, lo que permite contribuir a disminuir la brecha digital en México. Además, se ha observado que ante contingencias humanitarias o de salud como por la que se pasa actualmente a nivel mundial se ha incrementado sustancialmente la demanda de acceso a Internet.⁵⁹

Hace tiempo que el espectro concesionado se comparte entre usuarios de distintos niveles. Para asegurar la adaptabilidad y éxito de los mecanismos de compartición de espectro es crítico identificar las posibles amenazas y vulnerabilidades de seguridad para poder diseñar medidas que las contrarresten. Por ejemplo, la intervención regulatoria es de particular importancia cuando la compartición de espectro se da entre servicios militares (del gobierno) y servicios comerciales. Es recomendable preparar una taxonomía de riesgos con un enfoque que considere los mecanismos de coexistencia de tecnologías tanto de manera preventiva como de manera correctiva (con sanciones de violación de reglas). Respecto a los posibles escenarios de compartición de espectro para 5G se debe tomar en cuenta que es necesario realizar un balance entre elementos regulatorios múltiples tales como las condiciones de competencia, la flexibilidad de la disponibilidad y la facilidad y rapidez del acceso al espectro, así

⁵⁹ OECD, 2020. Consultable en el siguiente enlace: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/keeping-the-internet-up-and-running-in-times-of-crisis-4017c4c9/>

como el hecho de que las propiedades físicas de las bandas mmWave (milimétricas o bandas altas) presentan limitaciones de rango.

En cuanto a la coexistencia de tecnologías, se considera oportuno llevar a cabo acciones en la planificación del espectro radioeléctrico a fin de satisfacer dicha demanda, ya sea incrementando la cantidad de espectro radioeléctrico disponible para dispositivos de acceso inalámbrico, o bien, al optimizar el uso de ciertas bandas de frecuencias para promover su uso eficiente, como es el caso de la banda de 6 GHz. Durante los últimos cinco años algunos países han llevado a cabo estudios de compartición y compatibilidad entre los sistemas Wi-Fi de nueva generación y los servicios que hacen uso de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz, lo que ha resultado en la implementación de diferentes estrategias y parámetros técnicos que permiten que los sistemas Wi-Fi de nueva generación puedan operar en dicha banda de frecuencias (ver Cuadro 2 de la sección III.1). En consecuencia, distintas organizaciones gubernamentales, asociaciones internacionales y la propia industria han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías, que permiten compartir la banda de frecuencias de 6 GHz con los servicios existentes optimizando así el uso del espectro radioeléctrico.

Se puede pensar que el mecanismo LSA es una manera “más barata” de obtener acceso al espectro para servicios móviles. Sin embargo, también lo hace menos certero que un concesionamiento primario y por lo tanto disminuye su valor, lo anterior invita a reflexionar sobre si las características de la compartición de espectro son menos deseables para los concesionarios. También se ha cuestionado si LSA es una manera de obligar a los usuarios del espectro (por ejemplo, al gobierno) a “liberar” espectro designado para servicios móviles. Sin embargo, lo anterior supone que el uso que el gobierno le da al espectro no es ni universal ni intenso, por lo que se ha cuestionado si se trata de una estrategia de presión para obligar al concesionario a hacer buen uso del espectro lo que sería económica y socialmente eficiente. Sin embargo, la compartición del espectro no es algo nuevo, diversos reguladores en la Unión Europea, América y Asia apoyan alguna forma de compartición de espectro. Por ejemplo, la banda C ha demostrado una buena compartición con los servicios de telecomunicaciones móviles (IMT).

Con respecto a las bases de datos recopiladas para tener acceso a los espacios blancos, esto es para el DSA a través de TVWS, todavía existen varios factores que los reguladores deben considerar para decidir si implementan dicha herramienta. Por ejemplo, el hecho de que existe un número considerable de bases de datos de espacios blancos alrededor del mundo; que existe un número potencial considerable de aplicaciones para los espacios blancos; y que quizá es todavía muy pronto para decidir si las soluciones que ofrece el TVWS tienen un futuro a largo plazo, o son simplemente una solución de corto plazo.

A mayor abundamiento, en Alemania *BMetzA* (*Bundesnetzagentur* Agencia Federal de Redes recientemente tomó la iniciativa de proponer una regulación para el segmento de banda 3.7-3.6 GHz que se dirige específicamente al uso por industrias verticales como por ejemplo la industria automotriz, PMSE (por las siglas en inglés de *Program Making and Special Events*), etc. Se prevé que otras jurisdicciones de Europa adopten este esquema de regulación que sigue en debate, particularmente por los operadores de redes móviles quienes intentan competir en ese campo con servicios específicos para las empresas verticales a través de tecnologías que permiten asignar “rebanadas” de red (*network slices*).

En cuanto al mercado secundario del espectro, de acuerdo con la práctica internacional, es recomendable permitir el mecanismo en las bandas usadas para IMT, uso marítimo y radiocomunicación previo análisis de efectos en la competencia y libre concurrencia del mercado analizado. La práctica internacional converge a que el arrendador o adquiriente temporal del espectro licenciado a otro operador, debe mantener todos los derechos y obligaciones que la concesión conlleva, así como permitir la libre negociación de la prestación por el arrendamiento del espectro a los directamente involucrados, pues el arrendamiento del espectro es voluntario y no obligatorio, prácticas que efectivamente se implementan en México.

En cuando al uso dinámico del espectro, la revisión de mejores prácticas y la temprana etapa en la que se encuentra este mecanismo que también busca un uso eficiente del espectro, nos lleva a concluir que existen todavía algunas preguntas sin responder sobre la eficacia de la implementación del DSA. Por ejemplo:

- ¿Quién debe operar la base de datos? ¿el regulador, el concesionario del espectro o el tercero interesado en el acceso dinámico?
- ¿Quién debe pagar la base de datos? ¿podría o debería ser comercializable?
- ¿Quién es el responsable de la precisión de la base de datos? ¿cuántas bases de datos deberían existir?
- ¿Qué exactamente contiene la base de datos? ¿las zonas en las que opera exclusivamente el concesionario? ¿o una transmisora de información para que la base de datos calcule constantemente el espectro disponible?
- ¿Debe haber una interfaz standard?
- ¿Cómo deben conectarse los dispositivos de whitespace a la base de datos?
- ¿Qué información se debe proveer a los dispositivos de whitespace? ¿la lista de frecuencias, solamente una frecuencia (seleccionada por un proceso de optimización) o la información de otros dispositivos de whitespace?

Para responder a estas preguntas, los reguladores, la industria, la academia y los organismos internacionales encargados de la gestión óptima del espectro radioeléctrico en el planeta deben estar seguros de que existe suficiente interés comercial por las bandas aptas para el DSA y de que la industria está dispuesta a invertir en la generación de dispositivos para la ubicación de frecuencias disponibles.

En cuanto al acceso dinámico del espectro, particularmente importante, es saber cómo se van a resolver las preocupaciones de confidencialidad, vulnerabilidad y seguridad nacional. Sobre todo, las autoridades correspondientes en coordinación con la industria deben saber qué políticas se van a desarrollar para implementar y mantener seguro el DSA, esto es, las medidas para contrarrestar los posibles efectos adversos arriba mencionados. Por ejemplo, en caso de que se permita el acceso dinámico al espectro para fines comerciales cuando este ha sido concesionado para fines militares (igualmente aplicable a la compartición del espectro), la autoridad debe implementar políticas de cumplimiento para prevenir el abuso del mecanismo y minimizar la probabilidad de un daño potencial tanto a los usuarios primarios como secundarios. En este sentido, es recomendable que las políticas de cumplimiento contemplen sanciones, pero también mecanismos de acciones preventivas (antes del incumplimiento) y efectivas para que los concesionarios y usuarios secundarios no tengan

el incentivo de violar las reglas al saber que sería más costosa la sanción que el beneficio del aprovechamiento indebido del espectro.

Por último, el principio del RC para el acceso dinámico al espectro se aplica para alcanzar una eficiencia del uso del espectro entre y a través de cada “capa del camino”, a través de la selección inteligente entre múltiples alternativas. Las políticas regulatorias de espectro juegan un papel esencial en el acceso dinámico al espectro y de acuerdo con la experiencia internacional y a la academia, los reguladores deben considerar cuidadosamente la arquitectura CNR (por las siglas en inglés de *Cognitive Radio Network*) incluso en las bandas de frecuencia que en principio no se encuentren reguladas. Los reguladores deben considerar que el CRN requiere que los radios cognitivos individuales deben ser capaces de obtener y operar de manera local y flexible. La arquitectura adecuada debe incorporar tanto los CRN y CR, por lo que es deseable proporcionar mecanismos arquitectónicos para poder agregar y verificar reglas automáticamente y utilizar diferentes métodos de razonamiento para modificar las reglas cuando sea necesario de tal manera que se puedan evitar los problemas conocidos como el de BGP (por las siglas en inglés de *Border Gateway Routing*).

Bibliografía

Amdocs, (2019), “Managing the CBRS Spectrum”. Disponible en: <https://www.amdocs.com/blog/network-talk/managing-cbrs-spectrum>

ANACOM (2016). Determination of coverage speeds in 800 MHz frequency band. Disponible en <http://www.anacom.pt/render.jsp?ContentId=1381272#.Vvlu58fXLsc>.

Anderson, S. P. & Gabszewicz, J. J. (2005), “The Media and Advertising: a Tale of Two-sided Markets”, Handbook of the Economics of Art and Culture.

Ben Temin, M.A; Ferré, G y Tajan, R., (2020) *Analysis of the Coexistence of Ultra Narrow Band and Spread Spectrum Technologies in ISM Bands*. In 5th International Symposium, UNet 2019 Limoges, France, November 20–22, 2019 Revised Selected Papers “Ubiquitous Networking”. Oussama Habachi Vahid Meghdadi Essaid Sabir Jean-Pierre Cances (Eds.), Springer, pp 56-67.

Cave, M., and Nicholls R., (2017), “The use of spectrum auctions to attain multiple objectives: policy implications”, Telecommunications Policy.

Electronic Communications Committee (ECC), (2014), “Report 205, Licensed Shared Access (LSA)”. Disponible en: <https://docdb.cept.org/download/baa4087d-e404/ECCREP205.PDF>

Hoossain, E., Niyato, D., y Han, Z. (2009), “Dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks”, New York: Cambridge University Press.

IFT, noviembre 2020, Consulta Pública de Integración del “Cuestionario sobre la banda de frecuencias 5925-7125 MHz”. Disponible en: <http://www.ift.org.mx/industria/consultas-publicas/consulta-publica-de-integracion-del-cuestionario-sobre-la-banda-de-frecuencias-5925-7125-mhz>

Leyton-Brown, L., Milgrom, P. y Segal, I, (2017), “Economics and computer science of a radio spectrum reallocation”, en PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA).

LS telcom, (2021), “Sharing and Dynamic Spectrum Access – Hidden Spectrum Resources”.

Manner, J.A., ESOA, “EMEA Satellite Operators Association, 5G Strategy, Policy and Implementation in the Americas”, en el evento de Latin America Spectrum Management Conference, noviembre 2020.

METIS II (Mobile and wireless communications Enables for the Twenty-twenty Information Society-II), 2015, “Report R3.1 Preliminary spectrum scenarios and justification for WRC Agenda Item for 5G bands above 6GHz”. Disponible en: https://metis-ii.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/deliverables/METIS-II_R3.1_V1.0.pdf

Milgrom, P., (2017), “Discovering Prices: Auction Design in Markets with Complex Constraints”, Columbia Univ Press, New York.

Mitola III, J., (2010), Cognitive Radio Communications and Networks, Principles and Practice, Editado por Wyglinski, A. M.; Nekovee, M. y Hou, T.

OECD, 2020, OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), “Keeping the Internet up and running in time of crisis”. Consultable en el siguiente enlace: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/keeping-the-internet-up-and-running-in-times-of-crisis-4017c4c9/>

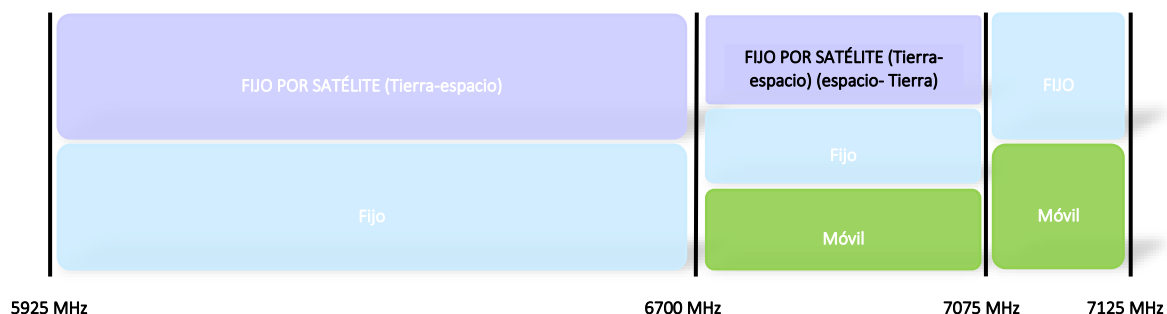
Shweta Pandit y G. Singh, (2015), “An overview of spectrum sharing techniques in cognitive radio communication system”, Wireless Netw 23, 497–518 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1171-1>

Song, M., Xon, C., Zhao, Y. y Cheng, X., (2012). “Dynamic spectrum access: From cognitive radio to network radio”. IEEE Wireless Communications.

“Spectrum Sharing: The Next Frontier un Wireless Networks”, (2020), editado por Papadias, C; Ratnarajah, T y Slock D.; publicado por Jhon Wiley t Sons Ltd.

ANEXO 1:

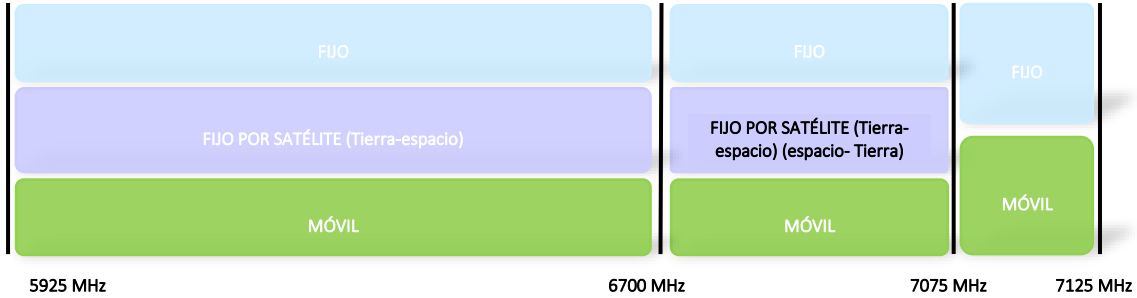
Cuadro A.1. Atribución de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz de acuerdo al CNAF



Consideraciones de los mecanismos para el uso eficiente del espectro radioeléctrico

Fuente: IFT 2020 Banda de frecuencias 5925-7125 MHz.

Cuadro A.2. Representación gráfica de la atribución internacional de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz



Fuente: IFT 2020 Banda de frecuencias 5925-7125 MHz.