

Retos de la primera asignación de espectro radioeléctrico para 5G en México

Challenges of the first 5G radio spectrum assignment in Mexico

*Catalina Ovando*¹

Resumen

Las comunicaciones móviles son uno de los servicios que ocupan cada vez más espacio en el espectro radioeléctrico, ya que son clave para el desarrollo económico. El objetivo del presente documento es ilustrar los retos a los que el regulador mexicano se enfrenta en función de la estructura del mercado de nuestro país y de los cambios tecnológicos en la asignación de espectro para servicios 5G. Para ello, se realizó un análisis de la evolución del mercado mexicano y de la gestión del espectro radioeléctrico. Posteriormente, se analizaron los retos regulatorios de la gestión del espectro 5G en México, a la luz de un análisis comparativo de la experiencia internacional en la solución de este problema en Estados Unidos y Alemania, países pioneros en la licitación de espectro radioeléctrico en bandas del segundo dividendo digital y 3.5 GHz. Se concluye que la restricción regulatoria referente a concesiones únicas, es un impedimento para asignar espectro bajo esquemas de tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro. Respecto a la banda de 600 MHz se encontró que es una oportunidad para solventar los dos retos del mercado de telecomunicaciones en México la baja adopción de banda ancha y la poca competencia. Para la aprovechar las ventajas técnicas de la banda de 3.5 GHz, el regulador mexicano, deberá cambiar el marco regulatorio actual que restringe la innovación.

Palabras Clave: 5G, México, Regulación, Telecomunicaciones, Espectro Radioeléctrico, Redes Móviles.

Abstract

Mobile communications are one of the services that occupy more and more space in the radio spectrum, as they are key to economic development. The objective of this document is to illustrate the challenges faced by the Mexican regulator in light of the structure of our country's market and technological changes in the assignment of spectrum for 5G services. To this end, an evolution of the Mexican market analysis and a radio spectrum management evolution recap was made. Subsequently, the regulatory challenges of 5G spectrum management in Mexico were analyzed in the light of a comparative analysis of the international experience in solving this problem in the United States and Germany, pioneering countries in the bidding of radio spectrum in bands of the second digital dividend and 3.5 GHz. It is concluded that the regulatory restriction referring to unique

¹ Centro Interdisciplinario de Estudios de Posgrado e Investigación, Centro de Investigación en Estrategia, Tecnología y Sociedad, Universidad UPAEP. Email: mariacatalina.ovando@upaep.mx

concessions is an impediment to assign spectrum under dynamic access technologies and spectrum sharing schemes. Regarding the 600 MHz band it was found that it is an opportunity to solve the two challenges of the telecommunications market in Mexico the low adoption of broadband and little competition. In order to take advantage of the technical advantages of the 3.5 GHz band, the Mexican regulator will have to change the current regulatory framework that restricts innovation.

Keywords: 5G, Mexico, Radio spectrum policy; telecommunications, Mobile networks

1 Introducción

El espectro radioeléctrico constituye un recurso esencial limitado por medio del cual se ofrecen una gran cantidad de servicios. Las comunicaciones móviles son uno de los servicios que ocupan cada vez más espacio en el espectro radioeléctrico, ya que son clave para el desarrollo económico. En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2015, se identificaron 1886 MHz destinados a servicios de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT, por sus siglas en inglés) (Maniewicz, 2016) y se estima que, en la próxima reunión, agendada para noviembre de 2019, se identifiquen nuevas bandas. No obstante, debido a las características físicas del espectro radioeléctrico, el valor de las distintas bandas de frecuencia varía en función de su uso, capacidad para transferir datos y de la propagación de las señales. Al ser un recurso público, es competencia del Estado atribuir (designar a servicios específicos) y asignar (concesiones) a las distintas bandas de frecuencia, previamente identificadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La creciente demanda de datos ha impulsado la búsqueda de nuevas formas de maximizar la eficiencia técnica, económica y social del espectro radioeléctrico (Given & Cave, 2017). 5G no es necesariamente una tecnología única, sino un conjunto de tipos de tecnología que incorporan todas las generaciones anteriores de sistemas móviles celulares, utilizando al mismo tiempo las redes fijas existentes para el acceso inalámbrico y el *backhaul* (Oughton & Frias, 2018). Macroceldas y microceldas en diferentes frecuencias, de uso exclusivo y libres, conviven en 5G a fin de alcanzar velocidades de transferencia de varios Gigabits. Sin embargo, a pesar de los beneficios de 5G, aún se encuentra en una fase muy inicial (*enhanced mobile broadband*), solapándose con la madurez de los sistemas 4G (5G NORMA, 2016). La principal preocupación, tanto para operadores móviles como para las Agencias Nacionales de Regulación (ANR), son las

elevadas inversiones que se requieren para desplegar dicha tecnología. Se estima que la instalación de una red con capacidad para celdas pequeñas 5G, suponiendo que la conexión al núcleo de red por fibra sea comercialmente viable, puede entrañar un costo de entre 6.8 millones de dólares USD para una ciudad pequeña y 55.5 millones USD para una ciudad grande y densa (Adolph et al., 2018). Ante la creciente caída de los ingresos de los operadores y las recientes inversiones en 4G, los operadores necesitarán un entorno regulatorio adecuado a fin de promover dichas inversiones.

Aunado a lo anterior, cabe destacar que la gestión del espectro radioeléctrico implica, en sí misma, diferentes retos. En primer lugar, se deben definir los objetivos que se persiguen y el mecanismo de asignación más adecuado para conseguirlos. En relación con esto, es preciso mencionar que la utilización de subastas es la práctica más común, ante los concursos y loterías, debido a que garantizan una mayor transparencia en el proceso (Cramton, 2001). Sin embargo, a fin de garantizar cobertura en zonas poco rentables u otros compromisos, tales como inversiones y condiciones regulatorias especiales, los concursos siguen siendo utilizados (Prat & Valletti, 2001). En segundo lugar, es preciso definir el derecho de uso: exclusivo o compartido con licencia *License Shared Access* (LSA) o sin licencia *License-Exempt Access* (LEA) (Pérez, Moral, & Ovando, 2009). Históricamente, las concesiones otorgadas para bandas destinadas a Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), se han asignado bajo el derecho de uso exclusivo. Enfocarse en asignar espectro radioeléctrico bajo el modelo de derechos de uso exclusivos, conlleva el riesgo de limitar la capacidad técnica y el surgimiento de modelos de negocios disruptivos (Mustonen, Matinmikko, Holland, & Roberson, 2017). Adicionalmente, 5G abre el cuestionamiento sobre los derechos de uso exclusivo, ya que dicha tecnología permite la presencia de operadores primarios y secundarios y el acceso dinámico al espectro (Massaro, 2017). En tercer lugar, se debe definir la canalización del espectro radioeléctrico y las condiciones que se le impondrán al concesionario. En ese marco, las ANR deben especificar los límites de espectro en bandas bajas, medias y altas, si se permitirá el mercado secundario y las condiciones específicas a las concesiones.

Proponer nuevos marcos regulatorio para la gestión del espectro no es tarea fácil y tiene la peculiaridad de que cada mercado cuenta con características propias y únicas que requieren

soluciones a medida. En el caso concreto de México, la alta concentración del mercado de telecomunicaciones móviles (y fijas) y el rezago en niveles de adopción (Casanueva-Reguart, 2019), han llevado al regulador a proponer soluciones únicas como la Red Compartida Mayorista (RCM). Dicha medida de licitar la banda entera de 700 MHz (90 MHz FDD) a un operador mayorista bajo el esquema de participación público privada (Ovando, Frias, & Bocarando, 2017), trae como consecuencia que los tres operadores concesionarios, América Móvil, Telefónica y AT&T, se encuentran sin concesiones en bandas menores a 1GHz para las redes móviles de alta capacidad (4G y 5G), ya que la banda de 800 MHz se encuentra utilizada principalmente para la prestación de servicios GSM (2G). La condición anterior dibuja una situación particular en México en comparación con otros países en lo que se refiere a la asignación del segundo dividendo digital (banda de 600 MHz).

El Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) ha anunciado su intención de licitar la banda de frecuencia de 600 (614-698) MHz, la cual ya se encuentra liberada, en conjunto con 10 MHz en la banda de 800 (814-824/859-869) MHz, 5 MHz en la banda de 1.9 GHz (1910-1915/1990-1995 MHz) y 150 MHz en la banda de 3.3 (3.3-3.4) GHz en 2020 para servicio móvil (IFT, 2019b). En este sentido, cabe resaltar que mientras las bandas de 800 MHz y 1.9 GHz ya se encuentran en uso, el verdadero reto regulatorio se encuentra en la banda de 600 MHz y la de 3.3 GHz las cuales están armonizadas para servicios 5G (IFT, 2018a).

El regulador lanzó un informe sobre las tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro (Martínez, Castro, & Castañeda, 2017), en donde se plantea el uso de estas tecnologías para distintas bandas de frecuencia. Dicho documento muestra el panorama internacional, aún no muy desarrollado, de la asignación de bandas 5G utilizando este tipo de tecnologías. Las innovaciones en las concesiones, plantean algunos retos regulatorios al marco jurídico mexicano. Recientemente, el IFT lanzó una consulta pública en donde se pregunta a todas las partes interesadas por la conveniencia y pertinencia de designar una serie de bandas a servicios 5G para los próximos años, tomando como referencia una propuesta realizada por el Instituto (IFT, 2019c; Unidad de Espectro Radioeléctrico. & IFT, 2019).

El objetivo del presente documento es ilustrar los retos a los que el regulador mexicano se enfrenta en función de la estructura del mercado de nuestro país y de los cambios tecnológicos

en la asignación de espectro para servicios 5G. Para ello, se realiza un análisis de la evolución del mercado mexicano y de la gestión del espectro radioeléctrico. Posteriormente, se analizan los retos regulatorios de la gestión del espectro 5G en México, a la luz de un análisis comparativo de la experiencia internacional en la solución de este problema en Estados Unidos y Alemania, países pioneros en la licitación de espectro radioeléctrico en bandas del segundo dividendo digital y 3.5 GHz. El documento se estructura de la siguiente forma: en la segunda sección se describe la evolución del mercado mexicano y sus dos principales retos, la adopción y la competencia. En la tercera sección se ilustra la evolución de la gestión del espectro radioeléctrico en México. Aquí se hará un breve recorrido por el marco jurídico, la asignación del primer dividendo digital y la licitación de la banda de 2.5 GHz. En la cuarta sección se discuten los retos regulatorios de la gestión del espectro 5G en México. Inicialmente se plantean los elementos técnicos que implican cambios regulatorios, se analiza la consulta pública de 5G en México y la asignación del segundo dividendo digital y la banda de 3.5 GHz en Alemania y Estados Unidos. Finalmente, en la quinta sección se plantean las conclusiones del estudio.

2 Evolución del mercado mexicano y retos: Adopción y competencia

El 11 de junio de 2013, se llevó a cabo la Reforma de Telecomunicaciones y Radiodifusión en México, mediante la cual se reformó, entre otros, el artículo 6º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Ahí se estipuló que el Estado garantizará el derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicación, así como a los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluido el de banda ancha e internet (SEGOB, 2013). Además, se instituyó que, para tales efectos, el Estado establecerá condiciones de competencia efectiva en la prestación de dichos servicios. Ya para este momento la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) había lanzado un documento en el cual llamaba la atención al gobierno porque el mercado mexicano de telecomunicaciones se había caracterizado por una alta concentración, lo que se traduce en bajos niveles de competencia, así como en una falta de instalaciones y bajas tasas de penetración de la banda ancha (OCDE, 2012).

En el sector de telecomunicaciones, Telcel y Telmex, los operadores de telefonía móvil y fija de Grupo América Móvil respectivamente, fueron sujetos a regulación asimétrica bajo la

figura de Agentes Económicos Preponderantes (AEP). Las obligaciones impuestas a las empresas de telecomunicaciones pueden resumirse de la siguiente manera: i) proporcionar a los nuevos operadores acceso a todos los elementos que puedan ser necesarios para la prestación del servicio a los usuarios finales; ii) permitir la comercialización y reventa de sus servicios de red y capacidad a los Operadores de Redes Móviles (MNO) en las tecnologías disponibles en su sistema, y para todos los servicios de telecomunicaciones que el AEP ofrece a sus usuarios. Debe garantizarse la neutralidad de la red, sin discriminar entre contenidos, aplicaciones y tráfico de diferentes servicios y proveedores; iii) permitir a los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones acceder y utilizar la infraestructura pasiva que poseen bajo cualquier título legal; iv) eliminación de las tarifas de *roaming* (nacionales); v) tarifas de interconexión asimétricas; vi) un tope de precios para los usuarios finales de comunicaciones fijas; entre otros (IFT, 2014). Las medidas antes mencionadas incidieron en la entrada de un nuevo operador AT&T y la entrada de los operadores móviles virtuales.

A pesar de todas las medidas antes mencionadas, el éxito de la Reforma ha sido moderado. Si bien es cierto que ha tenido un impacto positivo y significativo en el bienestar del consumidor (Ayala, Chapa, García, & Hibert, 2018), dicha adopción ha sido muy desproporcionada. En términos absolutos, los usuarios con menores ingresos siguen muy rezagados, respecto a los de mayores ingresos que gozan de plena inclusión digital (Ovando & Olivera, 2018b). La desigualdad digital se hace más evidente en los usuarios que viven en zonas rurales, adultos mayores, familias con menores niveles de educación y de ingreso (Mecinas Montiel, 2016; Ovando & Olivera, 2018a; Rosas & Ovando, 2018).

Respecto a la competencia en el sector de comunicaciones móviles, los resultados son menos halagüeños. Inicialmente se bajó la cuota de mercado de América Móvil, pero en 2018 se reconcentró el mercado (The Competitive Intelligence Unit, 2019), llegando a alcanzar niveles del 70.72% en el último trimestre (IFT, 2019d). Los operadores móviles virtuales que ya utilizan las redes de los tres operadores concesionarios, han conseguido sólo el 2% de la cuota de mercado (IFT, 2019a). Sin embargo, es cierto que los precios de los datos han bajado y los usuarios hoy consumen más internet al mismo precio (IFT, 2019f), y que México registra un gran crecimiento en usuarios de banda ancha fija y Móvil (IFT, 2019g).

Actualmente, México cuenta 120 millones de líneas móviles, 96 líneas móviles por cada 100 habitantes de las cuales el 83% son de prepago y sólo el 17% de pospago. Mientras que existen 88 millones de líneas con acceso a internet, 71 líneas con acceso a internet por cada 100 habitantes (IFT, 2019d). La última Encuesta sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación en los Hogares indicó que en México hay 74.3 millones de usuarios de internet de seis años o más, que representan el 65.8 por ciento de la población en ese rango de edad. El 51.5% de los internautas son mujeres y 48.5% son hombres (SCT; IFT; Inegi, 2019). Finalmente, se estima que el 95% de la población cuenta con cobertura de internet bajo tecnologías 3G (GSMA, 2016).

	América Móvil	AT&T	Telefónica	Fuente
Cuota de Mercado	70.72%	15.56%	11.72%	(IFT, 2019b)
Gasto mensual por usuario (ARPU: Average revenue per user)	\$149 M.N.	\$164.6 M.N.	\$51.5 M.N.	(The Competitive Intelligence Unit, 2019)
Disponibilidad de red 4G en México	79.1%	81.9%	72.4%	(Opensignal, 2019)

Tabla 1. Estructura de Mercado de los principales operadores móviles en México

3 Evolución de la gestión del espectro en México

3.1 Marco jurídico

La gestión del espectro en México está recogida en el artículo 4 transitorio Constitucional de la Reforma de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Ahí se establece que la regulación del uso y aprovechamiento del espectro radioeléctrico, las redes de telecomunicaciones y la prestación de servicios de radiodifusión y telecomunicaciones debe ser convergente (Constitución Mexicana, 1917). Dicho artículo también establece que las concesiones serán únicas, de forma que los concesionarios puedan prestar todo tipo de servicios a través de sus redes, siempre que cumplan con las obligaciones y contraprestaciones que les imponga el Instituto Federal de Telecomunicaciones. Lo anterior, es un impedimento para el uso de tecnologías de acceso dinámico al espectro.

En los artículos transitorios de la Reforma se establece también el marco legal de la Red Compartida Mayorista, la cual fue utilizada para garantizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, la competencia y el uso óptimo de la banda de 700 MHz. Sin embargo, no se menciona nada de la banda de 600 MHz, el segundo dividendo digital.

El marco jurídico específico de la gestión del espectro radioeléctrico en México está contenido en el Título Tercero (artículos 56 al 65) de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014). Ahí quedan recogidos los principios de asignación bajo la autoridad del IFT (Álvarez, 2018).

Artículo 55. Las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico se clasificarán de acuerdo con lo siguiente:

- I. Espectro determinado:** Son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias; a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público, definidas en el artículo 67;
- II. Espectro libre:** Son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el Instituto, sin necesidad de concesión o autorización;
- III. Espectro protegido:** Son aquellas bandas de frecuencia atribuidas a nivel mundial y regional a los servicios de radionavegación y de aquellos relacionados con la seguridad de la vida humana, así como cualquier otro que deba ser protegido conforme a los tratados y acuerdos internacionales. El Instituto llevará a cabo las acciones necesarias para garantizar la operación de dichas bandas de frecuencia en condiciones de seguridad y libre de interferencias perjudiciales, y
- IV. Espectro reservado:** Es aquel cuyo uso se encuentre en proceso de planeación y, por tanto, es distinto al determinado, libre o protegido

Cabe destacar que la asignación de títulos primarios y secundarios sí están contemplados en los artículos 57 y 58 de dicha ley; sin embargo, se limita su operación a dispositivos de radiodifusión de corto alcance que operan en espectro libre y protegido (Castañeda, Castro, & Martínez, 2018). Para la asignación de títulos primarios y secundarios en bandas de frecuencia destinadas a comunicaciones móviles para uso comercial, se precisaría una reforma a la especificación de concesiones únicas. Por lo anterior y en consistencia con el documento de estudio del IFT sobre Tecnologías de Acceso Dinámico al Espectro Radioeléctrico (Martínez et al., 2017), bajo el marco regulatorio actual no sería posible la asignación de concesiones a título primario y secundario en las bandas identificadas para 5G en México (para uso comercial).

3.2 Primer dividendo digital: Red Compartida Mayorista (RCM)

México hizo la migración hacia la televisión digital en diciembre de 2015, bajo el estándar ATSC. En enero de 2016, el Gobierno lanzó una licitación pública para desplegar y explotar una red móvil inalámbrica utilizando el espectro recientemente liberado de la banda de 700 MHz, tras la conversión a la televisión digital. Este espectro, conocido como el dividendo digital, resulta particularmente atractivo para los servicios móviles tanto por la cantidad de espectro que se asignaría, 90 MHz (2x45 MHz), como por las propiedades de propagación del espectro sub-1GHz, que permiten despliegues más rentables y/o una mayor cobertura (IFT; SCT, 2015).

La RCM debe entregar velocidades de carga de 1 Mbps y de descarga de 4 Mbps para el usuario de nivel celular. La licitación estableció condiciones para permitir la entrada de inversión extranjera directa de hasta el 100%, ya sea de naturaleza pública o privada. Para desplegar y operar la red, el adjudicatario tendría acceso a los 90 MHz en la banda de 700 MHz, así como a dos cables de fibra de la Comisión Federal de Electricidad. La licitación bajo el esquema de Asociación Pública Privada, estableció compromisos de cobertura en vez de una retribución económica al Estado. El adjudicatario, el Consorcio Altan (SCT, 2017), no podrá prestar servicios minoristas directamente ni ofrecer servicios al operador tradicional. Como proveedor mayorista de servicios de red, actuará con arreglo a principios no discriminatorios. La RCM

comenzó a prestar servicios en marzo de 2018, cubriendo al 30% de la población. Para 2024, el Consorcio Altan se ha comprometido a llegar al 92.2% de la población.

Aún es pronto para evaluar los resultados de la RCM, sin embargo, en junio del presente año, el IFT publicó un Análisis sobre el Mercado de los Operadores Móviles Virtuales (OMVs) en el cual se reflejan resultados iniciales. El Instituto lanzó una serie de entrevistas a OMVs, en donde se indicó que el 90% de los entrevistados identifican impactos positivos derivados de la Red Compartida, tales como: Mayor penetración y cobertura con tecnologías 4G y 5G; reducción potencial de la tarifa mayorista y calidad. También se reportó que MXLink (empresa de Airbus SLC en alianza con Nokia), primer OMV de seguridad pública en México, inició operaciones en el segundo trimestre de 2019 utilizando la RCM. Megacable también utiliza, desde abril del presente año, la red de Altan para brindar servicios de telefonía celular, lo cual le permite dar servicios cuádruples play (IFT, 2019a). En el caso de MXLink, se expresó claramente que se utiliza la red de Telcel en sitios en donde no hay cobertura de la RCM y se asume que Megacable sigue el mismo comportamiento, ya que hasta el momento la cobertura de Altan es del 30%.

La RCM se propuso como una alternativa para introducir más competencia en el mercado mexicano, ya que la cobertura final la red en 2024 será del 92.2% de la población, mientras que América Móvil ofrece una cobertura de 2G del 95%. Sin embargo, dado que la penetración de los OMV's en México es muy incipiente, se estima difícil que en el corto plazo pueda alcanzar su objetivo.

3.3 Licitación de la banda de 2.5 GHz

En agosto de 2018 se llevó a cabo la licitación de la banda de 2.5 GHz, banda utilizada en Europa para brindar servicios de 5G. Debido a las restricciones de espectro, también conocido como “*Spectrum Cap*”, América Móvil se rehusó a participar en la licitación. Sin embargo, es preciso mencionar que en 2016 América Móvil llegó a un acuerdo para comprar 60 MHz en la banda de 2.5 GHz. El incumbente pagó a MVS \$5,305.5 MDP (\$279.2MDD) en julio de 2017 por una licencia nacional de 8.4 MHz y 43 concesiones de títulos para frecuencias de 2.5 GHz. Como resultado de dicha adquisición, América Móvil reportó que cuenta con aproximadamente 60.0 MHz de capacidad en la banda de 2.5 GHz, distribuida entre diversos municipios que

abarcan aproximadamente el 75.41% de la población nacional (Lucas, 2018). La licitación de la banda de 2.5 GHz, llamada IFT-7, se desarrolló bajo el método de subasta con obligaciones de cobertura a completarse en un plazo menor a cuatro años. A continuación, se resumen las condiciones de cobertura (Americas, 2018).

- Los adjudicatarios de la licencia deben brindar servicio inalámbrico al menos a 200 de las 557 localidades de 1.000-5.000 habitantes que carecen actualmente de cobertura. Por ese motivo, los adjudicatarios pueden usar cualquier banda de frecuencia y utilizar su propia infraestructura o la de terceros.
- Brindar servicio inalámbrico en la banda 2.5 GHz con infraestructura propia en al menos 10 de las 13 zonas metropolitanas con un mínimo de 1 millón de habitantes.
- Cubrir segmentos específicos de carreteras y autopistas de cinco Zonas Económicas Especiales según fueron establecidas por el Gobierno Federal

Los operadores ganadores de la licitación fueron AT&T y Telefónica. AT&T pagó \$1,400,101,288 M.N por 2 bloques de 2x10 MHz FDD y 2 bloques de 20 MHz TDD. Por otro lado, Telefónica pagó \$700,000,000 M.N. por dos bloques de 2x10 MHz FDD (IFT, 2018c). Telconomía reportó que el costo del espectro fue de \$0.08 USD/MHz/pop, comparable con el costo del espectro en la misma banda en Europa (Telconomía, 2018). El IFT informó que está preparando una nueva subasta en 2019 que incluirá la capacidad restante de la banda de 2.5 GHz (bloques municipales o regionales sin uso o rescatados).

La Tabla 2 ilustra la situación del espectro en México después de la licitación de 2.5 GHz.

	Altán	AT&T	América Móvil	Telefónica	Sin asignar	Total
700 MHz	90 MHz FDD					90 MHz FDD
800 MHz			2.76 MHz FDD		22.63 MHz FDD	25.39 MHz FDD
850 MHz (concesiones regionales)			21.51 MHz FDD	4.51 MHz FDD	16.93 MHz FDD	42.95 MHz FDD
1700 MHz		32.26 MHz FDD	28.40 MHz FDD	59.34 MHz FDD		120 MHz FDD
1900 MHz		50 MHz	80 MHz		10 MHz	140 MHz

		FDD	FDD		FDD	FDD
2.5 GHz FDD		40 MHz FDD	45.25 MHz FDD (concesiones regionales)	40 MHz FDD	14.75 MHz FDD	140 MHz FDD
2.5 GHz TDD		40 MHz TDD				40 MHz TDD

Tabla 2. Acumulación de espectro por operador a finales de julio de 2019. Fuente: elaboración propia con base en (Lucas, 2019; Xataka México, 2018).

4 Retos regulatorios de la gestión del espectro 5G en México

La creciente demanda de datos en conjunto con las nuevas tecnologías ha impulsado a los órganos reguladores nacionales e internacionales a identificar nuevas bandas de frecuencias para servicios de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). El IFT tiene designado al día de hoy cerca de 1000 MHz de espectro para las IMT, de los cuales alrededor del 60% está asignado o en vías de asignación. El objetivo de dicha asignación es promover la competencia y libre concurrencia en el sector de las telecomunicaciones, permitiendo el acceso a nuevos competidores y ampliando el desarrollo tecnológico para hacer un uso eficaz del espectro radioeléctrico (IFT, 2019e).

En octubre de 2018 el IFT anunció que la banda de 600 MHz, conocida como el segundo dividendo digital ya había sido liberada (IFT, 2018b) y en 2019 se comunicó que para 2020 se asignarán la banda de frecuencia de 600 (614-698) MHz, 10 MHz en la banda de 800 (814-824/859-869) MHz, 5 MHz en la banda de 1.9 GHz (1910-1915/1990-1995 MHz) y 150 MHz en la banda de 3.3 (3.3-3.4) GHz (IFT, 2019b). Sin embargo, aún no hay ninguna información sobre mecanismos de asignación ni condiciones que se les impondrán. Adicionalmente a las bandas de frecuencia identificadas, es preciso mencionar que, actualmente se está discutiendo la armonización para servicios 5G en bandas 24.25 GHz y 86 GHz en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 CMR-19.

4.1 Elementos técnicos que implican cambios regulatorios

La discusión sobre la flexibilidad en la asignación de las nuevas bandas de frecuencia cobra especial relevancia en la actualidad, cuando se empiezan a desplegar las primeras versiones de 5G. 3GPP Release 15 es la primera versión del 5G *Non-Standalone* que permite la

agregación de portadoras (*carrier aggregation*), gira en torno al caso de uso mejorado de la Banda Ancha Móvil mejorada (eMBB), permite la utilización de la radio y del núcleo de red LTE existente como ancla para incrementar capacidad y cobertura, al operador radio 5G (Group, 2018). En el caso concreto de las bandas de 600 MHz y de 3.5 GHz, la función de *carrier aggregation*, permitiría a un operador obtener, mediante un despliegue de redes heterogéneas, las ventajas de incrementar la capacidad de las bandas medias y cobertura de las bandas bajas, con baja latencia, banda ancha ultra confiable y demás características de 5G. Dichas características, abren la puerta a nuevos operadores tradicionales o innovadores (p. ej. IoT, servicios financieros, seguridad, transporte, etc.), que permitirían dibujar un nuevo ecosistema.

Otra de las tecnologías que permiten la optimización técnica del espectro aplicable a 5G es la asignación dinámica del espectro. Esta tecnología permite que más de un operador acceda al mismo espectro. Para ello, es necesario un regulador “*sharing operator network manager*” que asigne recursos en tiempo real a cada concesionario. El regulador administraría, también, datos sensibles de los usuarios.

En el año 2017 el IFT publicó un documento titulado estudio sobre Tecnologías de Acceso Dinámico y Uso Compartido del Espectro (Martínez et al., 2017). En dicho documento se expresa la necesidad de un enfoque más simple y flexible, en materia de gestión del espectro radioeléctrico, que permita la compartición e innovación particularmente para bandas como la 3.5 GHz. Las principales discusiones para brindar más flexibilidad al espectro de 3.5GHz son: asignación de Licencias de Acceso Compartido (LSA), compartición del espectro en función de la ubicación geográfica mediante dispositivos conectados a bases de datos de geolocalización y hacer un uso más eficiente de las redes existentes y del espectro asignado a través de la densificación, incremento del espectro reutilizable y la compartición de espectro entre operadores. Dicha necesidad se reafirmó en la Visión regulatoria telecomunicaciones y la radiodifusión, 2019-2023, publicado por el regulador en septiembre de 2018 (IFT, 2018a).

4.2 Consulta pública de bandas para 5G

En septiembre de 2019, el IFT lanzó un documento de consulta (IFT, 2019c). Previamente había lanzado un documento titulado “Panorama del espectro radioeléctrico en

México para servicios móviles de quinta generación” (Unidad de Espectro Radioeléctrico. & IFT, 2019) en donde se identifican las distintas bandas de frecuencias armonizadas para 5G y se recogen, brevemente algunos apuntes de la experiencia internacional. El objetivo de la consulta fue recoger las opiniones de todas las partes interesadas sobre las bandas de frecuencia que se deberían poner a disposición en los próximos años. Además, se preguntó sobre los usos y aplicaciones para cada una de ellas; si se deberían licitar 2 o más bandas juntas; si se considera suficiente espectro para los próximos años y opiniones diferentes a las recogidas en el documento de la consulta. La Tabla 3, recoge las bandas de frecuencias libres o licenciadas identificadas para servicios IMT por el IFT.

Banda de Frecuencia	
Bandas Bajas	
*614-698 MHz (70 MHz)	Segundo Dividendo Digital. Licitación México será el primer país en América del Norte y América Latina en liberar la banda de 600 MHz y apunta a completar la transición para fines de 2018. El IFT anunció en marzo de 2018 la reubicación de 48 canales DTV que aún operaban en la banda. Primera subasta 5G Subasta 2020
*698-806 MHz	Dividendo Digital, Red Compartida Mayorista 90MHz FDD adjudicada a Altán
850 MHz	Utilizada para servicios GSM América Móvil Telefónica AT&T ya no cuenta con espectro en esta banda devolvió en junio 2019 el espectro 806 a los 814 MHz y de los 851 a los 859 MHz
902 – 928 MHz	Espectro de Uso libre Menores a 1 GHz (Bandas Bajas)
Bandas Medias	
1700/2100 MHz	AWS Bloque 10 MHz nacional a subastar a finales 2019
1865 -1870 MHz y 1945-1950 MHz Banda PCS	América Móvil: concesiones regionales GSM. (\$1,183, 597.751 MXN) pesos en 2019 por 20 años
1920 - 1930 MHz; 2.400 – 2.4835 GHz	Espectro de Uso libre, menor a 6 GHz (Bandas medias)
*2.5 GHz Licitados: 130 MHz Por Licitar: 60 MHz	AT&T y Telefónica Adquirieron 2 bloques de 2x10 MHz FDD (Licitación IFT-7) AT&T Adquirió 2 bloques de 20 MHz TDD (Licitación IFT-7) América Móvil (asignación regional). Tiene acceso a 60 MHz que cubren 75% de la población. El 25% restante está licenciado a operadores fijos como Ultra Telecom que usan el espectro para acceso inalámbrico fijo.

*3.3 GHz– 3.5 GHz TDD 3.4- 3.6 GHz TDD	Banda C Primera subasta 5G finales de 2020 300 MHz
5.150 – 5.350 GHz; 5.470-5.6 GHz; 5.650-5.850 GHz	Espectro de Uso libre. Armonizada para 5G sin planes para asignación en México
Bandas Altas	
*26 (24.65 -27.5) GHz	2850 MHz TDD
*38 (37-40) GHz	3000 MHz TDD
*42 (42-43.5) GHz	1500 MHz TDD
*48 (47.2-48.2) GHz	1000 MHz TDD
*51 (50.4-52.6) GHz	2200 MHz TDD
57-64 GHz; 71-76 GHz; 81-86 GHz	Espectro de Uso libre. Armonizadas para 5G sin planes para asignación en México

Tabla 3. bandas de frecuencias IMT. Fuente: Elaboración propia (Adolph et al., 2018; Americas, 2018; IFT; SCT, 2014; IFT, 2018a). Se señala con * las bandas sometidas a consulta pública.

Dado que México se encuentra en una etapa inicial de identificación de bandas para servicios 5G, en la siguiente sección se recoge la experiencia de Alemania y Estados Unidos en la solución de este problema.

4.3 Asignación del segundo dividendo digital en Alemania y Estados Unidos

La Tabla 4 muestra los principales resultados de la asignación del segundo dividendo digital en Alemania y Estados Unidos. Quedan en evidencia los diferentes enfoques de gestión del espectro en ambos países. Alemania cuenta con un mercado de telecomunicaciones muy equitativo entre los 3 operadores tanto en portafolio de espectro, como en cuota de mercado. Allí se decidió por reducir el precio de un bloque de espectro a cambio de obligaciones de cobertura (Bichler, Gretschko, & Janssen, 2017). En caso de Estados Unidos, se desarrolló una subasta sin precedentes llamada “*Incentive auction*” en la cual se preguntó a las radiodifusoras a partir de qué cantidad estarían dispuestos a vender su título, a fin de limpiar la banda, mientras que a los operadores de telecomunicaciones se le preguntó a qué precio estarían dispuestos a comprar bloques de espectro en dicha banda (Frieden, 2019). En ambos países se licitaron los títulos bajo derechos de uso exclusivo.

	Alemania	Estados Unidos
Fecha de licitación	2015	13 meses entre 2016-2017

Recaudación	1,571.790 MDE	19,800 MDD 10 000 MDD pagados a radiodifusoras que voluntariamente cedieron 184 MHz en la banda de UHF.
Bandas licitadas	700 MHz-6 bloques 2x5 MHz FDD 900 MHz 7 bloques 2x5 MHz FDD 1800 MHz 10 bloques 2x5 MHz 1500 MHz 8 bloques 5 MHz DL TDD	600 MHz en concesiones regionales
Restricciones de espectro	700 MHz -1 bloque conllevaba obligaciones de cobertura, por lo que era más económico 900 MHz –Máximo 3 bloques por operador, 1 bloque implicaba mayor inversión por posibles interferencias	No se encontraron
Objetivo	Cumplimiento de la Directiva Europea 2002/21/EC: -Garantizar a los consumidores máximo beneficio en términos de posibilidades de elección, precio y calidad -Velar por que no se produzcan distorsiones ni restricciones a la competencia -Fomentar la inversión eficiente en infraestructura y promover la innovación -Fomentar el uso eficiente y garantizar la gestión eficaz del espectro radioeléctrico.	-Eficiencia -Ingresos -Incrementar la competencia en el mercado de consumo -Simplicidad en la presentación de ofertas para participantes poco sofisticados -Trazabilidad computacional
Mecanismo	Subasta de reloj de dos etapas (simultaneous multiround auction)	Subasta basada en incentivos (Heuristic Clock Auction)
Derechos de uso	Exclusivos	Exclusivos
Principales ganadores	Telefónica 2x10 MHz FDD@ 700 MHz 2x10 MHz FDD@ 900 MHz 2x20 MHz FDD@ 1800 MHz Vodafone 2x10 MHz FDD@ 700 MHz 2x10 MHz FDD@ 900 MHz 2x20 MHz TDD@ 1500 MHz 2x25 MHz FDD@ 1800 MHz Telekom 2x10 MHz FDD@ 700 MHz	Concesiones regionales. 1. T-Mobile - 1,525 concesiones por 9,617.1 MHz/Pob (MM) 2. Dish – 486 concesiones por 5,569.1 MHz/Pob (MM) Comcast – 73 concesiones por 1,472.1 MHz/Pob (MM)

2x15 MHz FDD@ 900 MHz	
2x20 MHz TDD@ 1500 MHz	
2x30 MHz FDD@ 1800 MHz	

Tabla 4. Asignación de banda del segundo dividendo digital en Alemania y Estados Unidos. Elaboración propia (Bichler et al., 2017; Leyton-Brown, Milgrom, & Segal, 2017)

En el caso de México, se vislumbra esta banda como una oportunidad para asignar espectro con condiciones de cobertura y de inversión siguiendo el ejemplo modelo alemán. Lo anterior, debido a que la banda ya está liberada y a que las condiciones de propagación de la señal permiten alcanzar una mayor cobertura en bandas bajas, con menos estaciones base. Por lo anterior, se recomienda a los reguladores utilizarla para fomentar la inclusión digital, especialmente en zonas rurales, dejando de lado los objetivos primordialmente recaudatorios.

4.4 Asignación de la banda de 3.5 GHz en Alemania y Estados Unidos

El 2 de agosto de 2019 el regulador alemán, Bundesnetzagentur, anunció la resolución sobre la subasta de 41 bloques de espectro en las bandas de 2GHz (2 x 60 MHz @ 1920-1980 MHz/2110-2170 MHz) y 3.6 GHz (1 x 300 MHz – 3400-3700 MHz) (Bundesnetzagentur, 2019). El objetivo de la licitación fue crear seguridad de planificación e inversión para el despliegue de la banda ancha en Alemania mediante la puesta a disposición de los recursos espectrales adecuados. Los operadores Telekom y Vodafone se quejaron de los altos precios que terminaron pagando en la licitación (European 5G Observatory, 2019). Respecto a las concesiones de acceso dinámico al espectro, Alemania, al igual que toda Europa, ha identificado la banda de 2.3 GHz para este tipo de tecnología.

La propuesta más innovadora de asignación de la banda de 3.5 GHz, llega de la mano de Estados Unidos. Dicho país ya inició la asignación de espectro en bandas milimétricas de uso flexible. En marzo de 2019 licitó la banda de 24 GHz recaudando 1505 millones de dólares, mientras que de la banda de 28 GHz recaudó 704 millones de dólares. La FCC planea licitar hacia finales de 2019 las bandas de 37 GHz, 39 GHz y 47 GHz (Comsoc IEEE Communications Society, 2019). Respecto a la banda de 3.5 GHz, Estados Unidos se encuentra en proceso de consulta pública y prevé la licitación de esta banda para junio de 2020 en donde se contemplan Sistemas de Acceso Dinámico al espectro (FCC, 2019), de la mano del programa *Citizens*

Broadband Radio Services (CBRS). CBRS contempla 3 tipos diferentes de concesionarios con diferentes niveles de calidad de servicio. Ante el programa CBRS surge la siguiente pregunta ¿Cuánto vale el espectro para cada tipo de concesionario? La tabla 5 muestra un resumen de las principales características de la licitación alemana y la propuesta estadounidense, la cual aún se encuentra en consulta pública.

	Alemania	Estados Unidos
Fecha de licitación	2019	25 junio 2020
Recaudación	€6,549,651,000 EUR	Por realizarse
Bandas licitadas	41 bloques de espectro en bandas de 2.1 GHz y 3.6 GHz	Citizens Broadband Radio Services (CBRS) 3.550-3.7 GHz (150 MHz)
Restricciones de espectro	<p>-Obligación de cobertura de al menor 98% de los hogares a 100Mbps para finales de 2022.</p> <p>-Los concesionarios quedarán obligados a cubrir todas las carreteras, autopistas federales y calles principales.</p> <p>-Cada operador concesionario deberá haber desplegado al menos 1000 estaciones base 5G al final de 2022 y 500 en “zonas blancas”, zonas rurales no cubiertas.</p> <p>-Para los nuevos entrantes, se aplican requisitos de cobertura menos estrictos.</p>	<p>El espectro se licitará en 3 categorías:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Incumbentes: servicio fijo satelital, y concesionarios vigentes (transmisión naval militar, radares militares, servicios de acceso fijo de banda ancha) 2.Concesiones de acceso prioritario (PAL) 3.Acceso general autorizado (GAL) <p>Las categorías 2 y 3 sólo podrán operar bajo la autorización y gestión de un Sistema de Acceso Dinámico al Espectro (SAS) centralizado</p> <p>Cada categoría contempla diferentes especificaciones técnicas y de QoS.</p>
Objetivo	Crear seguridad de planificación e inversión para el despliegue de la banda ancha en Alemania mediante	Maximizar la eficiencia técnica: acceso dinámico al espectro

	la puesta a disposición de los recursos espectrales adecuados	
Mecanismo	Subasta de reloj	Subasta de reloj ascendente Para 152 Áreas estadísticas metropolitanas, con acceso prioritario al espectro (PAL) en bloques de 10MHz TDD
Derechos de uso	Exclusivo	Compartido
Principales ganadores	Telekom 2.17 billion EUR 2x20 MHz @2.1GHz 90 MHz @3.6 GHz Vodafone 1.88 billion EUR. 2x20 MHz FDD @2.1 GHz 90 MHz TDD @3.6 GHz Telefonica 1.4 billion EUR 2x10 MHz @ 2.1 GHz 70MHz @3.6 GHz 1&1 Drillisch 1.07 billion EUR 2x10 MHz @2.1 GHz band 50 MHz @ 3.6 GHz band for	Bloques de 10 MHz TDD @3.5GHz de Acceso Prioritario (PAL)

Tabla 5. Asignación de banda de 3.6 GHz en Alemania y 3.5 GHz Estados Unidos. Elaboración propia con base en (Bundesnetzagentur, 2019; FCC, 2019).

En México, conforme al CNAF (Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2017), la banda de frecuencias de 3.4 – 3.6 GHz se encuentra atribuida a los servicios fijo y fijo por satélite a título primario mientras que cuenta con atribución a los servicios móvil, aficionados y radiolocalización a título secundario. El regulador mexicano, deberá reordenar esta banda de frecuencia si se decide continuar con el marco regulatorio actual o cambiarlo a fin de permitir tecnologías de acceso dinámico, brindando garantías a los concesionarios actuales. Por el momento, se ve difícil adoptar un modelo como CBRS dadas las restricciones regulatorias y la

indefinición de quién sería la figura del regulador encargado de gestionar los recursos y los datos de los usuarios. De igual manera, es importante mencionar que el IFT debe garantizar espectro tanto para el servicio fijo satelital como para radioaficionados.

5 Conclusiones

El objetivo del presente documento fue ilustrar los retos a los que el regulador mexicano se enfrenta en función de la estructura del mercado de nuestro país y de los cambios tecnológicos en la asignación de espectro para servicios 5G. Para ello, se realizó un análisis de la evolución del mercado mexicano y de la gestión del espectro radioeléctrico. Posteriormente, se analizaron los retos regulatorios de la gestión del espectro 5G en México, a la luz de un análisis comparativo de la experiencia internacional en la solución de este problema en Estados Unidos y Alemania, países pioneros en la licitación de espectro radioeléctrico en bandas del segundo dividendo digital y 3.5 GHz.

En general, se encontró que la restricción regulatoria referente a concesiones únicas, es un impedimento para asignar espectro bajo esquemas de tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro. Esta condición impide una asignación al estilo CBRS de Estados Unidos, que permite un surgimiento de un nuevo ecosistema de prestación de servicios facilitados por la tecnología 5G. Respecto a la banda de 600 MHz se identificó como una oportunidad para solventar los dos retos del mercado de telecomunicaciones en México: la baja adopción de banda ancha y la poca competencia. Para ello se recomienda asignar espectro con condiciones de cobertura y de inversión siguiendo el ejemplo modelo alemán. Ya que las inversiones requeridas para cubrir amplias áreas geográficas son menores, en comparación con las bandas de frecuencia medias y altas, se recomienda al regulador utilizarla fomentando la inclusión digital, especialmente en zonas rurales, dejando de lado los objetivos primordialmente recaudatorios.

En la banda de frecuencia de 3.5 GHz, el panorama es menos claro, ya que actualmente se encuentra ocupado por el servicio fijo satelital a título primario. De igual manera, está asignada a servicios móvil, aficionados y radiolocalización a título secundario. El regulador mexicano, deberá cambiar el marco regulatorio actual que restringe la innovación en esta banda

de frecuencia, a fin de permitir tecnologías de acceso dinámico. De igual manera, es importante mencionar que el IFT debe garantizar espectro tanto para el servicio fijo satelital como para radioaficionados.

Al tiempo del cierre de este documento, la página web de la consulta pública de 5G en México muestra las primeras opiniones. A falta de un análisis profundo, se observa que las respuestas de los distintos agentes de la cadena de valor están siendo muy previsibles. Los operadores móviles con red abogan por más espectro para 5G (Díaz, 2019) y permitir que los compromisos de despliegue de redes de nueva generación sean conforme a las necesidades del mercado (De Saracho, 2019; Díaz, 2019). Cabe destacar que, Altán propone que se utilice un esquema mayorista similar al de la Red Compartida Mayorista para la banda de frecuencia de 600 MHz (Salgado, 2019). Los *over-the-top*, como Facebook, son los principales interesados en esquemas de compartición de espectro y tecnologías de acceso dinámico al espectro (González, 2019; Mccarthy, 2019). En general hay acuerdo respecto al uso de las bandas de 3.3- 3.6 GHz y 24.25 -27.5 GHz para 5G, sin embargo, hay preocupación sobre posibles interferencias a los servicios fijos satelitales de bandas adyacentes (Avila, 2019; Hispasat México, 2019). De igual manera, se menciona la preocupación de Telesat por que se destine la banda de 28 GHz a redes móviles (Roberti, 2019).

Como líneas de trabajo futuras se realizará un análisis más detallado de las respuestas e implicaciones de las partes interesadas a la consulta de 5G. También sería necesario un análisis técnico de los ahorros de los despliegues 5G, con un enfoque de costo de oportunidad, así como evaluar las implicaciones económicas de las tecnologías de acceso dinámico al espectro. Se espera que el presente trabajo contribuya a dar mayor claridad sobre los retos regulatorios en materia de espectro radioeléctrico.

Referencias

- 5G NORMA. (2016). Deliverable D2.2 Evaluation methodology for architecture validation, use case business models and services, initial socio-economic results, 1–112.
- Adolph, M., Andreev, D., Aubineau, P., Bedi, I., Bozsóki, I., Bueti, C., ... Vassiliev, N. (2018). *Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos* (Vol. 1ra). Retrieved from

- https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-S.pdf
- Álvarez, C. L. (2018). *Telecomunicaciones y Radiodifusión en México*. Mexico City: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Americas, 5G. (2018). *Adjudicación de espectro radioeléctrico 600 MHz, 700 MHz y 2,5 GHz En América Latina 2018*. Retrieved from http://www.5gamericas.org/files/4915/4456/7566/600_MHz_700_MHz_y_25_GHz_Dic_2018_-ESP.pdf
- Avila, M. (2019). *Respuesta de Centro Telecomm 1 a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G)*. Retrieved from http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/1-comentariosingmauricioavila_2.pdf
- Ayala, E., Chapa, J., García, L., & Hibert, A. (2018). Welfare effects of the Telecommunication Reform in Mexico. *Telecommunications Policy*, 42(1), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.07.013>
- Bichler, M., Gretschno, V., & Janssen, M. (2017). Bargaining in spectrum auctions: A review of the German auction in 2015. *Telecommunications Policy*, 41(5–6), 325–340. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.01.005>
- Bundesnetzagentur. (2019). Spectrum for wireless access for the provision of telecommunications services Mobile broadband – Spectrum for 5G. Retrieved October 10, 2019, from https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Areas/Telecommunications/Companies/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/ElectronicCommunicationServices_node.html
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiofusión, Diario Oficial de la Federación § (2014). <https://doi.org/524100035>
- Casanueva-Reguart, C. (2019). *Las Telecomunicaciones en México: Regulación y Reforma Competencia, Desarrollo de Infraestructura e Inclusión Digital, 1990-2018*. Editorial Porrúa.
- Castañeda, R., Castro, R., & Martínez, G. (2018). *Dispositivos de Radiocomunicaciones de*

- Corto Alcance: recomendaciones para su regulación en México.* Ciudad de Mexico. Retrieved from http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/estudio_drca.pdf
- Comsoc IEEE Communications Society. (2019). FCC's auction of 24 GHz spectrum attracts \$1.5B in bids after 26 rounds; IMT 2020 frequencies? Retrieved October 13, 2019, from <https://techblog.comsoc.org/2019/03/26/fccs-auction-of-24-ghz-spectrum-attracts-1-5b-in-bids-after-26-rounds-imt-2020-frequencies/>
- Constitución Mexicana (1917).
- Cramton, P. (2001). *Lessons Learned from the UK 3G Spectrum Auction. Report commissioned by the National Audit Office of the United Kingdom.* <https://doi.org/10.1093/ndt/gfr727>
- De Saracho, A. (2019). *Respuesta Pegaso a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación.* Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/18-respuestapegasopcsconsultapublicabandasdefrecuencias5g.pdf>
- Díaz, A. (2019). *Respuesta AT&T a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G).* Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/15-comentariosattbandas5g.pdf>
- European 5G Observatory. (2019). German 5G auction ends with 6.55 billion EUR in total bids – 5G Observatory. Retrieved October 10, 2019, from <https://5gobservatory.eu/german-5g-auction-ends-with-6-55-billion-eur-in-total-bids/>
- FCC. (2019). FCC seeks comment on bidding procedres for 3.5 GHz auction. Retrieved October 13, 2019, from <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-359893A1.pdf>
- Frieden, R. (2019). The evolving 5G case study in spectrum management and industrial policy. *Telecommunications Policy*, 43(6), 549–562. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.04.001>
- Given, J., & Cave, M. (2017). Optimising Spectrum Use. *Telecommunications Policy*, 41(5–6), iii–vi. [https://doi.org/10.1016/S0308-5961\(17\)30331-2](https://doi.org/10.1016/S0308-5961(17)30331-2)

- González, D. (2019). Respuesta Facebook a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G). Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/09-comentariosfacebookmexicoconsultapublica5g.pdf>
- Group, A. P. (2018). Study on Implications of 5G Deployment on Future Business Models Axon Partners Group, (March).
- GSMA. (2016). Country overview: México. El móvil empujando el crecimiento, la innovación y atrayendo nuevas oportunidades. London: GSMA.
- Hispasat México. (2019). *Respuesta de Hispasat a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G)*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/comentariosconsultapublica5gyanexo-hispasat.pdf>
- IFT; SCT; (2015). Red Compartida, 1–51. Retrieved from file:///Users/cynthiacruz/Downloads/Criterios_de_las_pre-bases_de_la_licitacion.pdf
- IFT. (2014). *Comunicado de Prensa No. 71/2014: El pleno de la IFT aprueba otorgar a la SCT concesiones de uso experimental en la banda de 700 MHz*. Retrieved from <http://portalanterior.ift.org.mx/iftweb/wp-content/uploads/2014/12/COMUNICADO-IFT-71-171214.pdf>
- IFT. (2018a). *Visión regulatoria de las telecomunicaciones y la radiodifusión, 2019-2023*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/transparencia/1vision19-23.pdf>
- IFT. (2018b, October 10). EL IFT CULMINA PROCESO DE LIBERACIÓN DE LA BANDA DE 600 MHz. *Comunicado de Prensa 74/2018*, p. 3. Retrieved from http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicadoliberacionbanda600mhz_1.pdf
- IFT. (2018c, November 23). El IFT entrega títulos de concesión a ganadores de la licitación de 120 MHz en la banda de 2.5 GHz. *Comunicado de Prensa 88/2018*. Retrieved from

<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicado88.pdf>

IFT. (2019a). *Análisis sobre el mercado de Operadores Móviles Virtuales (OMVs) 2019*. Ciudad de México. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/estadisticas/analisis-sobre-el-mercado-de-los-operadores-moviles-virtuales-omvs>

IFT. (2019b). *Comunicado de prensa No. 49/2019. El IFT pone a disposición espectro para servicios móviles en la banda de 600 MHz*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicadopabf2020.pdf>

IFT. (2019c). *Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G) | Instituto Federal de Telecomunicaciones - IFT*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/14862/documentos/04-estudiouer5g-imt.pdf>

IFT. (2019d). *Cuarto Informe Estadístico Trimestral 2018*.

IFT. (2019e). *IMT en México. Más espectro para aplicaciones de Banda Ancha Móvil*. Retrieved from http://www.ift.org.mx/sites/default/files/imt_en_mexico_febrero_2019.pdf

IFT. (2019f, June 24). Usuarios reciben más datos por el mismo precio en planes y recargas de servicios móviles. *Comunicado de Prensa 29/2019*, p. 3. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicadoplanesytarifasmoviles.pdf>

IFT. (2019g, July 9). México entre los países con mayor crecimiento de banda ancha fija: OCDE. *Comunicado de Prensa 32/2019*, p. 3. <https://doi.org/10.9%>

Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2017). Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF).

Leyton-Brown, K., Milgrom, P., & Segal, I. (2017). Economics and computer science of a radio spectrum reallocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(28), 7202–7209. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701997114>

Lucas, N. (2018, October 31). Bandas de 600 y de 3.4 GHz saldrían juntas al mercado a fines de 2020: IFT | El Economista. *El Economista*. Retrieved from

<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Bandas-de-600-y-de-3.4-GHz-saldrian-juntas-al-mercado-a-fines-de-2020-IFT-20181031-0065.html>

Maniewicz, M. (2016). *Outcome of the World Radiocommunication Conference , 2015.*

Retrieved from http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/04/DSA-Summit-2016-Keynote-Address-Day2_Mario-Maniewicz.pdf

Martínez, G., Castro, R. C., & Castañeda, R. (2017). *Tecnologías de acceso dinámico y uso compartido del espectro. IFT.* Retrieved from

http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/tecnologiasdeaccesodinamicoyusocompartidodeloespectro_0.pdf

Massaro, M. (2017). Next generation of radio spectrum management: Licensed shared access for 5G. *Telecommunications Policy*, 41(5–6), 422–433.

<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.04.003>

Mccarthy, J. (2019). *Respuesta de Federated Wireless Inc . a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G).* Retrieved from

<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/comentariosjennifermccarthy.pdf>

Mecinas Montiel, J. M. (2016). the Digital Divide in Mexico: a Mirror of Poverty. *Mexican Law Review*, 9(1), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.mexlaw.2016.09.005>

Mustonen, M., Matinmikko, M., Holland, O., & Roberson, D. (2017). Process model for recent spectrum sharing concepts in policy making. *Telecommunications Policy*, 41(5–6), 391–404. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.01.007>

OCDE. (2012). *Estudio de la OCDE sobre políticas y regulación de telecomunicaciones en México.* <https://doi.org/10.1787/9789264166790-es>

Oughton, E. J., & Frias, Z. (2018). The cost, coverage and rollout implications of 5G infrastructure in Britain. *Telecommunications Policy*, 42(8), 636–652.

<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.07.009>

Ovando, C., Frias, Z., & Bocarando, J. C. (2017, August 15). Connecting the Unconnected: The Case of Mexico's Wholesale Shared Network. Arlington, V.A: SSRN. Retrieved from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2943921

- Ovando, C., & Olivera, E. (2018a). Digital inequalities in internet penetration in Mexican households. *Sociedades y Desigualdades*, 5(1), 60–75.
- Ovando, C., & Olivera, E. (2018b). Was household internet adoption driven by the reform? Evaluation of the 2013 telecommunication reform in Mexico. *Telecommunications Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.03.005>
- Pérez, J., Moral, A., & Ovando, M. C. (2009). Claves y retos de la gestión del espectro. *Regulatory and Economic Policy in Telecommunications*, 2(March 2009), 13–26.
- Prat, A., & Valletti, T. (2001). Spectrum auctions versus beauty contests: costs and benefits. *Rivista Di Politica Economica*, 96(4/5).
- Roberti, L. (2019). *Respuesta Telesat a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G)*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/consultapublica5gtelesatreply.pdf>
- Rosas, E., & Ovando, C. (2018). Inclusión Digital en México , el reto de consolidar un derecho entre los adultos mayores Digital inclusion in Mexico , the challenge of consolidating a right among older adults. *Sociedades y Desigualdades*, 6(1), 48–80.
- Salgado, J. (2019). *Respuesta Altan a la Consulta pública relacionada con las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para Sistemas Móviles de Quinta Generación (5G)*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/22-consultapublicaaltan-vcompleta.pdf>
- SCT; IFT; Inegi; (2019, April 2). En México hay 74.3 Millones de usuarios de internet y 18.3 millones de hogares con conexión a este servicio: Endutih 2018. *Comunicado de Prensa ENDUTIH*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicadoendutih.pdf>
- SCT. (2017). Expediente 985989 Licitación Pública Red Compartida. Acta de Fallo Red Compartida. (S. de la F. Pública, Ed.). México.
- SEGOB. (2013). Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los

artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. México: DOF.

Telconomía. (2018). Análisis: resultados de la licitación 2.5 GHz en México. Retrieved July 31, 2019, from <https://telconomia.com/page/2?s=resultados+subasta>

The Competitive Intelligence Unit. (2019). *Telecomunicaciones Móviles 2T-2019 Parte 1/2: Ingresos, ARPU y Participación de Mercado — The CIU*. Retrieved from <https://www.theciu.com/publicaciones-2/2019/7/29/telecomunicaciones-mviles-2t-2019-parte-12-ingresos-arpu-y-participacin-de-mercado>

Unidad de Espectro Radioeléctrico., & IFT. (2019). *Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/panoramadespectroradioelectricoenmexicopara5g.pdf>

Lista de pies de tabla

Tabla 1. Estructura de Mercado de los principales operadores móviles en México

Tabla 2. Acumulación de espectro por operador a finales de julio de 2019. Fuente: elaboración propia con base en (Lucas, 2019; Xataka México, 2018).

Tabla 3. Bandas de frecuencias IMT. Fuente: Elaboración propia (Adolph et al., 2018; Americas, 2018; IFT; SCT, 2014; IFT, 2018a). Se señala con * las bandas sometidas a consulta pública.

Tabla 4. Asignación de banda del segundo dividendo digital en Alemania y Estados Unidos. Elaboración propia (Bichler et al., 2017; Leyton-Brown et al., 2017).

Tabla 5. Asignación de banda de 3.6 GHz en Alemania y 3.5 GHz Estados Unidos. Elaboración propia con base en (Bundesnetzagentur, 2019; FCC, 2019).