

FORMATO PARA PARTICIPAR EN LA CONSULTA PÚBLICA

Instrucciones para su llenado y participación:

- I. Las opiniones, comentarios, propuestas, aportaciones u otros elementos de análisis deberán ser remitidas a la siguiente dirección de correo electrónico: planeacion.espectro@ift.org.mx, en donde se deberá considerar que la capacidad límite para la recepción de archivos es de 25 MB.
- II. Proporcione su nombre completo (nombre y apellidos), razón o denominación social, o bien, el nombre completo (nombre y apellidos) del representante legal. Para este último caso, deberá elegir entre las opciones el tipo de documento con el que acredita dicha representación, así como adjuntar –a la misma dirección de correo electrónico- copia electrónica legible del mismo.
- III. Lea minuciosamente el **AVISO DE PRIVACIDAD** en materia del cuidado y resguardo de sus datos personales, así como sobre la publicidad que se dará a los comentarios, opiniones y aportaciones presentadas por usted en el presente proceso consultivo.
- IV. Vierta sus comentarios conforme a la estructura de la Sección II del presente formato.
- V. De contar con observaciones generales o alguna aportación adicional, proporcínelos en el último recuadro.
- VI. En caso de que sea de su interés, podrá adjuntar a su correo electrónico la documentación que estime conveniente..
- VII. El período de consulta pública será del 06 de noviembre al 18 de diciembre de 2020 (30 días hábiles). Una vez concluido dicho periodo, se podrán continuar visualizando los comentarios realizados por los interesados, así como los documentos adjuntos en la siguiente dirección electrónica: <http://www.ift.org.mx/industria/consultas-publicas>
- VIII. Para cualquier duda, comentario o inquietud sobre el presente proceso consultivo, el Instituto pone a su disposición los siguientes puntos de contacto: David Tejeda Méndez, Director de Optimización en Radiocomunicaciones, correo electrónico: david.tejeda@ift.org.mx o bien, a través del número telefónico 55 5015 4000, extensión 4546 y; Juan Pablo Rocha López, Director de Atribuciones de Espectro, correo electrónico: juan.rocha@ift.org.mx o bien, a través del número telefónico 55 5015 4000, extensión 2726.

I. Datos del Participante	
Nombre, razón o denominación social:	Dynamic Spectrum Alliance
En su caso, nombre del representante legal:	Martha Liliana Suárez Peñaloza
Documento para la acreditación de la representación: En caso de contar con representante legal, adjuntar copia digitalizada del documento que acredite dicha representación, al correo electrónico indicado en el numeral I de las instrucciones para el llenado y participación.	Carta Poder
AVISO DE PRIVACIDAD	
En cumplimiento a lo dispuesto por los artículos 3, fracción II, 16, 17, 18, 21, 25, 26, 27 y 28 de la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de los Sujetos Obligados (en lo sucesivo, la “LGPDPSO”) y numerales 9, fracción II, 11, fracción II, 15 y 26 al 45 de los Lineamientos Generales de Protección de Datos Personales para el Sector Público (en lo sucesivo los “Lineamientos”), se pone a disposición de los participantes el siguiente Aviso de Privacidad Integral:	
I. Denominación del responsable: Instituto Federal de Telecomunicaciones (en lo sucesivo, el “IFT”). II. Domicilio del responsable: Insurgentes Sur 1143, Col. Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, C. P. 03720, Ciudad de México, México. III. Datos personales que serán sometidos a tratamiento y su finalidad: Los comentarios, opiniones y aportaciones presentadas durante la vigencia de cada consulta pública, serán divulgados íntegramente en el portal electrónico del Instituto de manera asociada con el titular de los mismos y, en ese sentido, serán considerados invariablemente públicos en términos de lo dispuesto en el numeral Octavo de los Lineamientos de Consulta Pública y Análisis de Impacto Regulatorio. Ello, toda vez que la naturaleza de las consultas públicas consiste en promover la participación ciudadana y transparentar el proceso de elaboración de nuevas regulaciones, así como de cualquier otro asunto que estime el Pleno del IFT a efecto de generar un espacio de intercambio de información, opiniones y puntos de vista sobre cualquier tema de interés que este órgano constitucional autónomo someta al escrutinio público. En caso de que dentro de los documentos que sean remitidos se advierta información distinta al nombre y opinión, y ésta incluya datos personales que tengan el carácter de confidencial, se procederá a su protección. Con relación al nombre y la opinión de quien participa en este ejercicio, se entiende que otorga su consentimiento para la difusión de dichos datos, cuando menos, en el portal del Instituto, en términos de lo dispuesto en los artículos 20 y 21, segundo y tercer párrafos, de la LGPDPSO y los numerales 12 y 15 de los Lineamientos. IV. Información relativa a las transferencias de datos personales que requieran consentimiento: Los datos personales recabados con motivo de los procesos de consulta pública no serán objeto de transferencias que requieran el consentimiento del titular. V. Fundamento legal que faculta al responsable para llevar a cabo el tratamiento: El IFT, convencido de la utilidad e importancia que reviste la transparencia y la participación ciudadana en el proceso de elaboración de nuevas regulaciones, así como de cualquier otro asunto que resulte de interés, realiza consultas públicas con base en lo señalado en los artículos 15, fracciones XL y XLI, 51 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, última modificación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2017, 12, fracción XXII, segundo y tercer párrafos y 138 de la Ley Federal de Competencia Económica, última modificación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de enero de 2017, así como el Lineamiento Octavo de los Lineamientos de Consulta Pública y Análisis de Impacto Regulatorio del Instituto Federal de Telecomunicaciones, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 8 de noviembre de 2017. VI. Mecanismos y medios disponibles para que el titular, en su caso, pueda manifestar su negativa para el tratamiento de sus datos personales para finalidades y transferencias de datos personales que requieren el consentimiento del titular: En concordancia con lo señalado en el	

Consulta Pública de Integración del “Cuestionario sobre la banda de frecuencias 5925-7125 MHz”

apartado IV, del presente aviso de privacidad, se informa que los datos personales recabados con motivo de los procesos de consulta pública no serán objeto de transferencias que requieran el consentimiento del titular. No obstante, se ponen a disposición los siguientes puntos de contacto: David Tejeda Méndez, Director de Optimización en Radiocomunicaciones correo electrónico: david.tejeda@ift.org.mx o bien, a través del número telefónico 55 5015 4000 extensión 4546, y Juan Pablo Rocha López, Director de Atribuciones de Espectro, correo electrónico: juan.rocha@ift.org.mx o bien, a través del número telefónico 55 5015 4000, extensión 2726, con quienes el titular de los datos personales podrá comunicarse para cualquier manifestación o inquietud al respecto.

VII. Los mecanismos, medios y procedimientos disponibles para ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición sobre el tratamiento de sus datos personales (en lo sucesivo, los “derechos ARCO”): Las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO deberán presentarse ante la Unidad de Transparencia del IFT, a través de escrito libre, formatos, medios electrónicos o cualquier otro medio que establezca el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (en lo sucesivo el “INAI”). El procedimiento se regirá por lo dispuesto en los artículos 48 a 56 de la LGPDPPSO, así como en los numerales 73 al 107 de los Lineamientos, de conformidad con lo siguiente:

a) Los requisitos que debe contener la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO

- Nombre del titular y su domicilio o cualquier otro medio para recibir notificaciones;
- Los documentos que acrediten la identidad del titular y, en su caso, la personalidad e identidad de su representante;
- De ser posible, el área responsable que trata los datos personales y ante la cual se presenta la solicitud;
- La descripción clara y precisa de los datos personales respecto de los que se busca ejercer alguno de los derechos ARCO;
- La descripción del derecho ARCO que se pretende ejercer, o bien, lo que solicita el titular, y
- Cualquier otro elemento o documento que facilite la localización de los datos personales, en su caso.

b) Los medios a través de los cuales el titular podrá presentar solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO

Los mismos se encuentran establecidos en el párrafo octavo del artículo 52 de la LGPDPPSO, que señala lo siguiente:

Las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO deberán presentarse ante la Unidad de Transparencia del responsable, que el titular considere competente, a través de escrito libre, formatos, medios electrónicos o cualquier otro medio que al efecto establezca el INAI.

c) Los formularios, sistemas y otros medios simplificados que, en su caso, el Instituto hubiere establecido para facilitar al titular el ejercicio de sus derechos ARCO.

Los formularios que ha desarrollado el INAI para el ejercicio de los derechos ARCO, se encuentran disponibles en su portal de Internet (www.inai.org.mx), en la sección “Protección de Datos Personales”/“Cómo ejercer el derecho a la protección de datos personales?”/“Formatos”/“Sector Público”.

d) Los medios habilitados para dar respuesta a las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO

De conformidad con lo establecido en el numeral 90 de los Lineamientos, la respuesta adoptada por el responsable podrá ser notificada al titular en su Unidad de Transparencia o en las oficinas que tenga habilitadas para tal efecto, previa acreditación de su identidad y, en su caso, de la identidad y personalidad de su representante de manera presencial, o por la Plataforma Nacional de Transparencia o correo certificado en cuyo caso no procederá la notificación a través de representante para estos últimos medios.

e) La modalidad o medios de reproducción de los datos personales

Según lo dispuesto en el numeral 92 de los Lineamientos, la modalidad o medios de reproducción de los datos personales será a través de consulta directa, en el sitio donde se encuentren, o mediante la expedición de copias simples, copias certificadas, medios magnéticos, ópticos, sonoros, visuales u holográficos, o cualquier otra tecnología que determine el titular.

f) Los plazos establecidos dentro del procedimiento -los cuales no deberán contravenir los previsto en los artículos 51, 52, 53 y 54 de la LGPDPPSO- son los siguientes:

El responsable deberá establecer procedimientos sencillos que permitan el ejercicio de los derechos ARCO, cuyo plazo de respuesta no deberá exceder de veinte días contados a partir del día siguiente a la recepción de la solicitud.

El plazo referido en el párrafo anterior podrá ser ampliado por una sola vez hasta por diez días cuando así lo justifiquen las circunstancias, y siempre y cuando se le notifique al titular dentro del plazo de respuesta.

En caso de resultar procedente el ejercicio de los derechos ARCO, el responsable deberá hacerlo efectivo en un plazo que no podrá exceder de quince días contados a partir del día siguiente en que se haya notificado la respuesta al titular.

En caso de que la solicitud de protección de datos no satisfaga alguno de los requisitos a que se refiere el párrafo cuarto del artículo 52 de la LGPDPPSO, y el responsable no cuente con elementos para subsanarla, se prevendrá al titular de los datos dentro de los cinco días siguientes a la presentación de la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO, por una sola ocasión, para que subsane las omisiones dentro de un plazo de diez días contados a partir del día siguiente al de la notificación.

Transcurrido el plazo sin desahogar la prevención se tendrá por no presentada la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO.

La prevención tendrá el efecto de interrumpir el plazo que tiene el INAI para resolver la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO.

Consulta Pública de Integración del “Cuestionario sobre la banda de frecuencias 5925-7125 MHz”

Cuando el responsable no sea competente para atender la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, deberá hacer del conocimiento del titular dicha situación dentro de los tres días siguientes a la presentación de la solicitud, y en caso de poderlo determinar, orientarlo hacia el responsable competente.

Cuando las disposiciones aplicables a determinados tratamientos de datos personales establezcan un trámite o procedimiento específico para solicitar el ejercicio de los derechos ARCO, el responsable deberá informar al titular sobre la existencia del mismo, en un plazo no mayor a cinco días siguientes a la presentación de la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, a efecto de que este último decida si ejerce sus derechos a través del trámite específico, o bien, por medio del procedimiento que el responsable haya institucionalizado para la atención de solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO conforme a las disposiciones establecidas en los artículos 48 a 56 de la LGPDPSO.

En el caso en concreto, se informa que no existe/existe un procedimiento específico para solicitar el ejercicio de los derechos ARCO en relación con los datos personales que son recabados con motivo del proceso consultivo que nos ocupa. (Descripción en caso de existir).

g) El derecho que tiene el titular de presentar un recurso de revisión ante el INAI en caso de estar inconforme con la respuesta

El referido derecho se encuentra establecido en los artículos 103 al 116 de la LGPDPSO, los cuales disponen que el titular, por sí mismo o a través de su representante, podrán interponer un recurso de revisión ante el INAI o la Unidad de Transparencia del responsable que haya conocido de la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, dentro de un plazo que no podrá exceder de quince días contados a partir del siguiente a la fecha de la notificación de la respuesta.

VIII. El domicilio de la Unidad de Transparencia del IFT: Insurgentes Sur 1143, Col. Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, C. P. 03720, Ciudad de México, México. Planta Baja, teléfono 55 5015 4000, extensión 4267.

IX. Los medios a través de los cuales el responsable comunicará a los titulares los cambios al aviso de privacidad: Todo cambio al Aviso de Privacidad será comunicado a los titulares de datos personales en el apartado de consultas públicas del portal de internet del IFT.

II. Cuestionario de la Consulta Pública de Integración

Nota 1: El documento “Banda de frecuencias 5925-7125 MHz”, es un documento de referencia que ayuda en la comprensión de los cuestionamientos listados en la siguiente tabla. Por sí mismo, dicho documento de referencia no se encuentra propiamente en consulta pública.

Nota 2: Se recomienda responder a todas las preguntas contenidas en la siguiente tabla, acompañado de los argumentos, planteamientos, justificaciones y elementos de análisis que se considere necesario para sustentar la opinión, incluyendo documentos de soporte que se deseen adjuntar.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
1	¿Cuál considera que sea el uso más adecuado para la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	<p>La Dynamic Spectrum Alliance (“DSA”), una alianza global, que promueve el uso eficiente del espectro con el fin de brindar conectividad y capacidad para todos a través de una gestión dinámica e innovadora de este recurso. La DSA representa a las grandes empresas multinacionales de tecnología, así como pequeñas y medianas empresas, universidades y entidades de investigación a nivel mundial, los miembros de la alianza se encuentran en este enlace.</p> <p>En respuesta a la consulta pública de integración acerca del “Cuestionario sobre la banda de frecuencias 5925-7125 MHz” (la “Consulta”), publicada por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (“Instituto”) el 5 de noviembre de 2020, la DSA se permite enviar sus comentarios, usando este formato según los lineamientos establecidos.</p> <p>En primer lugar, la DSA quisiera reconocer el significativo y riguroso trabajo adelantado por la Unidad de Espectro Radioeléctrico del Instituto en la elaboración del documento de referencia sobre la banda de Frecuencias 5925-7125 MHz (“Documento de Referencia”) publicado junto con la consulta. La DSA considera que el uso más adecuado para la banda de 5925-7125 MHz (“6 GHz”) es el de espectro libre, al tiempo que apoya la continuación del uso determinado del espectro con licencia para operaciones del servicio fijo (“SF”) (redes punto-a-punto, redes punto-multipunto y sistemas de control de trenes) y del servicio fijo por satélite (“SFS”). La DSA cree que el IFT puede elaborar reglas técnicas y operativas para permitir la operación de Redes Radioeléctricas de Área Local (“RLAN”) con dispositivos de las categorías “de potencia estándar” (“SP”) (exteriores e interiores), “de baja potencia en interiores” (“LPI”) y “de muy baja potencia” (“VLP”) (exteriores e interiores) que se describen en el Documento de Referencia y que podrían operar en la banda de 6 GHz atendiendo las condiciones establecidas por el Instituto para el uso de la misma, sin causar interferencia perjudicial a los actuales usuarios de la banda.</p> <p>Dado que los dispositivos que usan las bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre no pueden causar interferencias perjudiciales ni reclamar protección contra las mismas por parte de los dispositivos que usan las bandas de espectro determinado, la introducción de las tres categorías de dispositivos RLAN</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>(SP, LPI y VLP) en toda la banda de 6 GHz, traerá significativos beneficios económicos y sociales a los consumidores mexicanos y a las empresas en general, sin limitar el crecimiento futuro de los servicios fijo y fijo por satélite en la banda.</p> <p>Este último punto es muy importante: la habilitación de la banda de 6 GHz para sistemas RLAN como Wi-Fi 6 (que es la nueva generación de Wi-Fi, también conocido como 802.11ax y tiene importantes ventajas como la posibilidad de soportar más clientes en ambientes densos, mayor eficiencia, flexibilidad, escalabilidad y seguridad en las redes), maximizará el uso eficiente del espectro y las posibilidades de conectividad inalámbrica de banda ancha a bajo costo, protegiendo los servicios incumbentes que operan en la banda y sin limitar sus posibilidades de crecimiento a futuro. El uso eficiente de la banda es evidente al permitir que los asignatarios de la banda que hacen uso del espectro hoy en día sigan operando y creciendo y al mismo tiempo permitiendo que millones de mexicanos se beneficien de un mejor Wi-Fi.</p> <p><i>Telecom Advisory Services LLC</i> realizó un estudio económico titulado “Estimación del valor económico del uso no licenciado de la banda de 6 GHz en México”.¹ La metodología utilizada identifica diez fuentes de valor económico, estimándolas de manera independiente y sumándolas para proporcionar un valor total que incluye la contribución al Producto Interno Bruto (PIB), así como los excedentes del productor² y del consumidor.³ Las fuentes de valor identificadas son: (1) aumento de la cobertura y mejoramiento de la asequibilidad, (2) aumento de la velocidad de banda ancha mediante la reducción de la congestión de Wi-Fi, (3) despliegue amplio de Internet de las Cosas (“IoT”), (4) reducción de los costos de telecomunicaciones inalámbricas de empresas, (5) despliegue de soluciones de realidad virtual y realidad aumentada (“VR/AR”), (6) despliegue de Wi-Fi municipal, (7) despliegue de puntos de acceso de Wi-Fi gratuitos, (8) alineamiento de la designación de espectro con las decisiones de otros países, (9) aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular y (10) Equipamiento de Wi-Fi. El valor económico acumulado entre el 2021 y 2030 resultante de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en México suma US\$ 150.27 mil millones, distribuidos en US\$ 71.96 mil millones de contribución al PIB, US\$ 56.18 mil millones en excedente del productor y US\$ 22.13 mil millones en excedente del consumidor. El informe de este estudio se incluye como “Anexo 1” a estos comentarios de la DSA.</p> <p>Además, el tiempo no podría ser más crítico para que el Instituto autorice el uso libre del espectro en toda la banda de 6 GHz. La experiencia de los últimos meses en el que el mundo se ha estado enfrentando al COVID-19 ha demostrado la importancia crítica de Wi-Fi como parte de la infraestructura capaz de mitigar</p>

¹ Este estudio usa de manera indistinta los términos de “espectro no licenciado” y “espectro libre”.

² El excedente del productor es la diferencia entre el precio de mercado de un bien y su costo de producción.

³ El excedente del consumidor es la diferencia entre la utilidad total que obtiene el consumidor de un bien o servicio y su precio de mercado.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>los efectos económicos y sociales de la pandemia.⁴ El confinamiento en hogares ha puesto de manifiesto la importancia de la tecnología para apoyar la educación a distancia, el teletrabajo y la telemedicina. La demanda de acceso a Internet de banda ancha asequible ha aumentado sustancialmente y en este contexto, el aumento exponencial del tráfico de las telecomunicaciones en el hogar ha impactado el uso de Wi-Fi. Por ejemplo, el porcentaje de tiempo que los usuarios de smartphone están conectados a Internet a través de Wi-Fi en México ha alcanzado el 64%.⁵ En lugares donde puede haber varios dispositivos inalámbricos que comparten el ancho de banda de una conexión de Internet en una casa o negocio, la congestión de Wi-Fi es una preocupación. Para cada usuario, no es solo la velocidad del acceso a Internet en el hogar o la empresa lo que importa, sino también la velocidad de Internet de la conexión inalámbrica desde el punto de acceso Wi-Fi a su dispositivo. En este sentido es importante que se aumente la capacidad y se habilite el uso de espectro en otras bandas no licenciadas, como la de 6 GHz.⁶</p> <p>La razón del uso generalizado de Wi-Fi es porque es una tecnología de acceso inalámbrico muy costo eficiente. Según Intel, los costos de licenciamiento de la propiedad intelectual necesaria para equipos celulares 5G es tres veces (3x) más que la de los chipsets Wi-Fi, y el costo entero de un modem celular 5G es cincuenta veces (50x) más el costo de un chipset Wi-Fi.⁷</p> <p>Wi-Fi es un excelente ejemplo de los beneficios de economías de escala para los usuarios finales, que resultan de la armonización global en el uso del espectro. Esta disponibilidad de equipos habilita usos innovadores y de última tecnología. Así mismo, permite mejorar la conectividad en las redes Wi-Fi en hogares, empresas y sitios públicos que tanto lo necesitan como hospitales, bibliotecas, centros comunitarios, entre otros.</p> <p>Como se discutirá más adelante, la banda de 6 GHz ofrece el potencial de soportar canales de 80 MHz y 160 MHz de ancho de banda (y en el futuro, canales de 320 MHz) que permitirán que múltiples usuarios de dispositivos Wi-Fi operen bajo el mismo techo y puedan compartir de manera eficiente el ancho de banda entregado a su hogar o empresa. Así mismo, la disponibilidad de múltiples canales de gran ancho de banda y el uso libre de la banda de 6 GHz, acelerarán el desarrollo y despliegue de aplicaciones de VR/AR para consumidores y empresas. Además, el espectro de uso libre en la banda de 6 GHz también permitirá a los Proveedores de Servicios de Internet inalámbrico ("WISP") suministrar acceso asequible de banda ancha a comunidades y usuarios actualmente desatendidos.</p>

⁴ Con respecto a la importancia de las telecomunicaciones para mitigar el impacto negativo de las pandemias, ver Katz, R.; Jung, J. and Callorda, F. (2020a). “Can digitization mitigate the economic damage of a pandemic? Evidence from SARS”. Telecommunications Policy 44, 102044.

⁵ Khatri, H. and Fenwick, S. (2020). Analyzing mobile experience during the coronavirus pandemic: Time on Wi-Fi. Opensignal (March 30).

⁶ Para más referencia, consultar Katz, R.; Jung, J. and Callorda, F. (2020b). [COVID-19 and the economic value of Wi-Fi](#). New York: Telecom Advisory Services.

⁷ Fuente: Eric McLaughlin, General Manager Wireless Solutions Group, Intel during the WBA Congress in Frankfurt in September/October 2019.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>Las acciones de planeación de espectro propuestas por el Instituto y orientadas a poner a disposición 1200 MHz de espectro adicional para uso libre en la banda de 6 GHz, son pasos en la dirección correcta que permitirán que los mexicanos accedan a mejores servicios de Internet en el muy corto plazo y por lo tanto contribuirán a cerrar la brecha digital en el país en el momento que más se necesita.</p>
2	<p>¿Considera que el uso actual de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz debería mantenerse sin modificaciones? Indique las razones que justifiquen su respuesta.</p>	<p>No, el uso actual de la banda de frecuencia de 6 GHz debería modificarse y permitirse un uso no licenciado. Dado el crecimiento continuo en la demanda de conectividad de banda ancha por parte de los consumidores, agravado por la urgencia de entregar espectro adicional durante la pandemia COVID-19 para apoyar el aprendizaje remoto, el teletrabajo y la telemedicina, es necesario que el Instituto actúe cuanto antes y permita un uso más intensivo de la banda de 6 GHz, habilitando su uso libre.</p> <p>Los dispositivos LPI y VLP son portátiles. Como cuestión inicial, si bien en la región 2 de la UIT existe una atribución primaria al servicio móvil en la banda de frecuencia de 5925-7125 MHz, en México solo hay una atribución secundaria al servicio móvil para las bandas de frecuencia de 6700-7075 MHz y 7075-7125 MHz. El Instituto podría considerar tres opciones que permitirían adecuar el espectro de uso libre para operaciones de RLAN en la banda de 6 GHz. Primero, el Instituto podría considerar modificar el CNAF y agregar una atribución de carácter secundario al servicio móvil en la banda 5925-6700 MHz. En segundo lugar, el Instituto podría considerar modificar el CNAF y agregar una atribución de carácter secundario al servicio móvil en la banda 5925-6700 MHz más una nota nacional permitiendo el uso por parte de redes RLAN en toda la banda de 6 GHz. En tercer lugar, el Instituto podría optar por no realizar ningún cambio en la CNAF, ya que los dispositivos de espectro de uso libre pueden operar en las bandas de frecuencia de 5925-6700 MHz y 6700-7125 MHz en México de conformidad con el Artículo 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.</p> <p>Más fundamentalmente, con las reglas técnicas adecuadas, el Instituto puede habilitar un uso más intensivo de la banda de 6 GHz al permitir que los dispositivos de espectro de uso libre SP (exteriores e interiores), LPI y VLP (exteriores e interiores) coexistan con los usuarios establecidos del servicio fijo y del servicio fijo por satélite sin causarles interferencias perjudiciales. Las reglas que permiten el uso no licenciado de dispositivos RLAN “de potencia estándar” (exteriores e interiores) y “de baja potencia en interiores” en Estados Unidos entraron en vigor en julio del año pasado. Desde entonces, la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América (“FCC”) ha certificado varios modelos de dispositivos LPI que pueden operar en todo el rango de frecuencia de 5925-7125 MHz para ser importados y comercializados en el país y este número crece constantemente.⁸</p>

⁸ Para ver todos los equipos certificados se puede consultar <https://apps.fcc.gov/oetcf/eas/reports/GenericSearch.cfm>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>En el <i>Consumer Electronics Show</i> virtual celebrado recientemente, hubo varios anuncios de productos de sistemas Wi-Fi que operan en toda la banda de 6 GHz (“Wi-Fi 6E”). Incluso, el pasado 14 de enero, Samsung anunció un nuevo teléfono móvil que incorporaba un cliente Wi-Fi 6E.⁹</p>
3	<p>¿Considera viable que se habilite la operación de redes radioeléctricas de área local (RLAN), incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi, en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz bajo la modalidad de espectro libre? De ser afirmativa su respuesta, ¿Cuál considera que sea la cantidad de espectro radioeléctrico necesaria para la implementación de redes radioeléctricas de área local, incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi en México? Indique las ventajas y desventajas, así como las razones que justifiquen su respuesta.</p>	<p>Sí, es factible que las RLAN operen bajo la modalidad de espectro libre en la banda de frecuencia de 5925-7125 MHz. El Instituto puede adoptar reglas técnicas que permitan la operación de dispositivos SP (exteriores e interiores), LPI, y VLP (exteriores e interiores) en la banda y a su vez permitan la coexistencia con los usuarios del servicio fijo y del servicio fijo por satélite.</p> <p>Según se indica en el Documento de Referencia, en la sección “Uso de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz”, en México no se cuenta con registros relacionados con el servicio móvil en el segmento de frecuencias 6700-7125 MHz (atribuido al servicio móvil a título secundario). Según lo anterior, los dispositivos RLAN SP, LPI y VLP podrían operar en México en toda la banda de 6 GHz, a diferencia de lo que sucede en otros países que han implementado o están considerando la reglamentación del uso no licenciado del espectro en la banda de 6 GHz, que al tener asignatarios móviles operando en la banda, tuvieron que restringir ciertos segmentos para ciertos usos. Permitir el acceso no licenciado a la totalidad de los 1200 MHz de espectro, permitirá múltiples canales contiguos de 80, 160 y, en el futuro, 320 MHz de ancho de banda.</p> <p>Es necesario habilitar el uso libre de toda la banda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • para que México alcance el valor económico acumulado de US\$ 150.27 mil millones entre el 2021 y 2030, según se describe en el estudio de “Estimación del valor económico del uso no licenciado de la banda de 6 GHz en México” proporcionado como anexo a la respuesta de la Pregunta 1, • para que el Instituto ponga a disposición suficiente espectro que permita satisfacer la demanda proyectada de espectro adicional para Wi-Fi en el corto y medio plazo, según el Estudio de necesidades de espectro de Wi-Fi Alliance¹⁰, • para que el público aproveche al máximo los beneficios de la nueva tecnología Wi-Fi 6E (y el próximo Wi-Fi 7) en casos de uso emergentes que requieren grandes anchos de banda, como por ejemplo VR/AR; despliegues de redes de alta densidad en aeropuertos, centros de convenciones, estadios, etc; o aplicaciones de IoT,

⁹ Samsung [Press Release](#), “Samsung Galaxy S21 Ultra: The Ultimate Smartphone Experience, Designed To Be Epic In Every Way”.

¹⁰ Basado en las proyecciones del crecimiento de la demanda de Wi-Fi para el año 2025, el Estudio de necesidades de espectro realizado por la Wi-Fi Alliance en 2017 indicó que se pueden necesitar hasta 1500 MHz de espectro adicional en bandas medias para mantener el ecosistema Wi-Fi. Wi-Fi Alliance, [Spectrum Needs Study](#) (Feb. 2017).

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<ul style="list-style-type: none"> • para evitar que la conexión inalámbrica de banda ancha entre el punto de acceso y un dispositivo Wi-Fi que opere en el borde de una red se convierta en el cuello de botella de la red cuando hay varios dispositivos Wi-Fi en uso en el mismo hogar o negocio, y • para ayudar a distribuir la energía irradiada por los dispositivos RLAN de uso libre en toda la banda de 6 GHz, lo que mejora su coexistencia con los operadores tradicionales del SF y SFS. <p>Algunos intereses de la industria móvil buscan que la parte alta de la banda sea identificada para IMT, argumentan que la operación de RLAN bajo la modalidad de uso libre debería habilitarse solo en el segmento inferior de la banda (5925-6425 MHz), y que los reguladores, incluso los de América, deben esperar el resultado de la CMR-23 antes de tomar cualquier decisión que autorice el uso no licenciado de la banda. En virtud de la Resolución UIT-R 245 (CMR-19), y como bien lo indica la unidad de espectro radioeléctrico en el Documento de Referencia, la banda de 6425-7025 MHz solo está siendo estudiada para una posible identificación de IMT en la Región 1 de la UIT. El segmento de 6425-7025 MHz no está en estudio en las Américas, que es la Región 2. Además, no hay ninguna certeza o garantía de que la CMR-23 va a identificar las bandas de frecuencia de 6425-7025 MHz o 7025-7125 MHz para IMT. E incluso si se quisiera tener un punto del orden del día para estudiar la posible identificación de la banda de 6425-7025 MHz para IMT en la Región 2, solo se podría tener una decisión en el año 2027, después del ciclo de estudios de la CMR-27.</p> <p>Mientras tanto, se ha establecido todo un ecosistema comercial global para las RLAN en la banda de 6 GHz, con productos comerciales ya disponibles. Se han certificado varios puntos de acceso LPI y dispositivos cliente (teléfonos inteligentes y computadoras portátiles) Wi-Fi 6E para comercializarse y venderse en los Estados Unidos. Así mismo, otros países también están en proceso de establecer procedimientos de certificación basados en sus respectivas reglas de operación no licenciada en la banda de 6 GHz. Si el Instituto autoriza la operación de RLAN bajo la modalidad de uso libre en la banda de 6 GHz en México este año, los consumidores y empresas mexicanos podrían beneficiarse inmediatamente del ancho de banda adicional y desplegar redes con equipos que ya incorporan la tecnología Wi-Fi 6E. Si, por otra parte, el Instituto decidiese prestar atención a los argumentos de algunos representantes de las IMT, entonces los mexicanos perderían la oportunidad – y sin una buena razón, de beneficiarse de 700 MHz de espectro que hoy resultan cruciales para respaldar una mejor conectividad de banda ancha que permite el aprendizaje remoto, el teletrabajo, la telemedicina e incluso el comercio electrónico y el entretenimiento durante lo que resta de la pandemia y el periodo de recuperación posterior. Además, el estudio de impacto económico que anexa la DSA en esta consulta indica que la designación de 1200 MHz en la banda de 6 GHz para uso no licenciado comienza a generar un beneficio económico desde el primer momento, a partir de la resolución de la congestión de enrutadores de Wi-Fi en el mercado residencial y del desarrollo y despliegue de múltiples casos de uso en el sector productivo. La alternativa – no innovar y esperar hasta que los operadores de telecomunicaciones inalámbricas IMT tengan necesidad de acceder a espectro adicional en esta banda – pospone la creación de valor económico con el consiguiente costo de oportunidad para la economía y sociedad mexicanas.</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>Finalmente, Wi-Fi 6 hace parte del ecosistema 5G y según los estudios del <i>Visual Networking Index: Forecast and trends, 2017-2022</i> de Cisco la descarga de tráfico de las redes celulares en redes WLAN/RLAN (<i>offload traffic</i>) va a pasar del 74% actual a 79% en 2022. No habría ninguna razón para pensar que después de habilitar las redes LAN bajo la modalidad de uso libre en la banda de 6 GHz, la cual vale la pena recordar, no afectaría la operación de los servicios que actualmente operan en la banda, ni requeriría procesos de migración para los usuarios incumbentes, se vaya a requerir una “limpieza” de la banda a futuro. Al contrario, la decisión de permitir el uso libre de 1200 MHz de espectro en la banda de 6 GHz constataría la visión de largo plazo del IFT, dejando las bases para la adopción temprana de Wi-Fi 7¹¹ en México. En efecto, en el proceso de estandarización de la próxima generación del estándar de la familia IEEE 802.11, el 802.11be también conocido como Wi-Fi 7, se tiene previsto el borrador inicial (0.1) quede definido en el primer semestre del 2021, con el lanzamiento de los procesos de certificación a finales de 2023, incluyendo canales de hasta 320 MHz de ancho de banda para conexiones Wi-Fi y otras funcionalidades.</p>
4	<p>¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de redes radioeléctricas de área local (RLAN), incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi, que pudieran operar en ambientes interiores sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas existentes en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.</p>	<p>Los enlaces del servicio fijo y del servicio fijo por satélite funcionan en exteriores. Para los enlaces de servicio fijo, la preocupación es sobre el impacto, si lo hay, de equipos RLAN de entrada única interferentes. Para los enlaces ascendentes del servicio fijo por satélite, la preocupación es la posible interferencia agregada de todas las RLAN desplegadas dentro del campo de visión del satélite. Afortunadamente, como las operaciones de los dispositivos LPI y la mayoría de las operaciones de los dispositivo VLP y SP se producirán en interiores, donde hay pérdida de penetración en los edificios, el riesgo de interferencia perjudicial de las RLAN que operan en ambientes interiores es muy bajo. De hecho, como la DSA lo discutirá en sus respuestas posteriores, el riesgo de interferencia agregada a los enlaces ascendentes del SFS de todas las categorías de RLAN, que operan tanto en interiores como en exteriores, es insignificante. Además, como no hay asignaciones móviles en el segmento de 6700-7125 MHz, el Instituto debería permitir que los dispositivos SP, LPI y VLP, funcionen en toda la banda de 6 GHz.</p> <p>La DSA recomienda que el Instituto considere condiciones técnicas, operativas y de coexistencia independientes para los dispositivos LPI y “de potencia estándar” para interiores. Además, como los dispositivos VLP están diseñados para funcionar a un nivel de PIRE mucho más bajo que los dispositivos LPI, las condiciones técnicas, operativas y de coexistencia más estrictas para los dispositivos LPI garantizarán que los dispositivos VLP que funcionan en interiores no causen interferencias perjudiciales.</p>

¹¹ Wi-Fi Alliance, “Capacity, efficiency, and performance for advanced connectivity”. Ver <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p><u>Dispositivos LPI en la banda de 6 GHz</u></p> <p>Para garantizar que los dispositivos LPI, incluidos los sistemas Wi-Fi y los dispositivos cliente asociados, no causen interferencias perjudiciales en los enlaces exteriores del SF y SFS, el Instituto debe: 1) especificar medidas para que sea muy probable que los dispositivos LPI y los dispositivos cliente asociados funcionen en interiores y estén sujetos a pérdidas del ambiente (<i>clutter</i>) y pérdidas de penetración en las edificaciones 2) establecer un límite de densidad espectral de potencia (“DEP”) de PIRE apropiado para los puntos de acceso.</p> <p>En los Estados Unidos, el regulador adoptó el enfoque de limitar la DEP de PIRE. Inicialmente, el regulador propuso que los dispositivos LPI operen con un límite de DEP de PIRE de 11 dBm/MHz en las bandas U-NII-6 y U-NII-8.¹² Hubo un extenso registro de comentarios presentados, incluidos estudios de coexistencia, algunos de los cuales mostraron que un dispositivo LPI que funcionara con una DEP de PIRE de hasta 8 dBm/MHz en toda la banda de 6 GHz no causaría interferencia perjudicial a las operaciones del SF y del SFS.¹³ La FCC adoptó un enfoque muy conservador al establecer un límite de DEP de PIRE de 5 dBm/MHz para los puntos de acceso LPI y emitió una <i>Further Notice of Proposed Rulemaking</i> (“FNPRM”) en la que pregunta sobre la protección a los usuarios titulares de la banda si el límite de DEP de PIRE se incrementa a 8 dBm/MHz.¹⁴ Los dispositivos LPI clientes están limitados a una PIRE de 24 dBm y una DEP de PIRE de -1 dBm/MHz. El regulador estadounidense también creó una nueva categoría de “dispositivo subordinado” en la banda de 6 GHz, que opera bajo el control de un punto de acceso LPI, no tiene una conexión directa a Internet e incorpora medidas para que sea muy probable que estos dispositivos sólo operen en ambientes interiores.</p> <p>Según las reglas promulgadas, para un canal de 320 MHz de ancho de banda, en una RLAN de nueva generación, según el estándar 802.11be (también denominado Wi-Fi 7), el límite de PIRE máximo es de 30 dBm. Usando el límite de DEP de PIRE de 5 dBm/MHz, el límite de PIRE máxima de un dispositivo LPI se reduce a 18 dBm para un canal de 20 MHz.</p> <p>Dado el aumento de la pérdidas de trayecto en la banda de 6 GHz por encima de las de la banda de 5 GHz, los representantes del ecosistema RLAN creen que un límite de DEP de PIRE de 5 dBm/MHz representa el límite más bajo que no conducirá a un recableado generalizado en las empresas para adaptarse al rango más reducido de los puntos de acceso operando en 6 GHz ni la necesidad de múltiples repetidores Wi-Fi de 6 GHz en los hogares. De hecho, como se mencionó anteriormente, la FCC en su FNPRM solicitó comentarios sobre</p>

¹² Unlicensed Use of the 6 GHz Band, Notice of Proposed Rulemaking, ET Docket No. 18-295, 33 FCC Rcd 10524, (2018) at ¶ 78.

¹³ CableLabs, Unlicensed Use of the 6 GHz Band, Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, Ex Parte, ET Docket No. 18-295, (filed December 20, 2019)

¹⁴ Unlicensed Use of the 6 GHz Band, Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, ET Docket No. 18-295, 35 FCC Rcd 3852 (2020) at ¶¶ 244-245. (“Report and Order” and “Further Notice” respectively)

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>la conveniencia de aumentar la DEP de PIRE de los dispositivos LPI a 8 dBm/MHz. La DSA recomienda que el Instituto proponga un límite de DEP de PIRE de 8 dBm/MHz para los puntos de acceso LPI como punto de partida en cualquier consulta futura sobre los parámetros técnicos de operación. Los comentarios que se reciban en la consulta permitirían al IFT establecer si la DEP de PIRE para dispositivos LPI debería fijarse en 8 dBm/MHz o algún otro valor.</p> <p>La DSA también solicita que el Instituto autorice a los dispositivos cliente LPI a comunicarse directamente con otros dispositivos cliente LPI cuando cada dispositivo esté funcionando dentro del área de cobertura de un punto de acceso LPI. De lo contrario, cada dispositivo cliente LPI tendrá que transmitir una señal a través de su respectivo punto de acceso. Dichas comunicaciones de cliente a cliente reducirán el número total de transmisiones en la red de área local, reduciendo la cantidad total de energía en el aire. Aún más importante, al autorizar las comunicaciones cliente a cliente LPI, el Instituto permitiría casos de uso inmersivos únicos para AR/VR y aplicaciones de multidifusión (uso compartido de videos y archivos) para educación, entrenamientos y juegos. El Instituto puede garantizar que un dispositivo cliente permanezca en el área de servicio de un AP LPI, requiriendo que el dispositivo cliente haya decodificado la señal de habilitación de un AP LPI en los últimos 4 segundos antes de completar la transmisión a otro dispositivo cliente. Al respecto, la FCC publicó recientemente una <i>Public Notice</i> solicitando información adicional sobre este importante modo de operación en interiores.¹⁵</p> <p><u>Dispositivos SP en ambientes interiores en la banda de 6 GHz</u></p> <p>Se prevé que los puntos de acceso SP para interiores funcionen con límites de PIRE y DEP de PIRE más altos que los de los dispositivos LPI. Si bien se prevé que los puntos de acceso de los dispositivos de potencia estándar (“AP SP”) operando en ambientes interiores se implementen inicialmente en empresas, con el tiempo el mercado determinará si el uso doméstico es comercialmente viable.</p> <p>Para garantizar que un AP SP y los dispositivos cliente SP asociados que operan en interiores no causarán interferencias perjudiciales a los enlaces SF que operan en ambientes exteriores, el Instituto debe establecer límites de DEP de PIRE apropiados y requerir que el punto de acceso de energía estándar interior esté sujeto a un sistema de coordinación de frecuencias automatizado (“AFC”). Es posible que se requiera que tanto el AP SP como los dispositivos cliente SP tengan capacidad de geolocalización que les permita determinar automáticamente su ubicación y el grado de incertidumbre de la misma, con un nivel de confianza de al menos el 95%. Alternativamente, el Instituto podría permitir la instalación profesional de los AP SP y los dispositivos cliente SP asociados, por lo que el instalador profesional ingresaría la información de ubicación para todos los dispositivos SP en el AP SP. Independientemente de cómo se ingrese la información, el AP SP</p>

¹⁵ United States Federal Communications Commission, ‘The Office of Engineering & Technology Seeks Additional Information Regarding Client-to-Client Device Communications in the 6 GHz Band, Public Notice’, ET Docket No. 18-295; GN Docket No. 17-183, (released January 11, 2021). [DA-21-7A1.pdf \(fcc.gov\)](https://www.fcc.gov/encyclopedia/da-21-7a1.pdf)

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>debe reportar al sistema AFC la información de su ubicación (y el grado de incertidumbre de la misma) y la de sus dispositivos cliente SP. Si un AP SP está asociado a un dispositivo cliente LPI, no tendría que informar la ubicación del mismo, ya que este último operaría con una PIRE y una DEP de PIRE más bajas que el cliente SP. El sistema AFC determinará la distancia de separación mínima entre los dispositivos de potencia estándar y los receptores del SF asumiendo un funcionamiento co-canal. Cuando lo solicite el AP SP, el sistema AFC proporcionará una lista de canales disponibles y la potencia máxima de operación en cada canal disponible. Para los AP SP operando en ambientes interiores, no es necesario que el Instituto adopte una máscara de emisiones que limite la energía que se dirige hacia arriba en dirección a los satélites geoestacionarios.</p> <p>En principio, el sistema AFC puede establecer la distancia apropiada de separación para proteger un enlace del SF de las emisiones co-canal de un AP SP con cualquier límite de PIRE y de DEP de PIRE. Cuanto mayor sea el límite de PIRE y DEP de PIRE de la RLAN, mayor será la distancia de separación requerida entre los dispositivos de potencia estándar y del SF. Sin embargo, como punto de partida, el Instituto debería considerar el límite de DEP de PIRE establecido por el regulador estadounidense para los AP SP y los dispositivos cliente SP, que son 23 dBm/MHz y 17 dBm/MHz, respectivamente. Los límites de PIRE correspondientes para un canal de 320 MHz son 36 dBm y 30 dBm, respectivamente.</p>
5	<p>Con el fin de preservar la correcta operación de los sistemas que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México, el Instituto invita a cualquier persona o grupo interesado a comentar cualquier aspecto relacionado con la implementación de condiciones técnicas, de coexistencia y de operación para el despliegue de redes radioeléctricas de área local (RLAN), incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi, que pudieran operar en ambientes exteriores en dicha banda. Ejemplo: altura, ángulos de elevación, PIRE máxima, DEP de PIRE máxima, DEP, potencia máxima conducida, ganancia de antenas, límites de emisión fuera de banda, anchos de canal máximos, etc. Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente.</p>	<p>La DSA cree que los dispositivos VLP y SP pueden operar en la modalidad de uso libre en exteriores en todo el rango de frecuencia de la banda de 6 GHz (5925-7125 MHz) sin causar interferencia perjudicial a los sistemas que actualmente operan en la banda, mediante la aplicación de diferentes estrategias de mitigación.</p> <p><u>AP y clientes SP en ambientes exteriores</u></p> <p>Tanto los enlaces del SF que operan en ambientes exteriores como los enlaces descendentes del SFS deberán protegerse para que no reciban interferencias perjudiciales. El Instituto debe permitir que los AP SP en ambientes exteriores funcionen tanto en modo punto a punto ("P2P") como en modo punto multipunto ("P2MP") bajo el control de un sistema AFC. Cada dispositivo de potencia estándar debe proporcionar sus coordenadas geográficas (x y y) y la altura de la antena al sistema AFC. De esta manera, el AFC puede crear una zona de exclusión alrededor del enlace del SF o del enlace descendente del SFS.</p> <p>Con respecto a las operaciones P2MP de SP en ambientes exteriores en la banda de 6 GHz, la DSA se permite recomendar respetuosamente que el Instituto considere como referencia para el límite de PIRE, el límite de DEP de PIRE y el ancho de banda máximo del canal del transmisor, aquellos límites establecidos por la FCC. Así mismo se recomienda que ninguna emisión de redes radioeléctricas de área local fuera de la banda de 5.925-7.125 GHz exceda una DEP de PIRE de -27 dBm/MHz. Para los dispositivos de potencia estándar P2MP no es necesario que el Instituto especifique límites de potencia conducida. Como medida de mitigación</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>adicional para proteger los enlaces del SFS, es posible que el Instituto también desee considerar un límite a los valores de radiación que un AP SP en la banda de 6Hz en ambientes exteriores puede transmitir sobre el horizonte en la dirección de la órbita geoestacionaria.</p> <p>Finalmente, se debe requerir que los AP SP se registren en el sistema AFC periódicamente, en caso de que un enlace fijo de microondas haya sido autorizado, modificado o desactivado. En caso de que el sistema AFC no esté disponible para una nueva verificación, el AP SP debe dejar de funcionar en la banda de 6 GHz hasta el momento en que el sistema AFC pueda proporcionar una vez más una lista de canales disponibles y la PIRE permitida en cada canal.</p> <p>El Instituto también debería considerar la autorización de puntos de acceso SP de mayor potencia para enlaces P2P en ambientes exteriores. Estos enlaces están destinados a <i>backhaul</i>. Para fomentar el uso de antenas más directivas y de mayor ganancia, el Instituto debería limitar la potencia conducida del AP SP a 30 dBm, pero no limitar la ganancia de la antena. Por cada dB de ganancia de la antena por encima de 23 dB, la potencia conducida debería reducirse en 1 dB. Debido a que las antenas de mayor ganancia son altamente directivas, el Instituto debería permitir que el sistema AFC tenga esto en cuenta al momento de calcular la distancia de separación mínima para proteger los enlaces del servicio fijo de posibles interferencias perjudiciales. De esta manera, los WISP podrán usar la banda de 6 GHz para aumentar la cobertura en áreas rurales al poder combinar AP SP P2MP para proporcionar acceso, y AP SP P2P para proporcionar <i>backhaul</i>.</p> <p><u>Dispositivos VLP en ambientes exteriores</u></p> <p>En primer lugar es importante mencionar que se espera que los dispositivos VLP no licenciados en la banda de 6 GHz se utilicen en ambientes interiores la mayor parte del tiempo. Mientras están en ambientes exteriores, estos dispositivos podrían operar con valores de PIRE de hasta 14 dBm para aplicaciones como VR/AR, sin necesidad de estar bajo el control de un sistema AFC para proteger de interferencias perjudiciales a los sistemas que actualmente operan en la banda. Los dispositivos de muy baja potencia están pensados como dispositivos portátiles y se prevé que se conviertan en una parte esencial del ecosistema Wi-Fi. Para los dispositivos VLP, los únicos parámetros técnicos que el Instituto necesitaría especificar son el límite de la PIRE (que aplicaría para todos los tamaños de canal en la banda de 6 GHz) y el límite de emisiones fuera de banda en las bandas de frecuencia inmediatamente superiores e inferiores de la banda de 6 GHz.</p> <p>En Europa, la CEPT recomendó una categoría de dispositivo VLP que puede operar con una PIRE de hasta 14 dBm para todos los anchos de banda entre 20 MHz y 320 MHz (DEP máxima de 1 dBm/MHz para dispositivos VLP que operen en un canal de 20 MHz). La ECC adoptó esta recomendación en noviembre del año pasado. Se espera que se convierta en una ley de la UE a principios de este año. El informe ECC 316 contiene información de múltiples estudios realizados por diferentes administraciones e industrias europeas, que, entre otras cosas, demuestran que un dispositivo VLP operando en modo no licenciado con</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>una PIRE de 14 dBm y que funciona en ambientes exteriores puede coexistir con los enlaces del SF. El Reino Unido también permitió el uso de dispositivos VLP de uso libre con PIRE de 14 dBm, ya que considera que el riesgo de interferencia a este nivel de potencia es manejable. El regulador de Estados Unidos está considerando en su FNPRM autorizar una categoría de dispositivo VLP de uso libre que operaría con potencias de hasta 14 dBm en la banda de 6 GHz.¹⁶</p> <p>La República de Corea también ha estudiado la coexistencia entre los dispositivos VLP y las operaciones del SF establecido y ha autorizado el uso de dispositivos VLP a 14 dBm y DEP de 1 dBm/MHz para canales de 20 MHz.</p>
6	<p>Con el fin de preservar la correcta operación de los sistemas que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México, ¿considera idóneo implementar un sistema de Coordinación de Frecuencias Automatizado (AFC, por sus siglas en inglés) para la operación de redes radioeléctricas de área local (RLAN), que pudieran operar en <u>ambientes exteriores</u> sin causar interferencias perjudiciales a otros sistemas que operen en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? De ser afirmativa su respuesta, ¿cuáles considera que serían las características técnicas, de operación y de funcionamiento de un sistema AFC en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz?. Indique las razones técnicas que justifiquen su respuesta.</p>	<p>La DSA cree que un sistema de Coordinación de Frecuencia Automatizada (AFC) permitirá que los dispositivos de potencia estándar funcionen tanto en interiores como en exteriores en toda la banda de 6 GHz sin causar interferencias perjudiciales a los enlaces existente del SF y los enlaces del SFS. Básicamente, un sistema AFC evitará que un AP SP y cualquier dispositivo cliente asociado operen en una ubicación donde sería co-canal a un enlace fijo o transmitan a un nivel de PIRE que exceda los criterios de protección contra interferencias, la cual se establece con una relación I/N > -6 dB. La relación interferencia/ruido ("I/N") es la relación entre la potencia de la señal no deseada y la potencia total de ruido del sistema del receptor (dB), con niveles de potencia medidos en el mismo ancho de banda de referencia. Sin embargo, para ser claros, como señaló la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos, el hecho de que una señal transmitida por un AP SP excede los criterios de protección contra interferencias no significa necesariamente una interferencia perjudicial para los enlaces del SF.¹⁷</p> <p>La FCC concluyó que no se requiere un sistema AFC para proteger los enlaces tierra-espacio de un sistema satelital de recibir interferencias perjudiciales debido a las señales RLAN agregadas.¹⁸ Tendría que proteger los enlaces espacio-tierra de un sistema satelital creando una zona de exclusión de tamaño apropiado alrededor del sitio de recepción.</p> <p>No es necesario un sistema AFC para proteger la operación de los sistemas que actualmente operan en la banda de los emisiones de los dispositivos LPI y los dispositivos VLP en ambientes interiores y exteriores.</p> <p>La DSA recomienda que el Instituto se asegure de que sus reglas técnicas y operativas relacionadas con el sistema AFC permitan aprovechar todo el potencial de la banda de 6 GHz. El Instituto puede hacerlo mediante la adopción de reglas simples, flexibles y orientadas a fines que permitan diversas</p>

¹⁶ See Further Notice at ¶¶ 233-243.

¹⁷ See Report and Order at ¶ 71. We are not, however making a determination that any signal received with an I/N greater than -6 dB would constitute "harmful interference." See Ibid at ¶ 91.

¹⁸ See Ibid at ¶ 91.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>implementaciones de sistemas AFC, para abordar una amplia gama de AP SP y aplicaciones de dispositivos y modelos comerciales. Específicamente, DSA recomienda que el Instituto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • permita operaciones de potencia estándar controladas por AFC en todo el rango de 5925-7125 MHz; • rechace las llamadas a sobre-regular con reglas que dicten los detalles de cómo el motor de cálculo de la AFC implementa las reglas que se establezcan; • permita que múltiples operadores de AFC compitan en el mercado y cobren por este servicio; • permita que los operadores de AFC utilicen enfoques bidimensionales o tridimensionales para calcular las áreas permitidas de operación en un canal determinado; y • permita antenas orientables de mayor ganancia y operaciones punto a punto y punto a multipunto gobernadas por el sistema AFC. <p>En los últimos años, a medida que ha aumentado la demanda de conectividad inalámbrica, el uso de bases de datos para coordinar un intercambio de espectro más intensivo y eficiente se ha convertido en una herramienta regulatoria fundamental. La dependencia de bases de datos automatizadas para facilitar telecomunicaciones más avanzadas y de bajo costo tiene una larga historia que se extiende desde el reemplazo de operadores de conmutación manual hasta bases de datos del Servicio de Nombres de Dominio que sirven como el sistema circulatorio esencial de la propia Internet. Estos avances han demostrado ser tan beneficiosos para promover la comunicación universal y asequible que hoy en día se dan por sentados. Aunque el uso de bases de datos como herramienta para la gestión del espectro es un desarrollo más reciente, no ha demostrado ser menos convincente como medio para lograr grandes acceso a escala, de bajo costo y prácticamente en tiempo real a la capacidad de comunicaciones que de otro modo no se utilizaría. En marzo de 2019, la DSA publicó un informe titulado “Coordinación de frecuencias automatizada: una herramienta establecida para la gestión moderna del espectro” que describe la evolución de la gestión del espectro, desde la conmutación manual de circuitos hasta un proceso automatizado y el acceso dinámico al espectro (casi en tiempo real) y muestra como los sistemas AFC son parte de esta evolución¹⁹. El informe se adjunta como Anexo 2 a estos comentarios.</p> <p>Las regulaciones de los Estados Unidos para los sistemas AFC incluyen una sección sobre "propósitos generales"²⁰. Estas son ideas que el Instituto podría considerar al establecer las funciones de AFC.</p> <p>El éxito del sistema AFC dependerá de la disponibilidad de información completa, precisa y oportuna sobre los enlaces punto a punto fijos y punto a multipunto fijos en México. El Instituto debe trabajar con los operadores de enlaces del SF para garantizar que los datos proporcionados en cada enlace del SF sean precisos, completos y oportunos. A veces, a pesar de las mejores intenciones, es posible que en ocasiones</p>

¹⁹ [Automated Frequency Coordination \(dynamicspectrumalliance.org\)](http://dynamicspectrumalliance.org)

²⁰ 47 CFR 15.407(k)(7)

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>los operadores de enlaces SF ingresen datos incorrectos en la base de datos del Instituto (que se pone a disposición de los operadores AFC). Los operadores de AFC deben responder de manera oportuna para verificar, corregir o eliminar, según corresponda, los datos en caso de que el Instituto o una parte afectada presente al operador del sistema de AFC un reclamo de inexactitudes en los datos almacenados en el sistema de AFC.</p> <p>De igual importancia, el sistema AFC debe garantizar que todas las comunicaciones e interacciones entre el sistema AFC y el AP SP y los dispositivos cliente sean precisas y seguras y que las partes no autorizadas no puedan acceder o alterar la base de datos o la lista de frecuencias disponibles y potencias asociadas enviadas a un AP SP.</p> <p>Finalmente, el sistema de AFC debería implementar los términos de los acuerdos internacionales con Estados Unidos, Guatemala y Belice.</p>
7	<p>¿Cuáles considera que serían las características técnicas, de operación y de funcionamiento de un sistema de Coordinación de Frecuencias Automatizado (AFC), que determine las frecuencias por las cuales las redes radioeléctricas de área local (RLAN) podrían operar en ambientes exteriores sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas satelitales en su enlace Tierra-espacio que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7075 MHz? Indique las razones que justifiquen su respuesta.</p>	<p>Estudios de coexistencia previos llevados a cabo en los Estados Unidos y la Unión Europea han demostrado que la interferencia agregada al receptor de un sistema de satélite geoestacionario, por despliegues de RLAN en ambientes exteriores en la banda de 6 GHz, dentro del campo de visión de un satélite que recibe señales en la banda de 6 GHz a través de enlaces ascendentes del SFS son extremadamente bajos y considerablemente por debajo del umbral de protección contra interferencias.²¹ En consecuencia, los reguladores de Estados Unidos y Europa concluyeron que los dispositivos LPI en la banda de 6 GHz no causarán interferencia agregada perjudicial a los enlaces ascendentes del SFS. El regulador de Estados Unidos también concluyó que los dispositivos de potencia estándar de 6 GHz en ambientes interiores y exteriores tampoco causarán interferencia agregada perjudicial a los enlaces ascendentes del SFS. Sin embargo, como una medida de mitigación adicional, la FCC requirió que para los puntos de acceso de potencia estándar en ambientes exteriores, la PIRE máxima en cualquier ángulo de elevación por encima de 30 grados, medido desde el horizonte, no puede exceder los 125 mW (21 dBm). Es la misma regla de mitigación que estableció el regulador de Estados Unidos para operaciones de RLAN de mayor potencia en exteriores en la banda de 5150-5250 MHz. El Instituto podría considerar esta misma medida de mitigación.</p> <p><u>Coexistencia entre RLAN y enlaces ascendentes del SFS en la banda de 6 GHz en México.</u></p> <p>La DSA contrató a <i>RKF Engineering LLC</i> ('RKF'), la empresa que llevó a cabo un estudio de coexistencia entre las RLAN y los servicios nacionales establecidos de Estados Unidos en la banda de 6 GHz, para realizar un</p>

²¹ RKF Engineering, "Frequency Sharing for Radio Local Area Networks in the 6 GHz Band", Ex Parte, Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz, GN Docket No. 17-183 (January 2018).

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>estudio de coexistencia entre las RLAN y determinados sistemas satelitales geoestacionarios del SFS en su enlace Tierra-espacio en la banda de frecuencias 5925-6425 MHz en México.</p> <p>RKF revisó la Circular Internacional de Información de Frecuencia (IFIC) de la base de datos de Servicios Espaciales de la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) de la UIT e identificó los 52 satélites que México puso en servicio en la banda de 6 GHz en algún momento. Con el fin de proporcionar un análisis conservador, se eligieron haces satelitales con mayor relación ganancia-ruido (G/T)²² sobre México o mayores áreas de cobertura. Los valores pico de G/T según los <i>filings</i> satelitales se utilizaron para derivar los niveles absolutos de G/T a partir de los contornos G/T (que indican la cantidad de dB por debajo del valor pico de G/T).</p> <p>Además de los tres Satélites Mexicanos, S.A. de C.V. (Satmex 6, Satmex 7 y Satmex 8), se seleccionaron otros tres satélites con base en su valor G/T máximo sobre México. En consecuencia, no se hizo ningún esfuerzo por establecer si alguno de estos tres últimos satélites seleccionados se encuentra actualmente en uso en México. Por ejemplo, el satélite podría haber proporcionado cobertura sobre México cuando fue lanzado, pero puede haber sido reubicado posteriormente para brindar cobertura a una zona geográfica diferente. O en otro caso, el satélite podría haber estado en funcionamiento durante años, pero ya no. Si el riesgo de interferencia perjudicial de las operaciones de RLAN a los enlaces ascendentes del SFS para cada uno de estos seis satélites seleccionados es insignificante, entonces se presume que el riesgo de interferencia perjudicial a otros satélites que brindan servicio en México es aún menor.</p> <p>Se supuso que el despliegue de las RLAN a nivel nacional estará estrechamente ligado con la densidad de población y, por lo tanto, se determinó geográficamente según la distribución de la población dentro del campo de visión del satélite. RKF definió la región de simulación y creó una base de datos de densidad de población en puntos dentro de la región de simulación. Utilizando los umbrales de densidad de población de la Oficina del Censo de Estados Unidos como una aproximación, RKF determinó que el 77 por ciento de la población de México es urbana, el 3.7 por ciento suburbana y el 19.3 por ciento restante rural. Luego, RKF transformó los datos de población sobre la región de simulación en una distribución de probabilidad de población de dispositivos RLAN activos sobre la región de simulación. RKF desarrolló un modelo para determinar el número total de dispositivos conectados en la banda de 6 GHz y el número de dispositivos RLAN que transmiten instantáneamente, tanto en ambientes interiores como en exteriores.</p> <p>Con base en los datos de mercado existentes y las proyecciones del mercado, RKF estimó que el 98 por ciento de los dispositivos RLAN serán usados en ambientes interiores y el 2 por ciento en exteriores. El uso proyectado en ambientes interiores se subdivide de la siguiente manera: dispositivos LPI y SP (88 por ciento)</p>

²² The G/T ratio, expressed in dB per degrees Kelvin, is a figure of merit that indicates how reliable the FSS uplink performance is for a radio signal transmission.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones																																
		<p>y dispositivos VLP (10 por ciento). El uso proyectado en ambientes exteriores se subdivide de la siguiente manera: dispositivos de potencia estándar (1 por ciento) y dispositivos VLP (1 por ciento).</p> <p>RKF realizó una simulación Monte-Carlo para evaluar el impacto de las RLAN en la banda de 6 GHz sobre los enlaces ascendentes del SFS. Se generó un diseño aleatorio de RLAN utilizando las distribuciones de probabilidad de población de dispositivos. Luego, RKF generó transmisiones con valores aleatorios (de PIRE, altura, perdidas de propagación en el cuerpo (<i>body loss</i>), ancho de banda de canal RLAN, pérdidas del ambiente (<i>clutter</i>), pérdidas de penetración en las edificaciones) entre cada dispositivo RLAN y el receptor satelital del SFS, de acuerdo con las distribuciones de RLAN y el modelo de propagación seleccionado. Finalmente, RKF calculó la interferencia agregada (valor I/N) de todas las RLAN co-canal en el receptor satelital del SFS para cada uno de los canales del SFS simulados.</p> <p>Cada satélite simulado operaba en la banda de 5925-6425 MHz. El análisis de RKF se aplicó a un plan de canales de satélite asumiendo canales de 36 MHz en un ancho de banda ocupado de 40 MHz en dos polarizaciones. Cada canal de cada satélite se sometió a 10 implementaciones independientes de RLAN bajo la simulación de Monte Carlo. Se promediaron los valores de I/N agregados. Se generó un gráfico de I/N promedio versus el número de canales del SFS.</p> <p>Los resultados de las simulaciones muestran que para todos los casos estudiados, la relación I/N para los seis satélites en todos los canales y simulaciones es inferior a -26,92 dB, lo que está significativamente por debajo de los criterios de protección contra interferencias de I/N = -6 dB.</p> <table border="1" data-bbox="865 930 1890 1175"> <thead> <tr> <th></th> <th>G/T Pico</th> <th>I/N Máximo</th> <th>I/N Máximo promediado en 10 iteraciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Satmex-8</td> <td>1.3 dB/K</td> <td>-30.15 dB</td> <td>-30.82 dB</td> </tr> <tr> <td>Satmex-7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eutelsat 115 West-B</td> <td>5.8 dB/K</td> <td>-27.08 dB</td> <td>-27.70 dB</td> </tr> <tr> <td>Satmex-6</td> <td>1.7 dB/K</td> <td>-31.01 dB</td> <td>-31.50 dB</td> </tr> <tr> <td>SES-3</td> <td>5.3 dB/K</td> <td>-31.34 dB</td> <td>-31.71 dB</td> </tr> <tr> <td>Galaxy-19</td> <td>4.6 dB/K</td> <td>-29.73 dB</td> <td>-30.50 dB</td> </tr> <tr> <td>NSS-806</td> <td>3.1 dB/K</td> <td>-26.92 dB</td> <td>-27.27 dB</td> </tr> </tbody> </table> <p>RKF procedió a realizar un cálculo de enlace para Satmex-7, que tenía el valor de G/T picos más alto y el segundo nivel de I/N más alto. Para este satélite, el cálculo de enlace arrojó resultados que estaban dentro de los 3 dB del análisis de Monte Carlo. Las diferencias se pueden atribuir a la aproximación del cálculo de enlace frente a los cálculos mucho más precisos en la simulación de Monte Carlo.</p>		G/T Pico	I/N Máximo	I/N Máximo promediado en 10 iteraciones	Satmex-8	1.3 dB/K	-30.15 dB	-30.82 dB	Satmex-7				Eutelsat 115 West-B	5.8 dB/K	-27.08 dB	-27.70 dB	Satmex-6	1.7 dB/K	-31.01 dB	-31.50 dB	SES-3	5.3 dB/K	-31.34 dB	-31.71 dB	Galaxy-19	4.6 dB/K	-29.73 dB	-30.50 dB	NSS-806	3.1 dB/K	-26.92 dB	-27.27 dB
	G/T Pico	I/N Máximo	I/N Máximo promediado en 10 iteraciones																															
Satmex-8	1.3 dB/K	-30.15 dB	-30.82 dB																															
Satmex-7																																		
Eutelsat 115 West-B	5.8 dB/K	-27.08 dB	-27.70 dB																															
Satmex-6	1.7 dB/K	-31.01 dB	-31.50 dB																															
SES-3	5.3 dB/K	-31.34 dB	-31.71 dB																															
Galaxy-19	4.6 dB/K	-29.73 dB	-30.50 dB																															
NSS-806	3.1 dB/K	-26.92 dB	-27.27 dB																															

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>RKF concluyó que un despliegue de RLAN en el campo de visión de los satélites que operan en la banda no afectará el funcionamiento de los enlaces ascendentes del SFS mexicano en la banda de 6 GHz para cada una de las tres clases de dispositivos operando con canales de anchos de banda de 20, 40, 80 o 160 MHz. El estudio RKF se incluye como Anexo 3.</p>
8	<p>¿Cuáles considera que serían las características técnicas, de operación y de funcionamiento de un sistema de Coordinación de Frecuencias Automatizado (AFC), que determine las frecuencias por las cuales las redes radioeléctricas de área local (RLAN) podrían operar en ambientes exteriores sin causar interferencias perjudiciales a los <u>enlaces del servicio fijo punto a punto</u> que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz? Indique las razones que justifiquen su respuesta.</p>	<p>Un sistema AFC evitará que los dispositivos RLAN de potencia estándar que operen en ambientes exteriores causen interferencia perjudicial a los enlaces del servicio fijo punto a punto, usando la información técnica correspondiente para determinar zonas de exclusión (2D o 3D) co-canal y de canales adyacentes alrededor de la ruta del enlace punto a punto.</p> <p>Cada RLAN de potencia estándar deberá proporcionar sus coordenadas de ubicación geográfica y la altura de la antena al AFC. Cada operador de radioenlaces P2P deberá proporcionar al Instituto información precisa y actualizada sobre los parámetros operativos, las coordenadas de geolocalización y la altura de la antena de cada transmisor en la red. El Instituto debería permitir que cada operador de AFC desarrolle sus propios algoritmos para proteger el enlace P2P de interferencias perjudiciales. El Instituto solo necesita certificar que la combinación de SP RLAN y AFC realmente protege los enlaces P2P (y otros licenciatarios). Por favor remítase a la respuesta de la DSA a la pregunta 6 para obtener detalles adicionales.</p> <p><u>Coexistencia entre RLAN y enlaces del servicio fijo punto a punto en la banda de 6 GHz en México.</u></p> <p>RKF también estudió el impacto del uso de RLAN en 27 enlaces del SF en las cercanías de la Ciudad de México para los que hay datos disponibles. Cada enlace tenía una superposición distinta de cero con los canales RLAN de 5945 a 7125 MHz. El estudio asumió una serie de dispositivos RLAN transmitiendo instantáneamente en una simulación de Monte-Carlo para comprender el riesgo de interferencia en las operaciones del servicio fijo. La simulación consistió en 100,000 iteraciones de implementación de RLAN para recopilar estadísticas de interferencia estables a largo plazo en cada uno de los 27 sitios alrededor de la Ciudad de México.</p> <p>RKF adoptó el mismo enfoque al estudiar el impacto del uso de RLAN en los enlaces del servicio fijo que para el impacto del uso de RLAN en receptores satelitales del SFS. Para cada iteración, las RLAN activas se ubicaron aleatoriamente con sus localizaciones ponderadas según la densidad de población. En el cálculo del número instantáneo de transmisores RLAN se incorporaron las proyecciones de los patrones de uso por parte de los consumidores y de las empresas en términos del tiempo de conexión y la ubicación de los dispositivos (en interiores o exteriores). Además, el estudio tuvo en cuenta el impacto de las pérdidas de propagación en el cuerpo, el uso en ambientes interiores, el ancho de banda del canal (20, 40, 80 y 160 MHz) y la distribución de canales de los dispositivos RLAN en la coexistencia. A continuación, la potencia de interferencia agregada recibida por cada estación del servicio fijo fue calculada. Luego, se realizaron cien mil (100000) iteraciones</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>de simulación para recopilar estadísticas sobre la interferencia. Para asegurar la inclusión de todas las RLAN que podrían afectar a un receptor satelital, evitando al mismo tiempo la complejidad innecesaria de modelar cada RLAN en México para cada receptor, se consideraron en el cálculo todas las RLAN que operan dentro de los 150 km del receptor. Juntas, estas simulaciones representan 2,700,000 morfologías diferentes (27 enlaces del SF/iteración x 100,000 iteraciones) de interferencia de RLAN al SF con más de 17,92 mil millones de RLAN activas en la Ciudad de México, lo que representa un excelente modelo estadístico del entorno de interferencia esperado.</p> <p>Para cada sitio de enlace del servicio fijo, se recopilaron estadísticas sobre la probabilidad de que las fuentes de interferencia RLAN agregadas excedan los criterios de protección contra interferencias, que aquí se dan como la relación interferencia/ruido I/N. El estudio calculó la probabilidad de que la interferencia agregada de la RLAN supere una $I/N > -6$ dB y una $I/N > 0$ dB. La $I/N > -6$ dB es el criterio de protección contra interferencias comúnmente utilizado, ya que representa un aumento de 1 dB en el piso de ruido del receptor y representa un pequeño riesgo de interferencia perjudicial. $I/N > 0$ dB representa una duplicación (aumento de 3 dB) del piso de ruido y un riesgo moderado de interferencia perjudicial. La probabilidad de que la interferencia agregada de la RLAN exceda una $I/N > -6$ dB fue de 0,209%. La probabilidad de que la interferencia agregada de la RLAN supere una $I/N > 0$ dB fue del 0,035%.</p> <p>La investigación adicional de los casos en los que la I/N agregada para un receptor del servicio fijo excedió los -6 dB mostró que: (1) la mayoría de estos casos fueron causados por un interferente de entrada única, (2) para estos interferentes de entrada única, el dispositivo RLAN tenía pequeños valores de pérdidas de trayecto que están estadísticamente en el extremo de cola de la función de distribución de probabilidad de pérdidas de trayecto y más de la mitad estaban ubicados en el haz principal (por ejemplo, dentro del ancho de haz de 3 dB del receptor del servicio fijo), y (3) ninguno tuvo un impacto en la disponibilidad del enlace del SF. Es importante señalar que el estudio no asumió la existencia de un sistema AFC diseñado para evitar que las RLAN de potencia estándar funcionaran en ambientes exteriores en el mismo canal que un enlace del SF.</p> <p>Se utilizó una métrica adicional, el aumento de la indisponibilidad del enlace del servicio fijo debido a la interferencia de las RLAN, para evaluar la degradación del rendimiento del enlace del servicio fijo. El análisis asumió un objetivo típico en el diseño de enlaces del servicio fijo de 99,999% de disponibilidad (correspondiente a que el enlace del servicio fijo no está disponible durante 5,3 minutos al año). Estos resultados se compararon con los obtenidos en un escenario en el que la indisponibilidad del enlace del SF aumenta en un 10 por ciento. El objetivo de tener un incremento en la indisponibilidad de menos de 10% fue establecido por la UIT.²³ Esto significa que la disponibilidad del enlace del SF sigue siendo superior al</p>

²³ International Telecommunication Union, F.1094-2: Maximum Allowable Error Performance and Availability Degradations to Digital Fixed Wireless Systems Arising from Radio Interference from Emissions and Radiations from Other Sources (2007), available at <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1094/en>.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>99,9989%. Tal escenario es suficiente para permitir la robustez continua de los enlaces del SF al mismo tiempo que se permite la operación de nuevos sistemas RLAN. Posteriormente, se realizó un análisis de sensibilidad donde también se consideró un aumento del 1% en la indisponibilidad. El análisis de sensibilidad implicó cambiar los parámetros de la RLAN, incluido el ancho de banda del canal, la cantidad de dispositivos activos y los niveles de PIRE.</p> <p>El análisis de disponibilidad del enlace del servicio fijo para cada una de las 27 estaciones se realizó en dos pasos. Primero, se calculó un margen de enlace representativo requerido para cumplir con la disponibilidad objetivo (99,999%) sin considerar los parámetros operativos específicos de cada enlace del servicio fijo. Una vez que se determinó el margen de desvanecimiento necesario para lograr la disponibilidad objetivo, se evaluó el aumento de la indisponibilidad del enlace en presencia de interferencia. Este análisis simplificado permitió que la gran cantidad de enlaces se procesara rápidamente y sirviera como una aproximación inicial. En segundo lugar, si el análisis simplificado en el primer paso indicaba que la indisponibilidad del enlace del servicio fijo aumentó en más del 10%, se analizaban los parámetros operacionales del servicio fijo para determinar el aumento real de la indisponibilidad del enlace.</p> <p>En el primer paso, 8 de los 27 enlaces mostraron menos del 10% de aumento en la indisponibilidad. El segundo paso consideró las características del enlace de cada una de las 19 estaciones del servicio fijo y proporcionó así una evaluación realista del impacto a largo plazo de la interferencia de la RLAN. Este análisis más riguroso mostró que el aumento de la indisponibilidad para cada uno de los 19 enlaces en presencia de RLAN se mantuvo por debajo del aumento máximo del 10% previsto en la indisponibilidad de los enlaces.</p> <p>Se realizó un análisis de sensibilidad que simuló cómo un aumento adicional del 1% en la indisponibilidad del enlace afectaría el margen del enlace del servicio fijo. El estudio mostró que los 27 enlaces del SF permanecieron por debajo del límite objetivo de un aumento del 10% en la indisponibilidad.</p> <p>La conclusión del estudio de coexistencia es que ambos, tanto la probabilidad de que un interferente RLAN de entrada única supere los criterios de protección contra interferencias (.209%) como el incremento de la indisponibilidad del enlace del servicio fijo fueron lo suficientemente bajos para permitir la robustez continua de los enlaces del servicio fijo en presencia de las tres clases de dispositivos RLAN con diversos tamaños de canal. El informe RKF se incluye como Apéndice 2 a los comentarios de la DSA.</p>
9	¿Cuáles considera que serían las características técnicas, de operación y de funcionamiento de un sistema de Coordinación de Frecuencias Automatizado (AFC), que determine las frecuencias por las cuales las redes radioeléctricas de área local	Un sistema AFC evitará que los dispositivos RLAN de potencia estándar en ambientes exteriores causen interferencias perjudiciales a los enlaces fijos punto a multipunto ("P2MP"), mediante la creación de una zona de exclusión alrededor del área de cobertura de la red P2MP en su frecuencia o frecuencias de operación. Cada RLAN de potencia estándar deberá proporcionar sus coordenadas de ubicación geográfica y la altura de la antena al AFC. Cada operador de red P2MP deberá proporcionar al Instituto información

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
	(RLAN) podrían operar en ambientes exteriores sin causar interferencias perjudiciales a los <u>enlaces del servicio fijo punto a multipunto</u> que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz ? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	precisa y actualizada sobre los parámetros operativos, las coordenadas de ubicación geográfica y la altura de la antena de cada transmisor de la red. El Instituto debería permitir que cada operador de AFC desarrolle sus propios algoritmos para proteger los enlaces P2MP de interferencias perjudiciales. El Instituto solo necesita certificar que la combinación de SP RLAN y AFC realmente protege los enlaces P2MP (y otros licenciatarios). Por favor remítase a la respuesta de DSA a la pregunta 6 para obtener detalles adicionales.
10	¿Cuáles son las condiciones técnicas que considera necesarias aplicar para la protección de los sistemas actuales en bandas de frecuencias adyacentes, es decir, por debajo de la frecuencia 5925 MHz y/o por encima de la frecuencia 7125 MHz, en caso de la implementación de redes radioeléctricas de área local (RLAN), incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi, que operen en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Ejemplo: límites de potencia, máscara de operación, bandas de guarda, etc. Indique las razones técnicas que justifiquen su respuesta.	<p>En México, si bien hay una atribución al servicio móvil entre 6700-7125 MHz, no existen asignaciones a servicios móviles en la banda de 6 GHz. Por esta razón, el límite de emisiones fuera de banda en este caso solo se aplica a las emisiones por encima y por debajo de toda la banda de 5925-7125 MHz.</p> <p>El plan de banda pendiente de la IEEE para la banda de 6 GHz minimiza el riesgo de interferencia en banda adyacente a los servicios que operan en el rango de 5850-5925 MHz, así como por encima de 7125 MHz. El plan IEEE permite un canal opcional de 20 MHz de 5925-5945 MHz pero establece los límites inferiores para todos los demás tamaños de canal en 5945 MHz. En consecuencia, el límite superior para los canales superiores de 80 y 160 MHz es 7065 MHz, el límite superior para el canal superior de 40 MHz es 7015 MHz y el límite superior para el canal superior de 20 MHz es 7125 MHz. Como se espera que la mayor parte del uso de RLAN en la banda de 6 GHz sea a través de los canales con anchos de banda de 80 y 160 MHz, habrá efectivamente una banda de guarda de 20 MHz entre las RLAN que operen en la de banda de 6 GHz y los sistemas actuales que operan en las bandas inmediatamente superior e inferior.</p> <p>Si el Instituto establece un valor de emisiones fuera de banda de -27 dBm/MHz, que es el valor establecido por el regulador estadounidense, protegerá las operaciones de los titulares en bandas adyacentes a la banda de 6 GHz, y realmente solo limitará la utilidad de los canales de 20 MHz de ancho de banda en las frecuencias más alta y más baja, al reducir efectivamente su límite de PIRE.</p>
11	¿Considera viable que se habilite la operación de sistemas IMT (por las siglas en inglés de <i>International Mobile Telecommunications</i>) en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz? De ser afirmativa su respuesta, ¿Cuál considera que sea la cantidad de espectro radioeléctrico necesaria para las IMT en México? Indique las ventajas y desventajas, así como las razones que justifiquen su respuesta.	No, la DSA no considera factible que el Instituto habilite la operación de sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz si también está interesado en permitir la operación y el crecimiento futuro de los servicios fijo y fijo por satélite en la banda. Actualmente, si bien existe una asignación de servicio móvil primario en la Región 2 de la UIT entre 5925-6700 MHz, no hay asignación de servicio móvil entre 5925-6700 MHz en México. Si bien existe una atribución de servicio móvil primario en la Región 2 de la UIT entre 6700-7075 MHz, en México solo hay una atribución móvil secundaria en esta porción de la banda de 6 GHz. También hay una atribución primaria al SFS y una atribución secundaria al SF. Por último, si bien existe una atribución primaria al servicio móvil entre 7075 y 7125 MHz en la Región 2 de la UIT, solo hay una atribución móvil secundaria en México. Hay una atribución primaria del servicio fijo en esta frecuencia.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
		<p>En el proceso que condujo a la CMR-15, los estudios de compartición presentados a la UIT-R concluyeron que no era posible la coexistencia entre las <i>small cells</i> IMT y los titulares de la banda de 6 GHz. Si el Instituto decide que el servicio móvil debería tener una atribución primaria en toda la banda de 6 GHz en México, probablemente signifique que los enlaces punto a punto y punto a multipunto del servicio fijo, que hoy gozan de una atribución secundaria, tendrán para ser trasladados a otra banda de frecuencia. Además, debido a la distribución de alta densidad que caracteriza a los sistemas IMT y a los niveles de potencia mucho más altos (en comparación con los niveles de potencia estándar de los dispositivos RLAN), existe preocupación por la interferencia agregada a los enlaces satelitales ascendentes y a otras aplicaciones satelitales en la banda.</p> <p>El Instituto podría considerar aplicar un enfoque de neutralidad tecnológica y permitir el uso sistemas IMT no licenciados en la banda de 6 GHz, bajo el mismo marco de uso libre del espectro, y con los mismos requisitos técnicos de mitigación y coexistencia que se establezcan para los sistemas RLAN.</p>
12	¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas IMT sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas existentes en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	La DSA no considera factible que los sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz coexistan con los sistemas existentes del servicio fijo y fijo por satélite sin causarles interferencias perjudiciales. Si bajo el principio de neutralidad tecnológica, el Instituto decidiera considerar sistemas IMT no licenciados, esos sistemas tendrían que seguir las mismas reglas técnicas y requisitos de mitigación que los sistemas RLAN de espectro de uso libre para una categoría determinada de dispositivo.
13	¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas IMT sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas satelitales en su enlace Tierra-espacio que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7075 MHz ? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	La DSA no considera factible que los sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz coexistan con los sistemas existentes del servicio fijo por satélite sin causarles interferencias perjudiciales. Si bajo el principio de neutralidad tecnológica, el Instituto decidiera considerar sistemas IMT no licenciados, esos sistemas tendrían que seguir las mismas reglas técnicas y requisitos de mitigación que los sistemas RLAN de espectro de uso libre para una categoría determinada de dispositivo.
14		

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
	<p>¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas IMT sin causar interferencias perjudiciales a los <u>enlaces del servicio fijo punto a punto</u> que actualmente operan en la banda 5925-7125 MHz? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.</p>	<p>La DSA no considera factible que los sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz coexistan con los sistemas existentes del servicio fijo punto a punto sin causarles interferencias perjudiciales. Si bajo el principio de neutralidad tecnológica, el Instituto decidiera considerar sistemas IMT no licenciados, esos sistemas tendrían que seguir las mismas reglas técnicas y requisitos de mitigación que los sistemas RLAN de espectro de uso libre para una categoría determinada de dispositivo.</p>
15	<p>¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas IMT sin causar interferencias perjudiciales a los <u>enlaces del servicio fijo punto a multipunto</u> que actualmente operan en la banda 5925-7125 MHz? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.</p>	<p>La DSA no considera factible que los sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz coexistan con los sistemas existentes del servicio fijo punto a multipunto sin causarles interferencias perjudiciales. Si bajo el principio de neutralidad tecnológica, el Instituto decidiera considerar sistemas IMT no licenciados, esos sistemas tendrían que seguir las mismas reglas técnicas y requisitos de mitigación que los sistemas RLAN de espectro de uso libre para una categoría determinada de dispositivo.</p>
16	<p>¿Considera viable que se habilite la operación de sistemas NR-U o 5G-U en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz bajo la modalidad de espectro libre? De ser afirmativa su respuesta, ¿Cuál considera que sea la cantidad de espectro radioeléctrico necesario para la implementación de sistemas NR-U o 5G-U en México? Indique las ventajas y desventajas, así como las razones que justifiquen su respuesta.</p>	<p>De acuerdo con nuestra respuesta a las preguntas 11 a 15, la DSA cree que es factible habilitar el funcionamiento de sistemas NR-U o 5G-U en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz bajo la modalidad de espectro libre. El Instituto debería, en la mayor medida posible, aplicar un enfoque de neutralidad tecnológica con respecto a las diferentes tecnologías que pueden hacer uso del espectro de uso libre, así operen bajo diferentes estándares técnicos. Las reglas técnicas de coexistencia y los requisitos de mitigación deben ser los mismos para cada categoría o tipo de dispositivo no licenciado. Con respecto a la cantidad de espectro necesario para la implementación de sistemas NR-U o 5G-U, estos sistemas deberían poder operar en toda la banda de 5925-7125 MHz. La DSA cree que el Instituto no debería bajo ninguna circunstancia segmentar la banda 5925-7125 MHz entre RLAN y NR-U.</p>
17	<p>¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas NR-U o 5G-U sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas existentes en la banda</p>	<p>Siguiendo el principio de neutralidad tecnológica, dependiendo de la categoría o tipo de dispositivo no licenciado al que pertenezca, el sistema NR-U o 5G-U debería operar bajo las mismas reglas técnicas y requisitos de mitigación que el dispositivo de espectro de uso libre de RLAN correspondiente. La única diferencia clave que observa DSA en base a su experiencia es que se espera que los dispositivos Wi-Fi que</p>

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
	de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	operan en la banda de 6 GHz tengan un ciclo de trabajo muy bajo, mientras que se entrevé que los dispositivos NR-U en muchos casos tendrán un ciclo de trabajo muy alto. Esto puede dar lugar a unos parámetros técnicos de operación diferentes para los dispositivos instantáneos y eventualmente se requeriría un análisis posterior para proteger los sistemas existentes de interferencias perjudiciales.
18	¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas NR-U o 5G-U sin causar interferencias perjudiciales a los sistemas satelitales en su enlace Tierra-espacio que actualmente operan en la banda de frecuencias 5925-7075 MHz ? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	Por favor remítase a la respuesta de la DSA a la pregunta 17.
19	¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas NR-U o 5G-U sin causar interferencias perjudiciales a los enlaces del servicio fijo punto a punto que actualmente operan en la banda 5925-7125 MHz ? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	Por favor remítase a la respuesta de la DSA a la pregunta 17.
20	¿Qué condiciones técnicas, de operación y coexistencia serían necesarias para el despliegue de sistemas NR-U o 5G-U sin causar interferencias perjudiciales a los enlaces del servicio fijo punto a multipunto que actualmente operan en la banda 5925-7125 MHz ? Indique las razones que justifiquen su respuesta y proporcione la fundamentación técnica correspondiente de cualquier aspecto relacionado.	Por favor remítase a la respuesta de la DSA a la pregunta 17.

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
21	¿Cuáles considera que serían las condiciones de operación y coexistencia con las que podrían operar los sistemas de quinta generación bajo la modalidad de espectro no licenciado conocidos como NR-U o 5G-U en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz, sin causar interferencias perjudiciales a la operación de las redes radioeléctricas de área local (RLAN) incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	La DSA cree que es mejor dejar que la industria aborde este asunto de coexistencia a través de los foros de industria apropiados para tal fin, antes de intentar hacerlo a través de la regulación.
22	¿Cuáles considera que serían las condiciones de operación y coexistencia con las que podrían operar los sistemas IMT en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz, sin causar interferencias perjudiciales a la operación de los sistemas de quinta generación bajo la modalidad de espectro no licenciado conocidos como NR-U o 5G-U? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	La DSA no considera factible que el Instituto habilite la operación de sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia de 5925-7125 MHz si no desea tener que reubicar a los asignatarios actuales o restringir las operaciones actuales y futuras de los titulares. De manera más general, si NR-U o 5G-U opera sobre un espectro de uso libre, de conformidad con el Artículo 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, no debe causar interferencia ni debe reclamar protección ante esta. En consecuencia, si por alguna razón un sistema IMT y NR-U/5G-U tuviesen áreas de cobertura superpuestas y funcionasen en el mismo canal o en el primer canal adyacente, la estación base NR-U/5G-U o los dispositivos cliente no podrían causar interferencia perjudicial al sistema IMT y tendrían que aceptar la interferencia del sistema IMT.
23	¿Cuáles considera que serían las condiciones de operación y coexistencia con las que podrían operar las redes radioeléctricas de área local (RLAN) incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz, sin causar interferencias perjudiciales a la operación de sistemas IMT? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	La DSA no considera factible que el Instituto habilite la operación de sistemas IMT licenciados en la banda de frecuencia 5925-7125 MHz si también está interesado en permitir la operación y el crecimiento futuro de los servicios fijo y fijo por satélite en la banda.
24		

No. de pregunta	Pregunta	Comentarios, opiniones o aportaciones
	¿Qué otra cuestión podría comentar sobre la posible implementación de servicios o aplicaciones distintos a los actuales o a las redes radioeléctricas de área local (RLAN), incluidos los dispositivos de baja potencia y sistemas Wi-Fi en la banda de frecuencias 5925-7125 MHz en México? Indique las razones que justifiquen su respuesta.	La DSA cree que sería útil que el Instituto pusiera a disposición información adicional sobre las características técnicas y operativas de los radioenlaces destinados a comunicaciones de transporte ferroviario existentes en la banda de 6 GHz. Esta información ayudaría a la DSA a comprender mejor cómo el sistema AFC tendría que proteger estos sistemas específicos de SF de las RLAN de potencia estándar en ambientes exteriores.

III. Comentarios, opiniones, aportaciones generales u otros elementos de análisis formulados por el participante

Nota 3: En la presente sección se podrán realizar comentarios, opiniones, aportaciones u otros elementos de análisis de carácter libre relacionados con el uso de la banda de frecuencias 5925-7125 MHz. En caso de realizar aportaciones relacionadas con el estudio de referencia “Banda de frecuencias 5925-7125 MHz”, colocar la sección correspondiente en la primera columna; de lo contrario, colocar la leyenda “N/A” (No Aplica).

Nota 4: El interesado deberá añadir las filas que considere necesarias para formular los comentarios, opiniones, aportaciones u otros elementos de análisis que considere pertinentes.

Número de página del estudio/documento de referencia	Comentario(s), opinión(es), aportación(es) u otros elementos de análisis

AUTOMATED FREQUENCY COORDINATION

AN ESTABLISHED TOOL FOR MODERN
SPECTRUM MANAGEMENT

MARCH 2019

Table of Contents

Executive Summary.....	2
Automated Frequency Coordination: An Established Tool for Modern Spectrum Management.....	6
1. Introduction and Database Basics	6
A. Wireline to Wireless: Database Coordination in Telecommunications.....	7
B. Automated Frequency Coordination Databases: The Basics	11
2. Frequency Coordination Databases: Manual to Automated to Dynamic.....	16
A. Manual, Database-Informed Coordination	17
B. Semi-Automated, Database-Assisted Coordination: 70/80/90 GHz and LSA	18
C. Automated Database Frequency Coordination: TV White Space	21
D. Dynamic Coordination Databases: The CBRS Spectrum Access System.....	24
3. The Benefits of Automated Frequency Coordination	28
A. Benefits to industry, consumers and the economy	28
B. Benefits to Regulators: Automated Coordination and Enforcement	33
4. Looking Ahead: Database Coordinated Access to 5G Spectrum Bands.....	37
A. Unlicensed Sharing Across the 6 GHz Bands (5925-7125 MHz).....	37
B. Proposals for Opportunistic Coordination of PtMP and Mobile in the C-Band (3700-4200 MHz)....	41
C. Coordinated Sharing with Federal Users in 37-37.6 GHz (U.S.)	45
D. Database-Assisted Satellite Sharing	46
5. Technology is Rapidly Enhancing the Potential for Dynamic Spectrum Access	48
A. Real-World GIS Data and Propagation Modeling	48
B. Spectrum Sensing as an Input to Dynamic Frequency Coordination	49
C. Value-Added Services by Database Operators	50
D. Blockchain Technology	51
6. Conclusions & Policy Recommendations.....	53
Acknowledgements:.....	54
End Notes:.....	55

Executive Summary

In recent years, as demand for wireless connectivity has surged, the use of databases to coordinate more intensive and efficient spectrum sharing has emerged as a critical regulatory tool. Regulators in a number of countries have authorized automated and even dynamic frequency coordination databases to manage real-time assignments in shared bands and to protect incumbent operations (including military and public safety systems) from harmful interference.

Ofcom, the UK regulator, stated in the agency's 2016 *Framework for Spectrum Sharing*: "Geolocation databases are making it easier for devices to identify spectrum that is available for sharing while protecting the operation of existing services. . . . the fundamental principle is not frequency specific and can be extended to a broader range of frequencies" beyond enabling access to TV White Space channels. In the United States, Congress in 2018 mandated development of a national spectrum plan that includes examining "existing and planned databases or spectrum access systems designed to promote spectrum sharing."

The reliance on automated databases to facilitate more advanced and low-cost telecommunications has a long and storied history that extends from the replacement of manual switchboard operators to the Domain Name Service (DNS) databases that serve as the essential circulatory system of the Internet itself. These advances have proven so beneficial in promoting universal and affordable communication they are taken for granted today. Although the use of databases as a tool for spectrum management is a more recent development, it has proven no less compelling as a means of achieving large-scale, low-cost, and virtually real-time access to communications capacity that would otherwise go unused.

The use of databases to coordinate spectrum assignments has evolved but is *nothing new*. The basic steps are exactly the same as in a manual coordination process. What is new is (1) surging consumer demand for wireless connectivity and hence the need to intensively share underutilized frequency bands; (2) significant improvements in the computation power to efficiently and rapidly run advanced propagation analysis and coordinate devices and users in near real-time; and (3) more agile wireless equipment that can interact directly with a dynamic frequency coordination database. There is no question that today we have the technical ability to automate frequency coordination and thereby lower transaction costs, use spectrum more efficiently, speed time to market, protect incumbents from interference with certainty, and generally expand the supply of wireless connectivity that is fast becoming, like electricity, a critical input for most other industries and economic activity.

As this report details, while spectrum database coordination is nothing new, it has in recent years evolved from manual, to automated, to dynamic – adding automation and propagation modeling to static licensing data. This evolution has generally progressed from the manual, database-informed coordination of fixed links and satellite earth stations; to database-assisted coordination of point-to-point links on a semi-automated basis (e.g., in the 70/80/90 GHz bands); to the fully-automated frequency coordination of unlicensed sharing of vacant TV channels (TV White Space); to, most recently, the dynamic coordination of a three-tier hierarchy of sharing by Spectrum Access System databases across the 3550-3700 MHz band with U.S. Navy radar (the Citizens Broadband Radio Service).

Spectrum coordination databases have demonstrated the ability to facilitate a variety of regulatory frameworks, including licensed, unlicensed and lightly-licensed sharing regimes. In some bands

databases facilitate coordination among licensees of the same type, while in other bands the coordination is among site-based users licensed for different services. Regulators now have the models and technologies needed to authorize automated frequency coordination systems that best fit the NRA's policy goal, which will vary depending on the nature of the incumbent service, the propagation characteristics and size of the band, the nature of the shared-access use, and other factors. In all cases the grant provided by the AFC is the equivalent to a time-bounded authorization (or license) to transmit.

Automated frequency coordination (AFC) systems are known by different names in different frequency bands. They can also be more or less dynamic with respect to inputs. However, the basic steps are the same and the outcome is determined by the rules and framework adopted by each national regulatory authority (NRA). Frequency coordination databases facilitate spectrum sharing by carrying out at least the following core functions:

- *Protect incumbent licensees or other users from interference caused by entrants with lower priority (and, in some cases, coordinate among users with the same priority).*
- *Provide authoritative and in some bands virtually real-time decisions on requests to transmit or assign usage rights.*
- *Enforce the use of authorized devices.*
- *Monitor spectrum assignments and, in some cases, actual usage.*

The basic building blocks and sequential steps of an automated frequency coordination system include the following informational inputs and core functions:

- *Rules and policy guidance, including exclusion zones and terms of use, promulgated by the regulator (NRA);*
- *Incumbent information, primarily from licensing databases;*
- *A registry of eligible shared-access users and devices, including information on geolocation, operating parameters and verification of device certification;*
- *Static and dynamic inputs on the spectrum environment, which can include GIS data (such as terrain and clutter) and sensing data;*
- *Analysis of the impact of emissions on interference, applying propagation and interference models to the available data on users and the environment;*
- *Protection algorithms that translate the rules, environmental inputs, and interference analysis into objective answers to requests to transmit;*
- *Calculation engine: The database applies the rule-derived algorithms in response to requests for a spectrum grant;*
- *A communications interface that allows shared-access users to directly and regularly renew grants, share information, and receive any subsequent changes to their authorization.*

AFC systems yield substantial benefits to industry, regulators and consumers alike. Compared to manual or even database-assisted coordination, automated frequency coordination:

- *speeds access to spectrum,*
- *facilitates more intensive use of the resource,*
- *better protects incumbent licensees,*
- *lowers access costs for operators and regulatory costs for NRAs,*
- *protects incumbents with greater certainty and ensures consistent outcomes,*
- *accounts quickly for changes in use of the band or even changes in the NRA's rules.*

AFC systems can also be leveraged to provide additional capabilities that include:

- *monitoring and collecting data on actual use of the band;*
- *coexistence optimization, which helps devices minimize mutual interference (relevant in particular where secondary users have no interference protection);*
- *enforcement assistance (including the ability to identify and shut down errant devices);*
- *dynamic adjustments to the admission control parameters (to mitigate, for example, aggregate interference).*
- *facilitate secondary market transactions;*
- *collect any usage or regulatory fees authorized or required by the NRA;*
- *provide a portal for incumbents and/or users to report corrections or updates to licensing data, operating parameters, or to report incidents of interference.*

Looking ahead, exploding consumer demand for data-intense applications on mobile devices, coupled with the potential benefits of 5G and IoT networks, are motivating regulators to consider how dynamic spectrum sharing can unlock unused capacity in occupied-but-underutilized bands. This report highlights three bands under active consideration, in the U.S. and/or Europe, for sharing managed by AFC systems, as well as the potential for database-assisted sharing in satellite bands and particularly by NGSO satellite constellations.

At the time this was written, in a trio of Proposed Rulemakings (NPRMs), the U.S. Federal Communications Commission is considering the authorization of an AFC to facilitate shared access by unlicensed, licensed, and lightly-licensed entrants in underutilized bands, including:

- **6 GHz:** A proposal to authorize an AFC system to manage unlicensed sharing across 850 megahertz in the 6 GHz band between 5925 and 7125 MHz. An AFC would coordinate at least outdoor deployments to insure no interference with tens of thousands of point-to-point microwave links and other incumbents.

- **3.7-4.2 GHz:** A proposal to authorize coordinated shared access by fixed wireless broadband operators (point-to-multipoint) in a substantial portion of the downlink C-band that will continue in use for Fixed Satellite Service (FSS) incumbents.
- **37-37.6 GHz:** A proposal to authorize coordinated shared use of the lower 37 GHz band by a variety of commercial and federal government users. The Shared Access Licenses and frequency coordination system are yet to be defined.

Similarly, the European Union and the UK have ongoing consultations that propose a degree of unlicensed or opportunistic licensed sharing in the 6 GHz and C-band (3.8-4.2 GHz), respectively:

- **5925-6425 MHz:** Similar to the FCC's pending rulemaking, the European Commission has tasked a working group to study the regulatory and technical feasibility of authorizing unlicensed RLANs to operate on secondary basis in the 6 GHz band (5925-6425 MHz). A final draft report, including an assessment of coexistence scenarios with band incumbents, is expected by May 2019, followed by a public consultation and a final report by March of 2020.
- **3.8-4.2 GHz:** In the UK, Ofcom's proposal would enable both mobile and fixed wireless networks (point-to-multipoint) to coordinate shared use of vacant channels on a co-primary basis with incumbent FSS earth stations and fixed point-to-point licensees. Both very small-area licenses (50-meter radius) and medium-power base station licenses (in rural areas only) initially would be coordinated by Ofcom and possibly later by an automated frequency coordination database system.

Finally, the report reviews a number of emerging technological advances that can further amplify the benefits of AFC systems. These include the incorporation of more detailed, real-world GIS data (e.g., terrain, clutter, building heights and materials); real-time spectrum sensing data; the growing sophistication of propagation and interference modeling; value-added, cloud-based database services; and the potential to combine blockchain technology with dynamic database coordination.

Automated Frequency Coordination: An Established Tool for Modern Spectrum Management

1. Introduction and Database Basics

As this report details, although spectrum database coordination is nothing new, it has very recently *evolved* from manual, to automated, to dynamic – adding automation and propagation modeling to static licensing data. A progression of regulatory innovation in database-assisted band sharing – including for licensed fixed wireless links, unlicensed Wi-Fi and mobile/LTE – are described in Section 2 below. This technical evolution from manual to dynamic frequency coordination yields substantial and demonstrable *benefits* for regulators, industry stakeholders and end-users, as detailed in Section 3 below. As these benefits become better known – and as the demand for spectrum capacity becomes more pressing – additional bands have emerged as candidates for shared use via automated frequency coordination, as described in Section 4 below.

In recent years, as demand for wireless connectivity has surged, the use of databases to coordinate more intensive and efficient spectrum sharing has emerged as a critical regulatory tool. Regulators and legislators in a number of countries have authorized automated and even dynamic frequency coordination databases to manage real-time assignments in shared bands and to protect incumbent operations (including military and public safety systems) from harmful interference. In the United States, Congress in 2018 mandated development of “a national plan for making additional ... bands available for unlicensed or license by rule operations,” including examining “existing and planned databases or spectrum access systems designed to promote spectrum sharing.”¹

In Europe Ofcom, the UK regulator, stated in the agency’s 2016 Statement concerning *A Framework for Spectrum Sharing*: “Geolocation databases are making it easier for devices to identify spectrum that is available for sharing while protecting the operation of existing services. . . . the fundamental principle is not frequency specific and can be extended to a broader range of frequencies” beyond enabling access to TV White Space channels.² In December 2018 Ofcom released a Consultation stating its intention “to work towards a Dynamic Spectrum Access (DSA) approach in bands where this is appropriate and practical to implement.”³ Ofcom proposed opportunistic sharing of the 3.8-4.2 GHz band (described further in Section 4 below), including a longer-term goal “to define the appropriate specification for both DSA equipment and database capability that would enable future transition to DSA.”⁴

In addition to coordinating frequency assignments and interference avoidance, more dynamic databases offer the potential for additional functionality and efficiency far beyond what manual or database-assisted coordination can offer. Far greater efficiencies will also be possible going forward as more granular and real-world data (terrain, clutter, three-dimensional mapping, etc.) are incorporated into the algorithms that an automated frequency coordination system relies upon to grant, deny or modify requests for shared spectrum access on a virtually real-time basis while safeguarding incumbent users with priority rights. A number of these emerging technologies –

including real-world GIS data, spectrum sensing and monitoring, and blockchain database applications – are reviewed in Section 5.

A. Wireline to Wireless: Database Coordination in Telecommunications

There is no question that today we have the technical ability to automate frequency coordination and thereby lower transaction costs, use spectrum more efficiently, speed time to market, protect incumbents from interference with greater certainty, and generally expand the supply of wireless connectivity that is fast becoming an input into every other industry in advanced economies. Despite these benefits, database coordination has also been greeted with a degree of skepticism and even resistance from licensees accustomed to exclusive use of spectrum. As Ofcom reported in its 2016 Statement: “Respondents to the consultation viewed geolocation databases as a promising enabler, and we were urged to expand the use of geolocation technology to bands beyond UHF However, some raised concerns relating to the reliability of the databases, the accuracy of location information, and the ability of users to bypass the parameters set by the databases where devices are manually configured.”⁵

While incumbent users of underutilized bands typically characterize the delegation of real-time spectrum access decisions to database algorithms as a risky leap, the reliance on automated databases to facilitate more advanced and low-cost telecommunications has a long and storied history that extends from the replacement of manual switchboard operators with SS7 call-related networks relying on automated databases, to automated number porting database systems, to the Domain Name Service (DNS) databases that serve as the essential circulatory system of the Internet itself. These advances have proven so beneficial to promoting universal and affordable communication they are taken for granted today.

Similarly, the use of databases to coordinate spectrum assignments has evolved, but is *nothing new*. The basic steps are exactly the same as in a manual coordination process. What is new is surging consumer demand for wireless connectivity and hence the need to intensively share underutilized frequency bands. On the technical side, what’s new are cloud-based solutions that vastly improve the speed at which coordination can be conducted, the rapid evolution of highly detailed geographic databases combined with clutter-aware propagation models, and transmitters and receivers capable of dynamically receiving information from databases. Once automated, coordination databases can also become platforms for new value-added services, such as radio resource management (RRM) and assurance services that go beyond simple link authorization or admission control.

i. The Longtime Reliance on Automated Databases for Wireline Telecommunications

Wireline telecommunication systems were the early beneficiaries of automated database coordination. Once upon a time, manual switchboard operators opened and closed phone lines by hand, as pictured just below. Over the course of a century this hands-on approach evolved into automated circuit switching and, by the late 1980s, into automated databases that could almost instantly vary the treatment of different calls based on the number and established algorithms. This progress culminated in the Signaling System 7 (SS7) architecture, which employed automated databases to support interoperable call initiation, routing, billing, and a variety of information-

exchange functions, including call forwarding and wireless roaming, across the entire public switched telephone network (PSTN). The ITU recommended SS7 as an international standard in 1988 and it was swiftly adopted by major carriers worldwide.⁶ As the International Engineering Consortium explained:

When a subscriber dials an 800 number, it is a signal to the switch to suspend the call and seek further instructions from a database. The database will provide either a real phone number to which the call should be directed, or it will identify another network (e.g., a long-distance carrier) to which the call should be routed for further processing. . . . [T]he response from the database . . . can be made to vary based on the calling number, the time of day, the day of the week, or a number of other factors.⁷

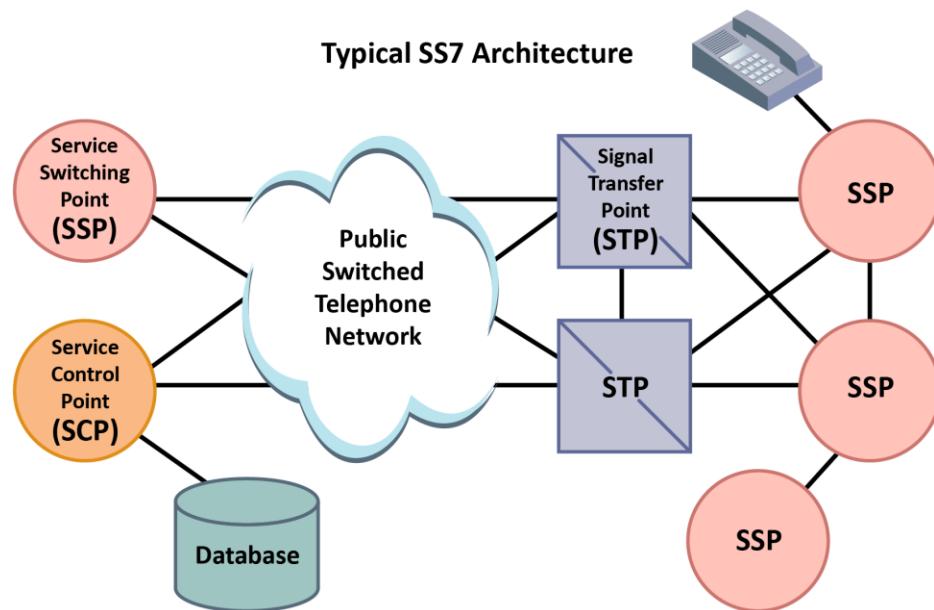


Figure 1: Manual switchboard operators (circa 1877) gave way over time to the automated call routing databases that characterized the SS7 signaling networks the ITU adopted as the international standard in 1988.

SS7 represented just one of a number of automated database networks that evolved to support efficient, low-cost, interconnected telephone connectivity worldwide.⁸ Among the most advanced today is the Local Number Portability (LNP) database which, in the U.S., has been operated by a third-party contractor approved by the FCC since 1997 and overseen by a committee of major telecommunications providers. The UK's number porting system, also initiated in 1997, is similar.⁹ The automated and interoperable nature of the LNP database system is critical:

“When a call is made to the ported telephone number, the initiating service provider switch launches a query to its LNP call routing database to determine whether the telephone number has been ported. . . . If the number is not ported, the database response indicates that the call should be routed based on the telephone number.”¹⁰

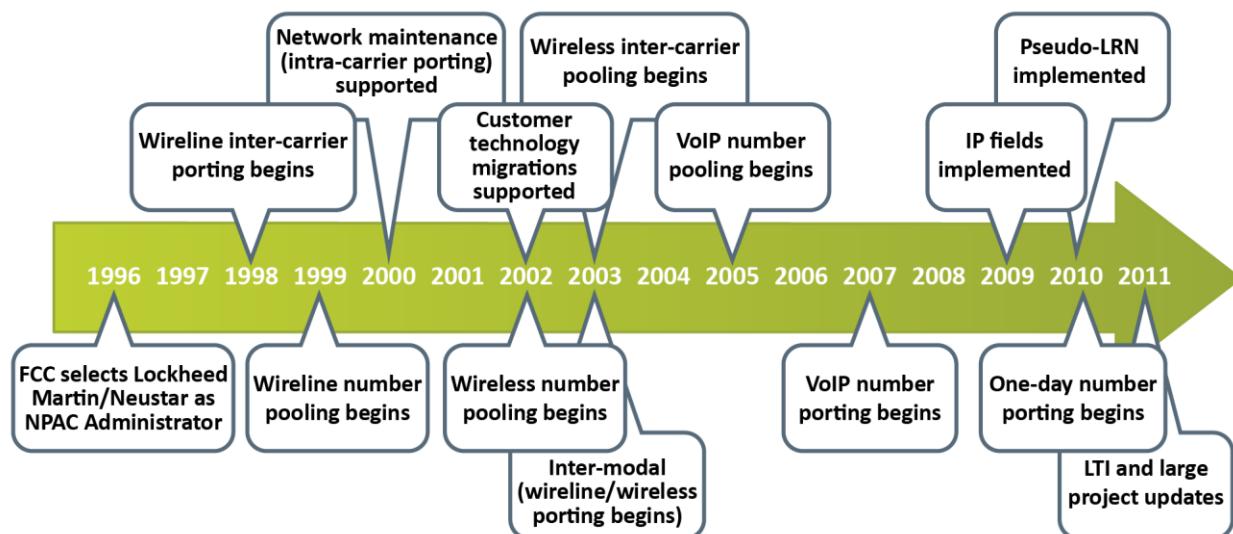


Figure 2: Phone number portability and forward call routing rely on automated database systems introduced in US and UK in 1997.¹¹

Mobile communications have relied on automated and interconnected database coordination from the beginning of digital cellular voice and data services. GSM (Global System for Mobile communications), the standard developed by the European Telecommunications Standards Institute (ETSI), defined protocols for second-generation digital cellular networks. GSM enabled full duplex voice telephony and expanded over time to include data communications. A common standard and interconnected databases allowed the subscribers of different operators to roam onto other GSM networks, including across borders and ultimately worldwide. In GSM networks, mobile call and SMS routing and roaming functions are managed by the mobile switching center, which in turn relies on the automated interaction of two key databases: the home location register (HLR) and the visitor location register (VLR). HLRs store details of every SIM card issued by the mobile operators, while VLRs are a database of information that allow operators to connect devices attempting to roam onto its network.¹²

A more recent advance in the evolution of automated database coordination is the Internet's Domain Name Service (DNS). DNS is a database that connects domain names to IP addresses. More specifically, DNS is a distributed database, comprised of DNS servers that collectively keep track of

the names and corresponding IP addresses of various domains and hosts on the internet. No single DNS server maintains the entire database; each gives authoritative information for domains which it administers, or delegates to other servers further down the hierarchy for those it does not. This allows local control of segments of the overall database while still facilitating rapid interconnection across the entire Internet through a hierarchy similar to the IP routing hierarchy.

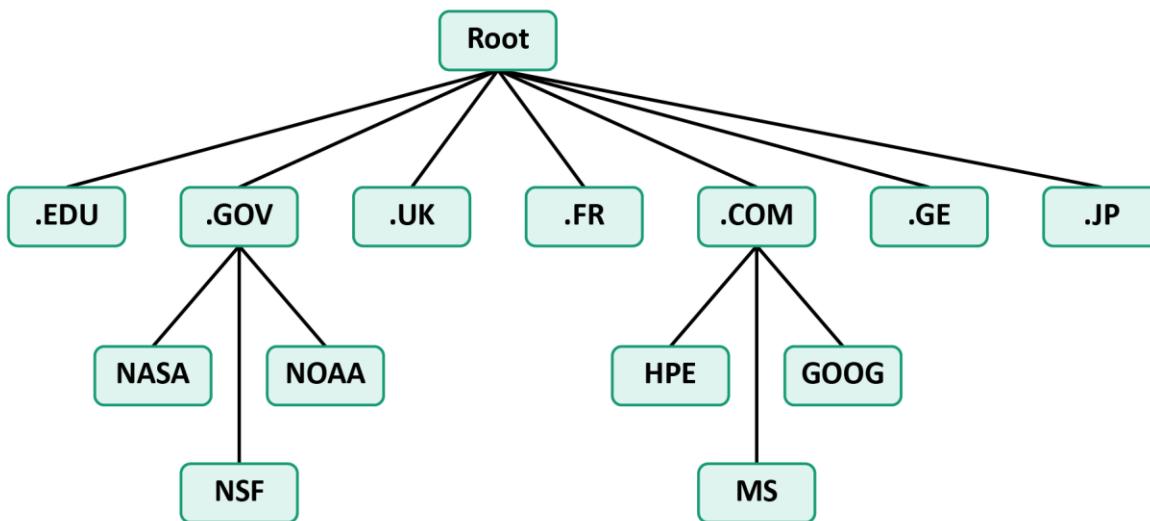


Figure 3: The Internet's Domain Name Service (DNS) is a distributed database process that connects domain names to IP addresses to facilitate the routing of Internet traffic.¹³

ii. The Longtime Use of Databases to Assist the Coordination of Shared Spectrum Bands

Although the use of databases as a tool for spectrum management is a more recent development, it has proven no less compelling as a means of achieving large-scale, low-cost, and virtually real-time access to communications capacity that would otherwise go unused. While auctions are now widely used to assign exclusive licenses over a defined (and typically very large) geographic area for mobile networks (IMT), most spectrum is shared among users that can coexist and make more efficient use of a band through a cooperative coordination process. While early policy discussions around spectrum sharing mechanisms focused on decentralized cognitive radios capable of sensing other band occupants, regulatory solutions shifted fairly quickly to more centralized coordination mechanisms automated through agency-approved database operators, an advance typified by the adoption of TV White Space databases in a growing number of nations globally.

In some bands databases facilitate coordination among licensees of the same type, while in other bands the coordination is among site-based users licensed for different services. Fixed terrestrial point-to-point links (PtP) and fixed satellite services (both earth stations and the GSO satellites transmitting to them) are prime examples. For decades most coordination and approval of licenses for fixed, site-based licenses (such as FSS earth stations and terrestrial PtP links) has relied on an essentially manual coordination process informed by the national regulator's licensing database. A leading example is the coordination model used since 1996 in the U.S. to coordinate point-to-point microwave links in Fixed Satellite Service bands. Today this coordination is database-assisted, as

described further in the next section, but not as automated, dynamic or low-cost as it could be if the goal was to make more intensive and efficient use of these shared bands, some of which are notably underutilized.

In virtually every case, frequency coordination databases facilitate spectrum sharing by carrying out at least the following core functions:

- Protect incumbent licensees or other users from interference caused by entrants with lower priority (and, in some cases, coordinate among users with the same priority);
- Provide authoritative and in some bands virtually real-time decisions on requests to transmit or assign usage rights;
- Enforce the use of authorized devices;
- Monitor spectrum assignments and, in some cases, actual usage.

The next step in the evolution of spectrum coordination has been automated frequency coordination (AFC) systems. AFCs simply automate the process of manual spectrum coordination.¹⁴ As explained in the next section, in an AFC system the basic steps are the same and the outcome is determined by the rules adopted by each national regulatory authority (NRA). However, compared to manual or even database-assisted coordination, automated frequency coordination speeds access to spectrum, lowers costs, promotes more intensive use, better protects incumbent licensees, ensures consistent outcomes, and accounts quickly for changes in use of the band or even changes in the NRA's rules.

In addition, database coordination creates an opportunity to achieve more intensive and efficient use of a band by incorporating detailed GIS data (e.g., on terrain and clutter) and even dynamic data (e.g., from spectrum sensing) that reflect the real-world spectrum environment on a very localized basis and thereby support far more sophisticated propagation and interference modeling. As more countries adopt database techniques, operators serving multiple adjacent NRAs could also coordinate between conflicting rules, converting what are often effectively radio "DMZs" into productive use.

B. Automated Frequency Coordination Databases: The Basics

Spectrum coordination databases have demonstrated the ability to facilitate a variety of regulatory frameworks, including licensed, unlicensed and lightly-licensed sharing regimes. Regulators now have the models and technologies needed to authorize automated frequency coordination systems that best fit the NRA's policy goal, which will vary depending on the nature of the incumbent service, the propagation characteristics and size of the band, the nature of the shared-access use, and other factors. In all cases the grant provided by the AFC is the equivalent to a time-bounded authorization (or license) to transmit. At a high level, the shared-access frameworks enabled by automated frequency coordination systems adopted by one or more NRAs, and profiled in this report, currently include:

- ***Coordinated, licensed sharing:*** Examples include traditional fixed link coordination in 70/80/90 GHz and the FCC's current rulemaking on potential database-coordinated sharing by fixed point-to-multipoint deployments in the C-band (3.7-4.2 GHz).

- **Opportunistic, unlicensed use of unused spectrum by frequency and location:** Examples include TV White Space and the FCC's proposal to authorize unlicensed sharing in the uplink C-band and other bands between 5925 and 7125 MHz.
- **Two-tier Licensed Shared Access based on geographic areas and database assist:** Various European NRAs are implementing this initially in the 2.3 – 2.4 GHz band (3GPP LTE band 40) based on multi-year sharing contracts with tier-one incumbents.
- **Three-tier shared access, combining licensed and opportunistic use:** For example, the U.S. Citizen Broadband Radio Service (CBRS) is managed by a dynamic database, sharing U.S. Navy radar spectrum at 3550-3700 MHz for a mix of licensed and lightly-licensed use (Spectrum Access System). In the UK, TV White Space is managed in tiers by a dynamic geolocation database, sharing broadcast spectrum (primary) with wireless microphones (secondary) and opportunistic unlicensed sharing for TVWS devices (tertiary).

The basic building blocks and sequential steps of an automated frequency coordination system include the following informational inputs and core functions:

- Rules and policy guidance, including exclusion zones and terms of use, promulgated by the regulator (NRA);
- Incumbent information, primarily from licensing databases;
- A registry of eligible shared-access users and devices, including information on geolocation, operating parameters and verification of device certification;
- Static and dynamic inputs on the spectrum environment, which can include GIS data (such as terrain and clutter) and sensing data;
- Analysis of the impact of emissions on interference, applying propagation and interference models to the available data on users and the environment;
- Protection algorithms that translates the rules, environmental inputs, and interference analysis into objective answers to requests to transmit;
- Calculation engine: The database applies the rule-derived algorithms in response to requests for a spectrum grant;
- A communications interface that allows shared-access users to directly and regularly renew grants, share information, and receive any subsequent changes to their authorization.

Putting this all together, we see that automated frequency coordination is simply a means of scaling and automating the process that the regulator (with or without the assistance of third parties) authorizes for any band that does not need to be exclusively licensed. Just like manual coordination for fixed point-to-point links, for example, there is a request for an assignment, analysis of licensing data, the application of the rules to available inputs, and a decision communicated. However, whereas a more manual or even database-assisted coordination process can be expensive, slow,

limited in its granularity, and prone to inconsistent results, an automated calculation engine can produce near-real-time and consistent outcomes at very low marginal cost.

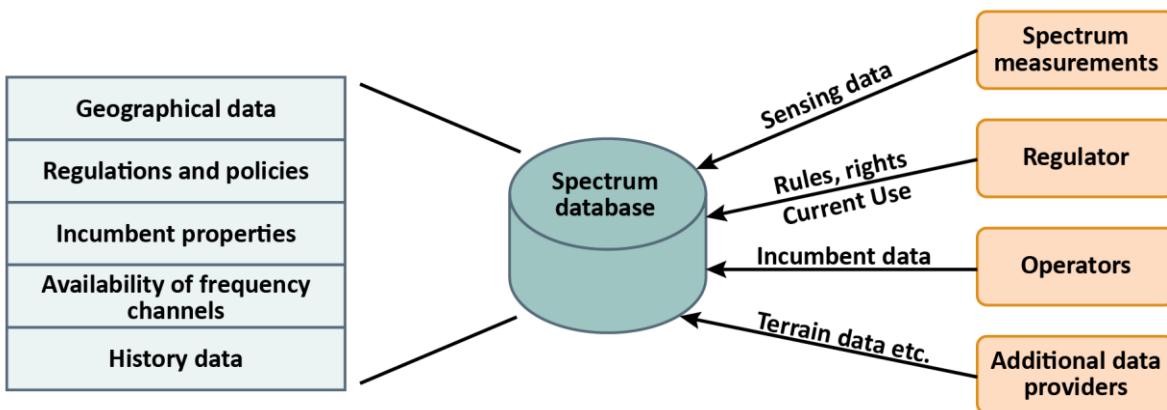


Figure 4- A general spectrum database model. (Source: M. Höyhtyä, et al.)¹⁵

The starting point for the automated coordination process outlined above is, of course, the NRA's rules and policy guidance – including any subsequent revisions. This typically begins with the maxim that shared-access users “shall first do no harm” to incumbent services. The goal is minimal impact on incumbent operations, although the trade-offs between degrees of protection and spectrum efficiency should be determined by the NRA for each band and reflected in the rules. Importantly, the rules do not require technical implementation details, which can be delegated (subject to NRA approval) to one or multiple AFC operators or, ideally, to an expert multi-stakeholder group that includes relevant industry experts and representatives.¹⁶

With rules in place, one or more AFC operators are typically authorized by the NRA to develop and manage the system. As discussed further below (Section 3), NRAs have options that range from contracting with a sole-source AFC to qualifying and certifying multiple, competing AFCs.¹⁷ In either case the AFC operator(s) develop the algorithms that translate the NRA's rules into objective answers to requests for a spectrum frequency assignment. Testing is typically required and the NRA can invite public comment, which allows a range of stakeholders to surface concerns, ideas and suggestions.

An essential component of any coordination process is complete and accurate licensing information on incumbent operations. Database operators will regularly ingest the NRA's licensing data on the protected service(s) and must do so frequently enough to capture new licensees or changed operating parameters. The frequency of these updates will vary by band. Baseline parameters of the incumbent systems, such as the interference tolerance of receivers and the coverage area of base stations, are also critical inputs into the AFC's analysis and response to requests from secondary users.

Unfortunately, collecting incumbent information can be problematic when “the regulator might have some but not all the data, or not to the level of detail needed for the protection calculations,” as the European Council of Postal and Telecommunications (CEPT) observed in its report on a framework for TV White Space database management.¹⁸ The NRA may need to require incumbents to report additional information,¹⁹ as well as to verify the accuracy of licensing data, or at least give incumbents the choice of taking this ‘self-help’ measure or instead face increased risk of interference. In this respect, a shared environment positively changes the incentives of incumbents

to ensure that their information in the database is accurate so that interference into these networks is prevented. At the same time, it's important to minimize the burden and require all stakeholders to report only information necessary to facilitate sharing without interference. The FCC report also notes there may be privacy and cost considerations, but in implementations to date these have been judged to be minor and manageable.²⁰

The AFC operator may be required to collect a similar set of information from shared-access users that must be protected as part of granting any request for permission to transmit. These secondary users, whether lightly-licensed or unlicensed, must generally register through an online self-registration portal and provide general information (e.g., contact information, location, certified devices to be used) as well as whatever technical operating parameters the operator requires to apply its algorithms. Registration is also an opportunity for the database operator to impose (or at least set up a payment mechanism for) any fees authorized by the NRA, including (at the regulator's option) a licensing or spectrum use fee.²¹ If there are multiple database operators each operating an online self-registration portal, online synchronization of self-registration data between database operators must be frequent enough that requests for permission to transmit will not receive conflicting or incompatible results.

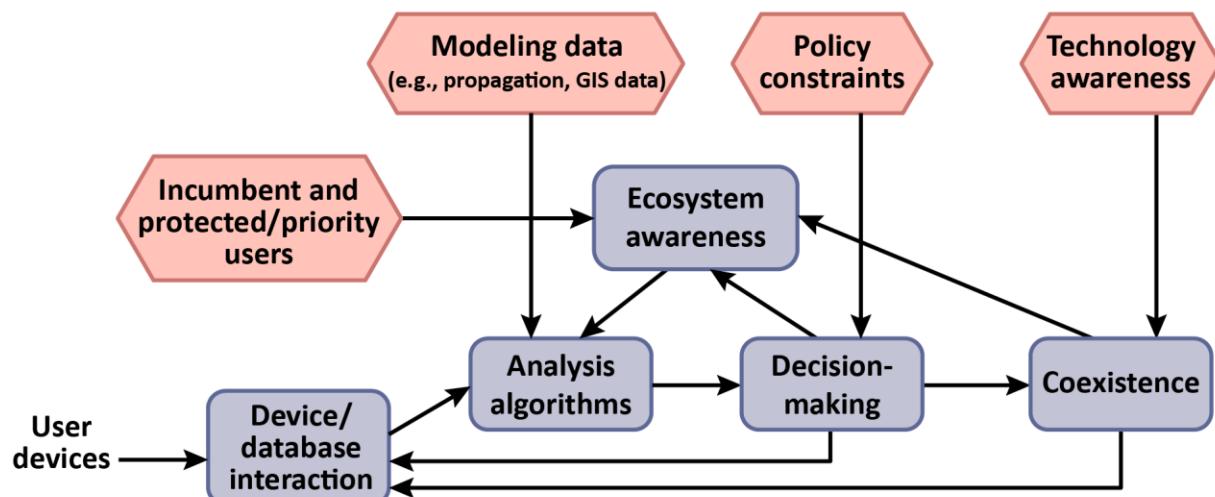


Figure 5: Conceptual architecture for an automated frequency coordination (AFC) system.

Importantly, AFC operators will typically maintain a registry of access points and other devices certified by the NRA. The verification of device certification is critical to ensure that a grant to operate is not given to a device that is not compliant with the technical rules for the band. The NRA's device certification rules must prohibit users from modifying the hardware or software settings to circumvent the need to request and comply with time-limited assignments from an authorized database.²² Conversely, the NRA will need to adopt device certification standards that require that a device will not transmit on the band without a current grant from an approved database provider.

Another valuable and increasingly sophisticated set of inputs inform interference modeling and ecosystem awareness. The analysis algorithms for dynamic databases include models for propagation (path loss), device characteristics (e.g., out of band emission masks), and antenna

patterns (e.g., a directional antenna has a far different impact than an omnidirectional). Propagation and interference models can have a major impact on the availability of shared spectrum. For example, propagation modeling can be limited to terrain (for example, the limited but widely-used Longley-Rice propagation model), or it can be more robust by factoring in clutter (structures, trees), building materials, building height, and other information. The results of coexistence studies between real devices and real incumbents, whether bench-tests or field measurements, may be used by an NRA as a foundation for determining what levels of interference are tolerable in a given situation.²³

Propagation loss has been studied extensively and is well understood, but typically the inputs to the analysis algorithms do not reflect real-world path loss.²⁴ The more detailed and reliable the data, the more accurate (and typically the more robust) the grants of permission for shared-access usage will be. For example, at low power, Wi-Fi or other broadband devices may be able to operate far more extensively if the AFC algorithms take into account a 3D modeling of clutter, which can factor in not only the footprint of a building (at ground level) but also its height. Dynamic databases will increasingly integrate real-world GIS data, device location data, RF sensing data (if available), and the NRA's rules and policies into a Radio Environment Map (REM) that provides the most granular, efficient and reliable basis for granting or denying requests to operate on a secondary basis.²⁵ This is discussed further in Section 5 below.

At this point, the AFC database is certified and has the incumbent, user, environmental and other data it needs to immediately respond to requests for a frequency assignment. A network operator or individual device requests an assignment. Depending on the rules adopted, the operator's request could be for an assignment of one or more generic channels of bandwidth, for a specific frequency range, or for a list of available frequencies from which to choose. The coordination system will first verify the secondary user is registered and that the access point or other device seeking authorization is certified. Algorithms informed by the rules, the available modeling data, and the user's location and device characteristics are applied to the user's request. The calculation engine generates a list of allowed frequencies, associated transmit powers, an expiration of the grant, and any other parameters.²⁶

In an automated coordination system, the result is immediately communicated back to the user. In some cases, the denial of a specific request is accompanied by an offer of an alternative channel or power level, depending on the design of the overall system. The need to have a coordination analysis reviewed and approved using NRA resources is eliminated. This speeds time to market and minimizes costs. If the AFC algorithms are faithful to the rules, there is no need for – and considerable downside in requiring – the cost and delay of agency review. Similarly, an automated coordination system can also facilitate secondary market transactions. The database can quickly match supply and demand, reduce transaction costs, and enforce conditions (e.g., license partitioning, term or power limits).²⁷

The frequency assignment will typically be time-limited, requiring the network or device to periodically request a renewed or changed grant. The grant provided by the AFC is therefore equivalent to a time-bounded authorization (or license) to transmit. The automatic expiration of a grant accommodates any changes in protection requirements for incumbents and can vary widely (from hours to weeks). A failure to renew is presumed to be due to inactivity and the grant expires. This automation allows the NRA to make the grant of a frequency assignment as geographically limited, or as short in duration, as it deems appropriate to protect incumbents and serve its overall policy purpose. These conditions can also change over time.

Beyond these basic functionalities, AFC systems have potential capabilities beyond the reach of a manual or even a database-assisted process. These fall into categories that include monitoring and collecting data on actual use of the band; coexistence optimization, which helps devices minimize mutual interference (relevant in particular where secondary users have no interference protection);²⁸ enforcement assistance (including the ability to identify and shut down errant devices);²⁹ and dynamic adjustments to the admission control parameters (in response, for example, to aggregate interference in a certain geographic area). The benefits of AFC to network operators and regulators is discussed further in Section 3 below, but leading examples include to:

- *Optimize coexistence among secondary users, if relevant, based on NRA rules (for example, among unlicensed or other opportunistic users);*
- *Capture data and report on actual use of the band, as well as any anomalies that may inform future regulatory action;³⁰*
- *Maintain the ability to identify and shut down a device or provider in cases of harmful interference or emergency;*
- *Facilitate secondary market transactions;*
- *Collect any usage or regulatory fees authorized or required by the NRA;*
- *Provide a portal for incumbents and/or users to report corrections or updates to licensing data, operating parameters, or to report incidents of interference;*
- *Develop additional value-added services that can be offered to stakeholders in the band, including to incumbents.*

2. Frequency Coordination Databases: Manual to Automated to Dynamic

The use of databases as a tool to coordinate frequency assignments – and avoid harmful interference – has a long and successful history. In the U.S., thousands of megahertz of spectrum are shared among unrelated entities through a coordination process either controlled by, or assisted by, databases operated by one or more commercial entities authorized by the FCC. As demand for spectrum has surged and technology has advanced, spectrum database coordination has evolved from manual, to database-assisted, to automated, to dynamic. While fully automated and dynamic coordination remains in development, we'll see in this section that AFC technology has the ability to factor in real-world inputs beyond static licensing data, using propagation and/or interference modeling informed by how each device admitted to the band alters the interference environment, or by spectrum sensing or other dynamic awareness data.

Of course, the original and most basic databases employed in spectrum coordination are the many licensing databases maintained by NRAs, such as the International Bureau Application Filing and Reporting System (IBFS) maintained by the FCC.³¹ These licensing databases, though often rich in operational detail, are almost entirely static. IBFS and others today enable electronic filing of licensing applications – which can speed the process – but manual staff review is generally still necessary and assignments are not granted instantaneously. Licensing databases play a key role in

assisting coordination in shared bands, but do so primarily as an informational input for the agency staff or, increasingly, the external third parties that run the calculations and prepare coordination reports. It takes more to enable dynamic band sharing, particularly at scale and among users with divergent technologies.

A. Manual, Database-Informed Coordination

For decades most coordination and approval of licenses for fixed, site-based licenses (such as broadcast transmitters and point-to-point links) has relied on an essentially manual process that relies on the NRA's licensing database.

A leading example is the coordination model used since 1974 in the U.S. to coordinate point-to-point microwave links in Fixed Satellite Service bands. The 6 GHz C-band alone has approximately 100,000 licensed links.³² Generally, Part 101 of the Commission's rules requires an operator to complete coordination prior to filing an application for authorization.³³ "The applicant must, through appropriate analysis, select operating characteristics to avoid interference in excess of permissible levels to other spectrum users."³⁴ For each link, an operator typically contracts with a qualified private firm to prepare the coordination analysis, which must be sent to other registered users in the area (who have up to 30 days to raise objections). Only then can the user file an application for authorization with the Commission, specifying the precise location and full technical parameters of the transmitter(s) to be used. The FCC then typically takes up to another 30 days to review and approve the license, which may be provisional if conditioned on buildout requirements. Although larger firms such as Comsearch – which coordinates over 10,000 links each year – now use their own proprietary database to largely automate the process, the cost and coordination time per link can be substantial.³⁵

European NRAs maintain a similarly "conventional link-by-link assignment and centralized coordination" process for virtually all point-to-point links.³⁶ The primary difference from the U.S. process is that the analysis is typically done within the agency, using the regulator's own databases and analysis software, rather than by third-party coordinators. This additional cost is reflected in the licensing fee. NRAs have full access to licensing information (important since licensing databases are generally not as publicly available as in the U.S.) and responsibility to anticipate and resolve cross-border coordination.

At the same time, the volume and complexity of fixed wireless coordination promises to grow considerably, even in bands not shared with an incumbent service. ECC Report 173 concludes that "current trends in the FS marketplace are for an ever increasing provision of . . . very high capacity links," for mobile infrastructure in particular, as "a viable alternative to deploying fiber optic, especially in rural areas, but equally in high density urban areas" where digging up roads can be disruptive or too costly.³⁷ In addition, the report recognizes a parallel growth in point-to-multipoint coordination as operators similarly seek to avoid the obstacles to trenching fiber by deploying high-capacity fixed wireless service to homes and businesses, as well as for mobile backhauling.

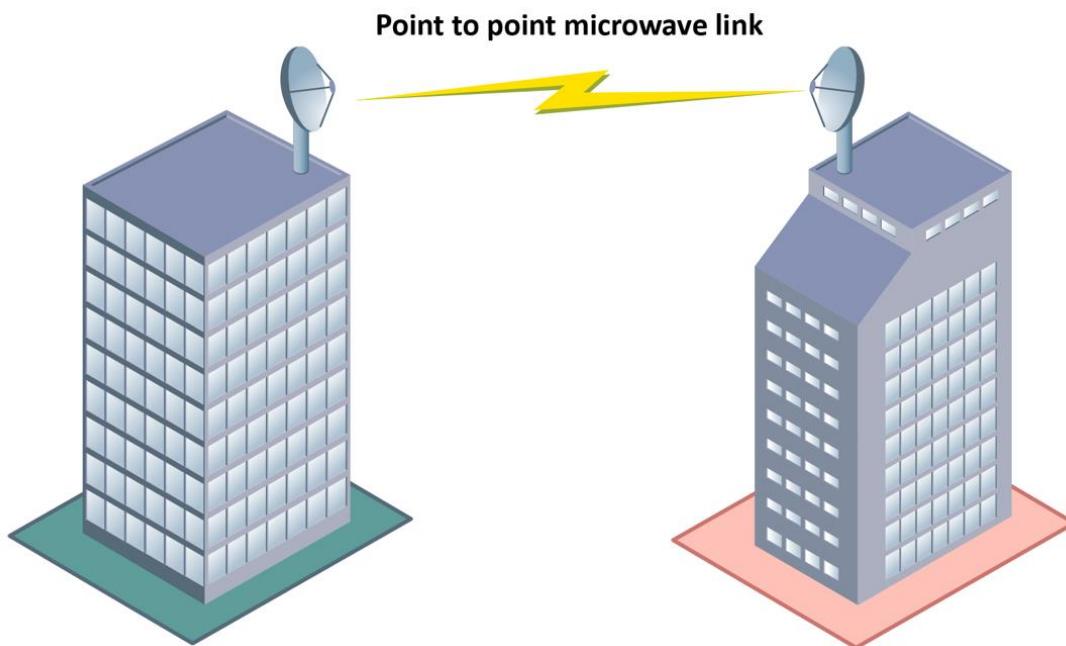


Figure 6: Point-to-point Fixed Service Links Require Coordination under Part 101.

A more recent variation of a regulator leveraging database-informed coordination is the coordination process for the Wireless Medical Telemetry Service (WMTS) in the U.S. Hundreds of hospitals share two bands designated for medical devices that use very low-band spectrum. Since this licensed-by-rule spectrum is dedicated almost entirely for hospitals, the FCC designated the American Hospital Association (AHA) to maintain a registry that seeks to ensure nearby hospitals do not cause mutual interference and also to avoid certain exclusion zones (for radio astronomy in the band corresponding to TV Channel 37).³⁸ The database coordinator does not actually make frequency assignments. Its role is to register and notify WMTS users and equipment manufacturers of potential frequency conflicts. Any interference disputes not resolved by the parties are referred to FCC staff for final resolution.³⁹

B. Semi-Automated, Database-Assisted Coordination: 70/80/90 GHz and LSA

More recently, spectrum databases have been harnessed to streamline the process of coordinating point-to-point (PtP) links in shared bands through a semi-automated process. Since 2004, in the U.S. the FCC has certified multiple commercial database operators, under delegated authority, to register, manage and coordinate PtP link registrations in the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz bands shared with federal government incumbents.⁴⁰

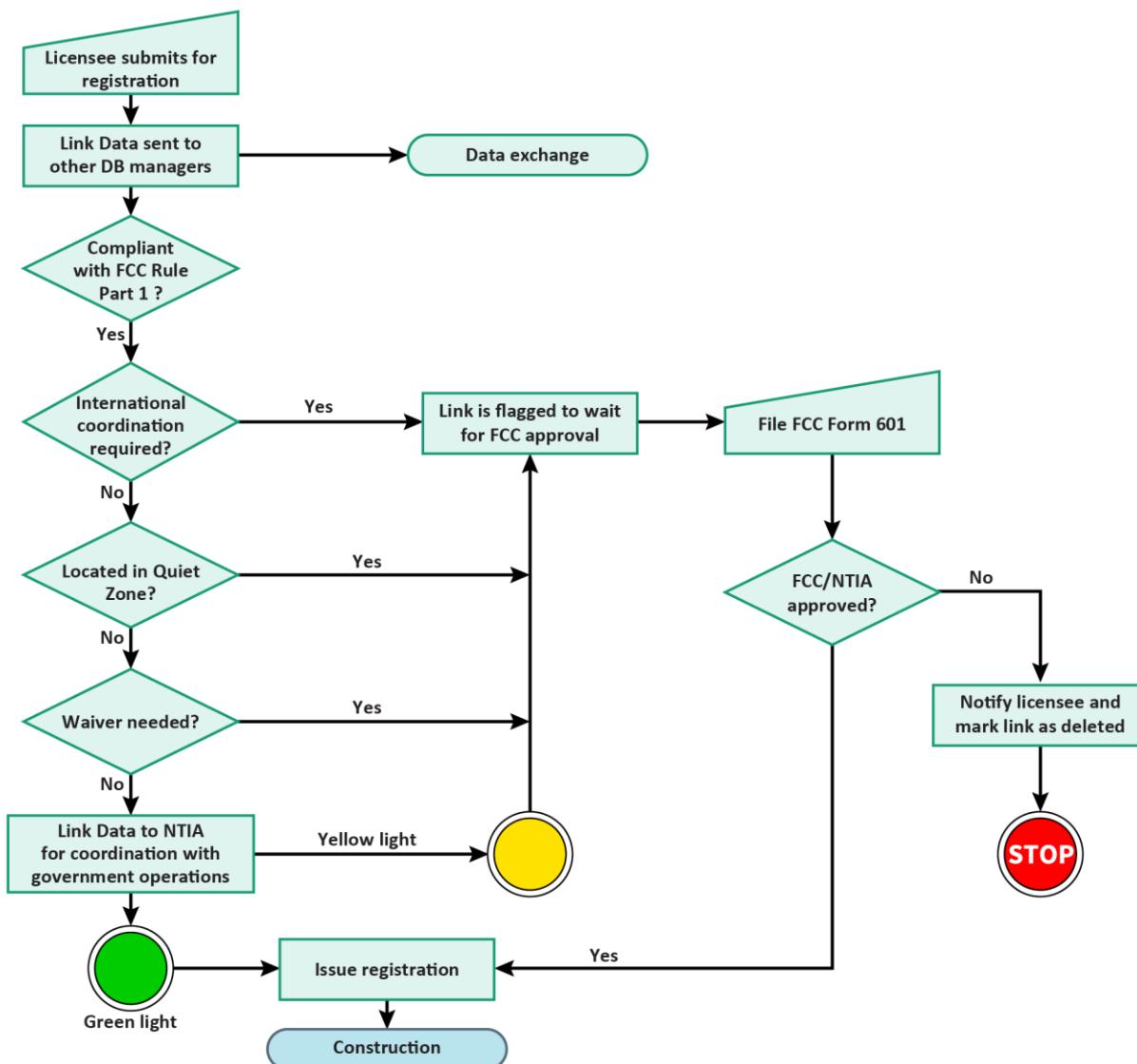


Figure 7: The 70/80/90 GHz link registration and database coordination process interconnects with a U.S. government database to ensure no conflicts with military or other agency use of the band.⁴¹

As the FCC noted at the time, in millimeter wave bands the highly-directional “pencil-beam” signal characteristics of PtP links “permit systems in those bands to be engineered in close proximity without causing harmful interference.”⁴² The FCC concluded this obviated the need for the traditional PtP frequency coordination process described just above. Instead, the FCC adopted a light-licensing framework coordinated by competing private database managers. Users apply for a non-exclusive, nationwide license to locate links, on a first-in basis, using any of the 12.9 GHz allocated for commercial use.⁴³ The three coordinators compete and can also provide additional services such as link design, prior coordination and interference analyses.⁴⁴

To register a link, a licensee uses an online portal to enter the latitude/longitude and other required parameters. The frequency coordinator verifies that the proposed link path will not interfere with other registered users. Although the process is streamlined, because of the need to protect Federal

Government operations – including classified systems – the FCC requires that the authorized database operators prior-coordinate with Federal users through a separate, non-public database.⁴⁵ The National Telecommunications and Information Administration (NTIA), the government’s Federal spectrum manager, maintains an automated coordination database of Federal assignments on the band. When there is a request for a new commercial link, the database coordinator first checks the requested path for non-interference with non-Federal links. The database coordinator then relays the request to NTIA’s database and receives approval, denial, or a hold for further consideration via an automated “green light, yellow light, red light” process (see illustration just above).⁴⁶

In contrast, the UK ultimately adopted a very different “mixed management approach” for E-band frequencies 71-76 GHz and 81-86 GHz. The lower half of each band is coordinated in a traditional, link-by-link process by the agency itself, while the top half of each band is self-coordinated (light licensing) by operators that are obligated to do their own interference analysis and negotiate over any resulting interference issues.⁴⁷ Both approaches are essentially the manual-but-database-assisted process used for PtP links in C-band and other frequencies. Australia, Russia and Czechia have adopted the “light licensing” approach to the E-band, although these are generally based on self-coordination and first-in registration, similar to the UK’s framework for the upper half of each band.⁴⁸ India’s TRAI has recommended an online registration process with “[r]esponsibility for interference analysis rest[ing] with the licensee, who needs to check the WPC link database prior to link registration (links should be protected on a “first come, first served” basis).”⁴⁹

Licensed Shared Access

The European experiment with Licensed Shared Access (LSA) is another database-assisted model that facilitates two-tier sharing between primary and secondary licensees. In this model, targeted initially at the 2.3-2.4 GHz band, the NRA plays a direct role in managing the database of information by which primary and secondary licensees share the band.⁵⁰ Unlike any of the band-sharing models implemented to date in the U.S., the European framework for LSA is contingent on the agreement of both the incumbent and of the Mobile/Fixed Communications Network (MFCN) operator to the conditions of use of the spectrum.⁵¹ Since LSA is explicitly aimed at facilitating carrier-deployed LTE, both the primary and secondary licensee retain exclusive rights over fairly wide geographic areas. LSA can be considered to be a database-assisted secondary markets mechanism.

The European framework presumes that the NRA creates and operates a Licensed Shared Access Repository (LR) database that provides a common database of information on the terms of sharing and the incumbent locations, operating parameters and other data needed by each LSA licensee. Each LSA licensee operates a proprietary LSA Controller within its own network, interfacing with the Repository. The LSA Controller, which is internal to the carrier’s network, must check in periodically and report the status of its use, allowing the NRA’s Repository to verify non-interference and ongoing compliance with the sharing agreement.⁵²

LSA’s two-tier and exclusively-licensed framework is very different from the automated frequency coordination databases adopted in the U.S. to enable open shared access to unused capacity in the TV broadcast and U.S. Navy bands (described below). The centralized repository facilitates secondary and exclusive-use access to unused spectrum only to the extent the incumbent agrees to share. “In LSA, the incumbent controls the availability and sharing terms of the sharable spectrum,” whereas in the U.S. models for automated frequency coordination, “the government regulator

mandates the availability and terms of sharable spectrum” and thus “shares all spectrum by default.”⁵³

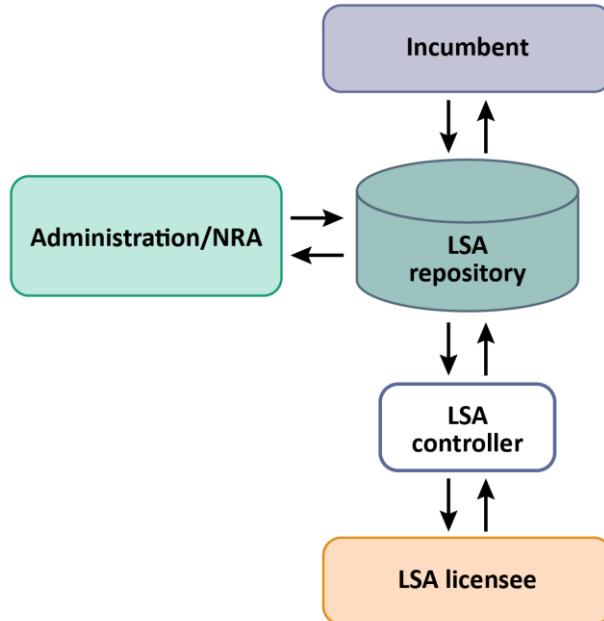


Figure 8: LSA functional blocks and interactions (Source: ECC Report 205)

C. Automated Database Frequency Coordination: TV White Space

The first fully automated frequency coordination (AFC) systems facilitate unlicensed access to vacant TV band channels, unused spectrum known as TV White Space (TVWS). Rules governing database-coordinated access to TVWS were finalized first in 2010 by the FCC, but have been adopted by a growing list of countries. The UK, South Korea and Singapore have working systems managed, as in the U.S., by one or more automated geolocation database operators. South Africa adopted rules in March 2018 and is in the implementation process. Malawi, Ghana and Mozambique had draft TVWS regulations under review as of mid-2018.⁵⁴ And more than a dozen other countries have hosted successful TVWS pilots, most enhancing broadband connectivity to schools and in rural areas, including in Colombia, Taiwan, Jamaica, Namibia, Kenya, Tanzania, Trinidad and Tobago, and the Philippines.⁵⁵ Many of these initiatives have been assisted by the *Model Rules and Regulations for the Use of Television White Spaces* made available by the Dynamic Spectrum Alliance and its members.⁵⁶

As AFC systems, TV Bands Databases (TVDBs) are a direct illustration of the point emphasized at the top of this report: TVDBs do nothing more than automate the process of manual spectrum coordination. This automation speeds access, lowers costs, facilitates intensive use, better protects incumbent licensees (broadcast stations and wireless microphones, most commonly), and accounts quickly for changes in their use of the band. It is particularly straightforward in the TV bands, where incumbent stations are fixed and their operating parameters are well known. Because the

incumbent ecosystem is mostly static (fixed), the outcome of a secondary user's request to transmit is pre-computable, which means outputs from the calculation engine can be verified for any location in advance by the regulator. What's added is automation, allowing for near-real-time and very granular assignments at low cost and with consistent accuracy. This is somewhat complicated on TV channels that are shared as well by licensed wireless microphones (e.g., in the U.S. and U.K.), which are intermittent and can be mobile. The U.S. rules permit licensed microphone operators to use a TVDB online portal to reserve channels, for specific times and places.

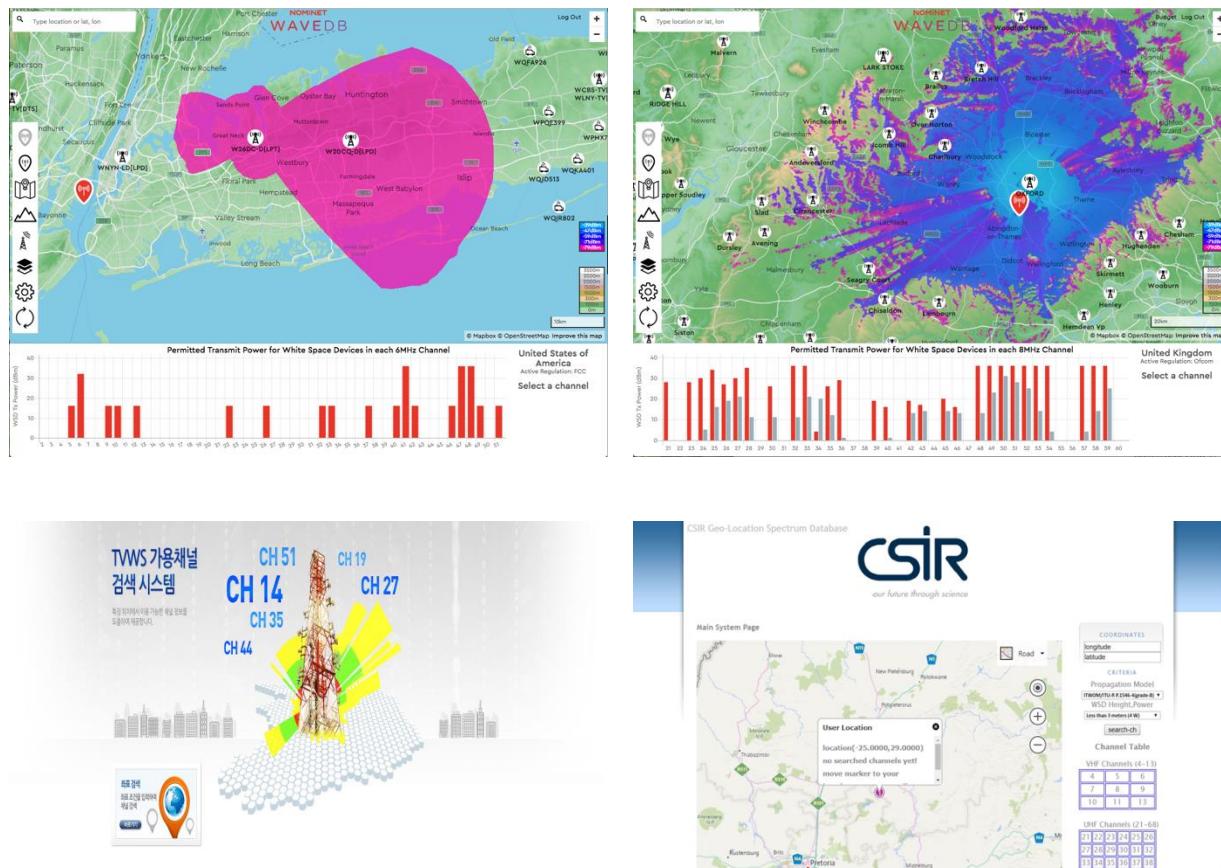


Figure 9: USA (top-left), UK (top-right), and South Korea's TVDBs (bottom-left) are operational; South Africa (bottom-right) finalized TVWS rules in 2018.

As the schematic just below illustrates, TVDBs ingest incumbent licensing data, including geolocation and operating parameters, and calculate vacant channel availability, as well as allowed power levels. In the U.S. this incumbent protection data includes "reservations" of scheduled activity provided via an online portal by licensed wireless microphones, which typically operate intermittently (for example, at major public events).⁵⁷ In this sense, the TVDB manages a three-tier system of sharing, at least in the U.S. and U.K. where licensed PMSE users (microphones) have priority access in relation to unlicensed device.

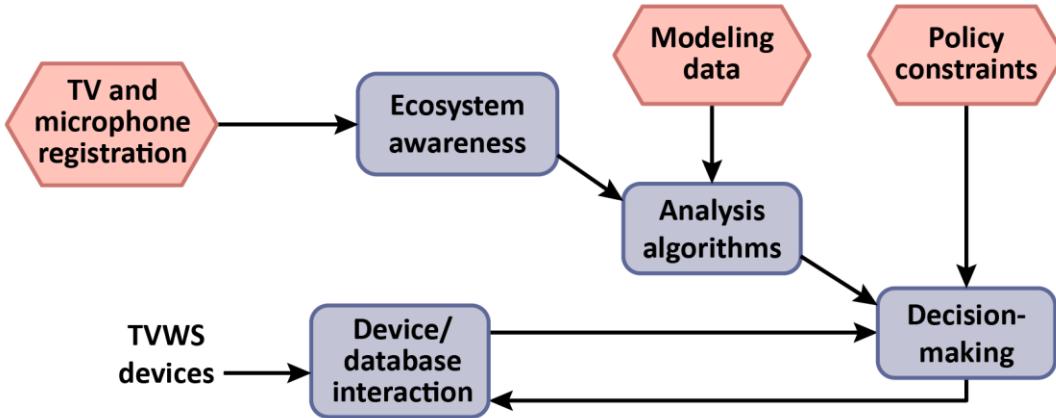
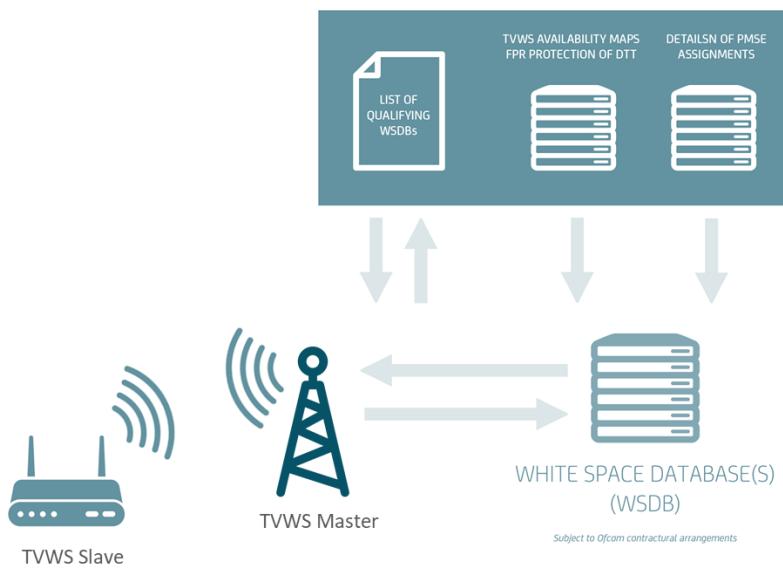


Fig 10: Simplified admission control system architecture for Television Whitespace Database (TVDB).

TV White Space devices (WSDs) are required to access a database server at least once per day (under U.S. rules, but in the U.K. every 15 minutes) or if the device changes location. The device receives a list of available channels and the maximum allowed transmit power (which is in part a function of frequency separation from local broadcast stations). In the U.S. case, TV viewers are protected within standardized and static contours calculated using the relatively simple and very conservative (both unrealistic and often overly protective) FCC Curve propagation model that considers only the average height of terrain in a given direction, while taking no specific account of basic geographic features (e.g., mountains, lakes), nor of trees, buildings or other “clutter” that more sophisticated GIS models use. Ofcom’s TVWS rules, promulgated later and with the benefit of more granular pixel-based simulations of TV signal strength, permits more accurate database calculations and hence both more bandwidth for WSDs and more protection for viewers. Neither Ofcom nor the FCC databases take account of terrain in protecting PMSE.

Although TVDBs fully automate coordination, a few significant features both simplify their implementation and distinguish them from the sort of dynamic and/or three-tier database coordination system described just below (the U.S. Citizens Broadband Radio Service). First, and most obviously, automated frequency coordination in the TV bands is two-tiered; all shared-access users have the same license-exempt status, meaning they have no rights to interference protection vis-à-vis other shared-access users. And where only TV signals need protection (and no secondary users, such as wireless microphones, have “priority access”) incumbent stations are entirely fixed and so the calculation engine’s output of available channels for unlicensed use is entirely predictable.

Second, and relatedly, the TVDBs provide no coexistence management services, at least none that are automatic or a mandatory feature of the assignment process. Like any other conventional unlicensed band, coexistence is left to voluntary, self-coordination among users or, if the regulator consents, to be offered as a value-added service by one (or more) of the TVDB operators. Interestingly, the earliest value-added services offered by one of the competing TVDBs in the U.S. (Spectrum Bridge), leveraged the database to allow wireless microphone operators to readily determine which channels were most free from potential interference (not only from unlicensed WSDs, but from nearby TV stations as well).



SOURCE: OFCOM

Figure 11: OFCOM's architecture for Television Whitespace Database (TVDB).

Finally, TVDBs do not consider aggregate interference when computing the channels and power levels available to each device seeking unlicensed access. The interference calculation is entirely static and one-to-one; either the WSD – adjusted for power, bandwidth and height above ground level – is outside the protection contour of a local TV station (or registered wireless microphone system) or it is not. In other words, permission for a new WSD to operate does not depend on the proximity or channel selection of other WSDs previously admitted to the band. While this simplification might be a positive feature in some bands, in the TV bands it's in fact grossly over-protective and leaves useable spectrum fallow. As Preston Marshall explains in his book on three-tier sharing, in a band where the risk to incumbents derives primarily from aggregate interference, such a one-on-one interference calculation "means that the limits on power must reflect the possibility that a large number of nodes might be located in the vicinity of any one receiver, regardless of where they actually were located."⁵⁸ The inability of the TVDB to manage interference dynamically results in a maximum power per WSD "based on an estimate of worst-case density."⁵⁹

D. Dynamic Coordination Databases: The CBRS Spectrum Access System

In 2015, a unanimous FCC adopted a new Citizens Broadband Radio Service (CBRS) to coordinate new licensed and opportunistic (unlicensed) access to unused spectrum in the 3550-3700 MHz band. The CBRS rules authorize the certification of competing frequency coordination systems – called Spectrum Access Systems (SAS) – to govern a dynamic framework for spectrum sharing among a three-tier hierarchy of users: incumbent licensees (U.S. Navy radar), Priority Access Licenses (PALs), and opportunistic (effectively unlicensed) General Authorized Access (GAA) users. The SAS is responsible for ensuring incumbent services are fully protected from interference and that PAL operators are similarly protected from GAA users.

The GAA tier is effectively unlicensed, although the SAS strives to optimize coexistence among users. The lower 70 MHz of the band are assigned dynamically based on seven PALs (each license is for 10 MHz), while GAA users can operate band-wide. GAA users can operate throughout the entire 150 megahertz of the 3.5 GHz band on any frequencies not in use by PALs or by the Navy. Multiple SAS operators are currently in the final stages of certification, which will allow CBRS to be at least partly operational by mid-2019.

For the first time, CBRS offered *interference-protected spectrum* to “a wide variety of users, deployment models, and business cases, including some solutions to market needs not adequately served by our conventional licensed or unlicensed rules,” the FCC stated, including small rural ISPs, enterprise and industrial users.⁶⁰ As the *CBRS Order* stated, the regulator’s intention was to make a combination of licensed and unlicensed spectrum available on a targeted basis to thousands of potential network operators, including rural ISPs, private “neutral host” LTE networks, office complexes, factories customizing machine-to-machine networks, utilities, airports, shopping malls, sporting arenas, and college and other campuses. With direct and affordable access to spectrum, enterprises and venues can deploy localized networks, including connectivity solutions customized and deployed by end users themselves, much as Wi-Fi is today.

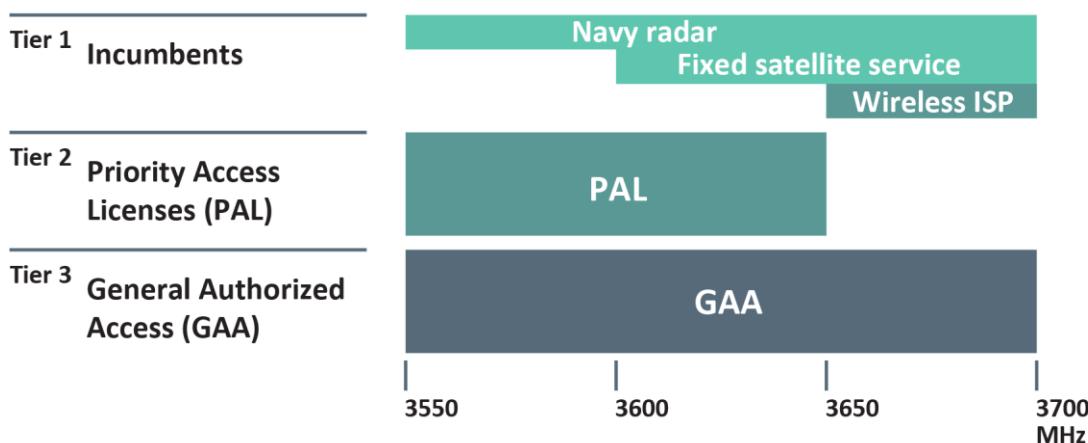


Figure 12: Three-tier coordination in the 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service.

The primary band incumbent is U.S. Navy radar operating primarily on ships that periodically come in and out of ports and naval bases, or pass close enough to the U.S. coastline that the noise floor in the band (aggregate interference) is an operational concern for the military. As the illustration just above indicates, other incumbents include a small number of FSS earth stations and temporarily grandfathered fixed-wireless networks. CBRS devices (CBSDs) are required to continuously request permission (a “heartbeat”) to continue operating under their current channel assignment. These short-interval grants allow the coordination system to be sufficiently dynamic to protect Navy radar, which are mobile. The SAS awareness of Navy radar, in turn, is assisted by an Environmental Sensing Capability (ESC), which will rely on a network of spectrum sensors along the U.S. coastline.

The dynamic nature of the SAS coordination framework is unprecedented in a number of critical respects:

- ***Three-tier sharing hierarchy***

The FCC decided, for the first time, to offer both interference-protected access (PALs, which are auctioned) and opportunistic access (GAA) in the same band. As noted, there is a hierarchy of protection: The SAS protects incumbents against all shared-access users and it protects actual PAL deployments from GAA users. Devices (whether for PAL or GAA use) must be capable of operating across the entire 150 megahertz, a requirement critical to this and other dynamic features highlighted here. The SAS can accommodate the enormous potential scale of access points – and efficient spectrum re-use – inherent in a low-power, small cell band that is in demand by both mobile carriers (for network densification) and a wide range of other industries, rural ISPs, indoor/outdoor venues (hotels, sporting arenas, office buildings) and industrial users (for IoT applications).

- ***Sensing network inputs***

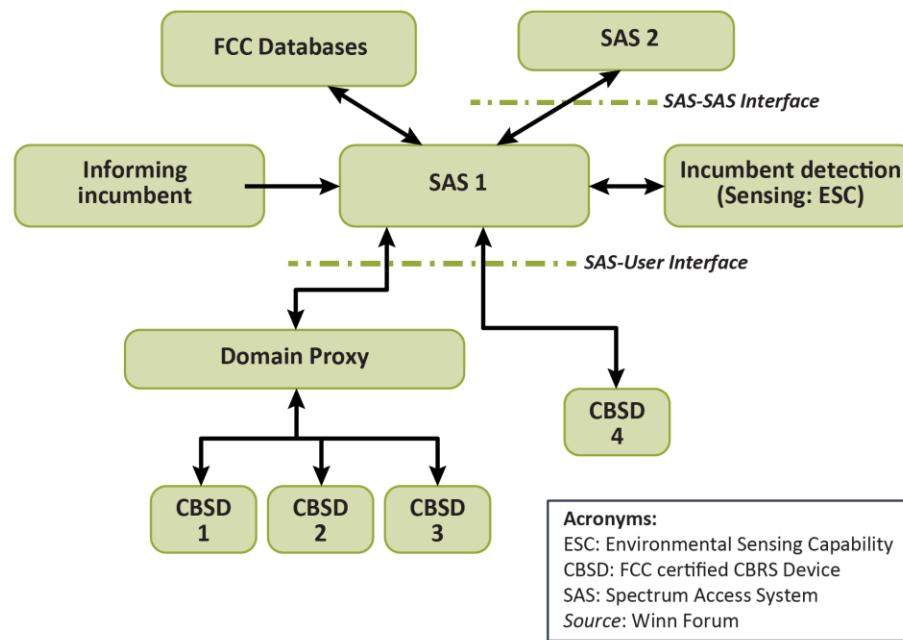


Figure 13: CBRS conceptual framework.

The ESC, a coastal network of spectrum sensors, provides real-time awareness of naval radar. Each sensor is associated with a large and fixed geographic protection zone and relays sensing data to the SAS. Notably, the military has been open to sharing the band, subject to SAS control and sensing, despite concerns about a higher noise floor and revealing ship locations. To address security concerns, the CBRS framework “obscures the actual location of naval radar, at the price of . . . excluding more area than necessary to ensure protection.”⁶¹ Device authorizations expire after 300 seconds, which is the required interval from Navy radar detection by the ESC to channel shut down by the SAS (and all devices on the channel within 60 seconds). Security is maintained by requiring that the SAS must verify the certification status of reporting ESC sensors.⁶²

- ***Dynamic interference protection***

As noted in the section above, TVWS database coordination is a static, one-to-one calculation. If the device is not interfering with a TV station or licensed microphone, it is authorized. In contrast, a dynamic frequency coordination system like the SAS takes account of the fact that the “[a]dmision of nodes into the ecosystem changes the entry conditions for future entrants.”⁶³ Each SAS, as they synchronize, is updated to take account of each new grant or termination of permission to transmit. Of course, the coordination database for 70/80/90 GHz described above has this same feature, since each newly approved PtP link path changes the calculation for future requests in that area. The SAS takes this concept to scale and applies it to monitor and address changes in the spectral environment over time. Significantly, this gives a SAS the capability to manage aggregate interference by geography and to optimize coexistence among GAA users.

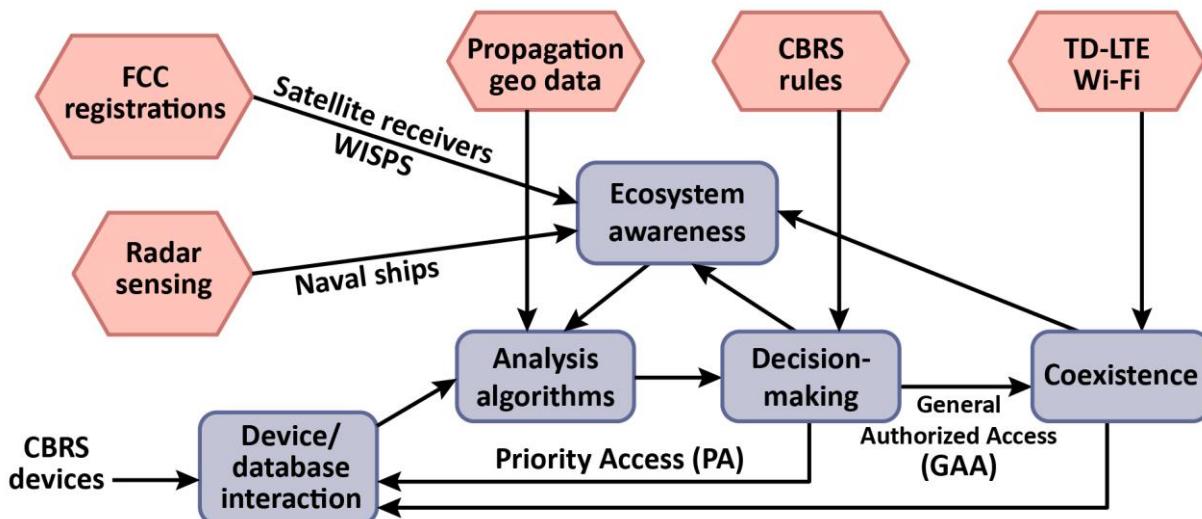


Figure 14: Admission control system architecture for three-tier, FCC-certified Spectrum Access System.

- ***Opportunistic access to all unused capacity***

Because each SAS has a “map” of all deployments on the seven PAL channels, it can facilitate opportunistic GAA use of vacant PAL spectrum in discrete geographic areas on a “use-it-or-share-it” basis. In the CBRS band, licenses (PALs) ensure interference protection for deployed nodes, but confer no right to exclude opportunistic users (GAA) when and where the spectrum is not in use. This discourages spectrum warehousing and ensures the band is used as intensively as possible, which is particularly important for rural and other less densely-populated areas where PALs may not be fully built out. Each PAL access point declares (or assigned by default) a PAL Protection Area (PPA). The SAS ensures that the aggregate interference at the PPA boundary from other PAL and GAA use does not exceed a set harm threshold.⁶⁴ While PALs are limited to seven 10-MHz channels, GAA is authorized across the entire band (150 MHz). When a PAL holder activates a new deployment, any current GAA authorization within the node’s PPA is terminated.

- ***Coexistence optimization to enhance QOS***

Because the SAS has awareness of the transmit power, bandwidth and other characteristics of each device authorized to operate in a local area, it can make assignments to GAA users that optimize performance and minimize mutual interference. As Marshall has observed, this “can provide more confidence that a reasonable level of service can be assured . . . and minimize any ‘gamesmanship’ in the use of the spectrum.”⁶⁵ This is very different from self-coordination in a traditional Wi-Fi band, where coexistence is built into the listen-before-talk capability of devices; and different from TVWS database coordination, where users are given a list of available channels, but must self-coordinate in relation to other unlicensed users (none of which are assigned to a specific channel based on optimization criteria). For example, if there is 80 MHz available for GAA locally, and two users request 40 MHz each, the SAS can optimize by assigning one 3620-3660 MHz and the other 3660-3700 MHz. Further, if one of those users has two PAL channels, the SAS can (barring other considerations) assign a contiguous 60 megahertz to that user (from 3600 to 3660 MHz).

3. The Benefits of Automated Frequency Coordination

AFC systems yield substantial benefits to industry, regulators and consumers alike. Compared to manual or even database-assisted coordination, automated frequency coordination speeds access to spectrum, promotes more intensive use, better protects incumbent licensees, lowers costs for both operators and NRAs, ensures consistent outcomes, accounts quickly for changes in use of the band or changes in the NRA’s rules, monitors spectrum use, and can assist the NRA in both ex ante and ex post enforcement actions.

A. Benefits to industry, consumers and the economy

i. Expands spectrum capacity and efficiency to meet surging demand

Wireless connectivity is, like electricity, a critical input to most other economic activity and rapidly becoming even more pervasive. Demand for both mobile and fixed wireless data is surging while in most nations there are few if any desirable spectrum bands not already assigned and in use for a wide variety of private and public purposes. Total Internet traffic is both increasing substantially each year and shifting disproportionately to wireless devices. As the chart below indicates, Cisco’s ongoing global survey forecasts continued year-over-year growth of 30 percent, with nearly 80 percent of all internet data traffic flowing over mobile (22 percent) or Wi-Fi networks (57 percent) by 2022.⁶⁶ Globally, Cisco projects there will be nearly 549 million public Wi-Fi hotspots by 2022, up from 124 million hotspots in 2017, a fourfold increase.⁶⁷

As a result, industry studies project daunting deficits in the availability of both licensed and unlicensed spectrum. A study commissioned by the Wi-Fi Alliance projects a shortfall of between 500 MHz and 1 GHz of unlicensed spectrum by 2025,⁶⁸ while a report by CTIA, the U.S. wireless industry association, notes that “wireless traffic per site ‘is projected to grow by an adjusted 343 percent’ – all of which additional spectrum must be ready to absorb.”⁶⁹ While wide swaths of spectrum are being reallocated in the millimeter wave bands above 24 GHz, the more valuable mid-

and low-band spectrum bands are all assigned and occupied by a wide variety of vital operations in most countries. Even in bands where incumbents can be relocated, in the U.S. clearing a band for reallocation and assignment by auction has taken an average 8.4 years -- and 13 years for re-allocated spectrum to actually be deployed for exclusive mobile use.⁷⁰

Although most demand has focused on mobile carrier networks and Wi-Fi use indoors, the growth of fixed-wireless networks is another driver of demand that is also critical to extending high-speed Internet access in rural and other less densely-populated areas where trenching fiber to the home or business is uneconomic. Outdoor PtP and PtMP deployments in unlicensed and shared bands are becoming increasingly critical to support 5G applications at reasonable costs. In the U.S., the number of fixed-wireless subscribers is projected to double to 8 million by 2021, compared to 2016, with core industry revenues nearly doubling from \$2.3 billion to more than \$5.2 billion.⁷¹ This does not even include hundreds of thousands of 5G fixed-wireless access points deployed by mobile carriers on their own licensed spectrum.⁷² However, despite the need for high-capacity PtMP in areas where wireline connections are inadequate or uneconomic, there is little if any low- or mid-band spectrum available except in bands where usage potentially can be coordinated with incumbents (such as FSS licensees) that can be protected from interference.

Spectrum band sharing – and an automated frequency coordination process to avoid interference to incumbent licensees – is therefore a critical tool that yields important benefits to industry, consumers and the broader economy for several key reasons:

First, automated frequency coordination promotes more intensive and efficient use of the public resource. It is useful to keep in mind that, in general, it is spectrum *access* and not spectrum *capacity* that is scarce. Although many well-established uses of prime spectrum serve critical public needs – such as broadcasting, satellite video distribution, and military radar – only a fraction of the overall data-carrying capacity of many bands is being used on a frequency, geographic, directional or temporal basis. Automated frequency coordination benefits the ecosystem and economy overall by enabling greater spectrum re-use while avoiding interference.

Second, relative to the surging demand for wireless data, leveraging AFC systems to unlock dormant capacity, while avoiding interference to incumbents, is the closest thing there is to a spectrum ‘free lunch’ for businesses and consumers seeking connectivity at low cost. Freeing up bandwidth keeps the cost of wireless connectivity more affordable, which increases consumer welfare both directly (more data for a given price) and indirectly by enhancing the productivity of businesses that rely on wireless data. Current examples include cloud-based services, which for mobile applications require both near-ubiquitous connections and relatively inexpensive data allowances.

Third, advances in dynamic frequency coordination offer far greater potential to make bandwidth abundant. Most spectrum coordination and sharing to date have focused on coordinating the local use of vacant spectrum. However, as frequency coordination databases become dynamic, advances in complementary technologies and techniques give regulators the option to greatly enhance these efficiencies. As discussed in more detail below (Section 5), coordination databases that incorporate real-world details on terrain, clutter (trees, buildings), and other GIS data sets that obviate the need for worst-case assumptions about interference will enable far more intensive spectrum use. An AFC system can also, for many bands, be enhanced with real-time inputs from spectrum sensing networks and/or devices that crowdsource awareness of the local spectrum environment.

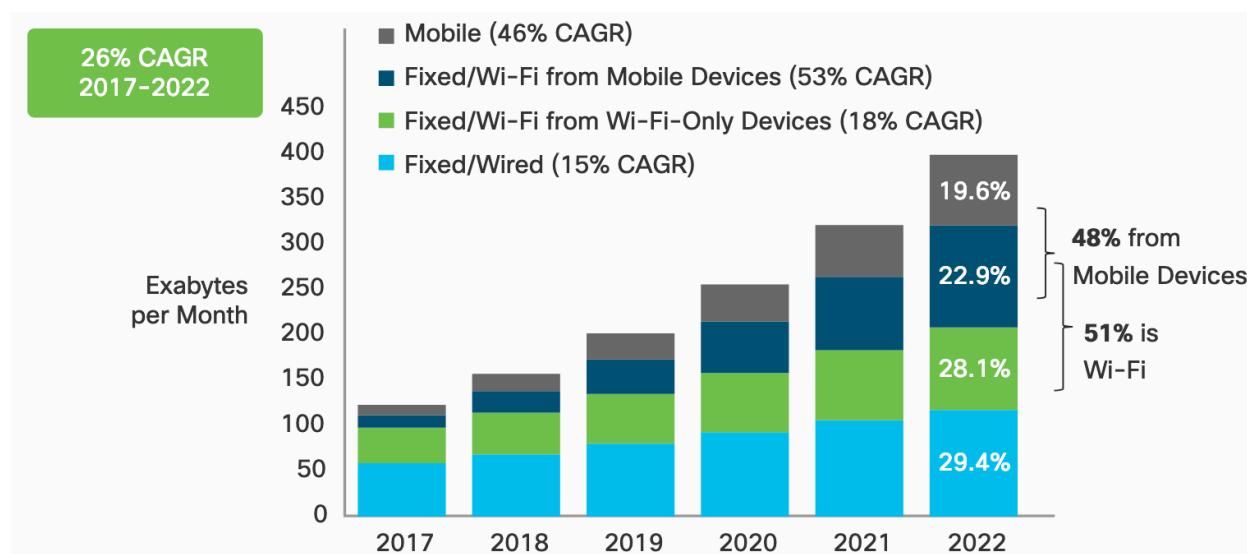


Figure 15: While Internet traffic continues to grow rapidly, compound annual growth rates (CAGR) are highest for Wi-Fi connectivity on mobile devices.⁷³

ii. Protects incumbent operations from interference

A basic principle of dynamic spectrum sharing is that the coordination process should have little if any impact on incumbent systems. Accordingly, a foundational benefit of automated frequency coordination is the consistent *ex ante* protection of incumbent operations, as well as the ability to remediate any interference that does result. As Google's Preston Marshall describes it, the focus of dynamic frequency coordination is the "prediction, and avoidance, of possible interference, rather than detecting and mitigating the condition."⁷⁴ The starting assumption is that incumbent users "are not required to develop new functionality to report status to an admission control system, but either statically declare their positions and characteristics, or are dynamically detected."⁷⁵ Of course, database coordination is dependent on an accurate reporting of receiver locations and characteristics except in situations (such as Navy radars in CBRS) where spectrum sensing supplies a proxy for that licensing information to the database.⁷⁶

So long as the rules require – and the automated database system enforces – non-interference to incumbent operations, there is little if any cost to incumbents. Incumbents are not necessarily restricted from expanding or changing their location or frequency use, as they would be with a grandfathering approach. In the case of TVWS, for example, the use of an automated database (TVDB) not only protects viewers of over-the-air TV, but it also almost instantly accommodates any future licensing of new TV stations, or the movement of a station from one channel or tower siting to another. More generally, radio propagation modeling is well-established and rapidly becoming more granular as very detailed GIS data on terrain, clutter and other factors enhance the algorithms used by spectrum databases to enforce compliance with interference protection rules.

Primacy in a shared band is particularly valuable for incumbents in a low-value, declining, or less-intensively used band, where continued underutilization of the spectrum may be politically or economically unsustainable. For example, when the U.S. Congress required an auction of the 700 MHz band, TV stations were cleared from the band and relocated below 698 MHz. While the relocation of incumbents remains a viable option in some bands, in others sharing – and particularly the sort of intensive sharing enabled by automated frequency coordination – obviates

the argument that the band is underutilized.⁷⁷ In the case of CBRS, the U.S. Navy and military more broadly shifted from opposition to general support for band sharing using dynamic databases (coupled with sensing to protect U.S. Navy ships) as they felt increasing pressure to relocate or to compress operations into less spectrum, which they viewed as more expensive and disruptive alternatives by comparison.

Of course, there is always some risk of failure in the coordination system, or in individual devices, that could create instances of harmful interference. While there never has been nor will be zero risk of interference, technical and regulatory trends are moving in parallel to both minimize and rapidly remediate such scenarios. One regulatory approach, adopted for TVWS and strengthened for CBRS, are requirements that users register the location and technical characteristics of every access point, that mobile devices not registered must be under the control of those APs, and that the permission to transmit must be renewed by the database at defined intervals, allowing any user or device to be shut down quickly. Another approach, incorporated in the CBRS rules, allows satellite operators in the adjacent 3700-4200 MHz band to report any out-of-band interference directly to SAS (database) administrators as a ‘backstop’ to the automated, ex ante process.⁷⁸

In short, unlike traditional unlicensed sharing (e.g., among Wi-Fi users at 2.4 GHz), dynamic database enforcement permits regulators to revisit and revise the rules that apply to operation of the installed base of devices. The database provides the flexibility to amend protection criteria and algorithms, allowing regulators to respond to real-world experience and data over time without running the risk that devices are beyond recall.

iii. Lowers the cost of connectivity for providers

At the most general level, more spectrum re-use and bandwidth abundance lowers the cost of mobile and fixed wireless connectivity – for consumers and as an input to production for other industries. In addition to increasing the overall supply of spectrum – and reducing thereby the cost of bandwidth – automated coordination can lower the transaction costs and delays associated with more traditional mechanisms, including auctions, manual coordination and secondary market transactions.

As the wireless ecosystem transitions from a focus on wide-area *coverage* to a focus on localized *capacity*, the number of access points will increase by orders of magnitude. In higher frequency bands, where wide channels enable greater capacity – and particularly in shared access bands – the most intensive and efficient deployments will rely on small cells. In some bands this may result from a regulatory choice (as the U.S. FCC did with CBRS) or from operator choices based on propagation characteristics and the need to densify existing networks. For example, one Wall Street study of Verizon’s announcement in early 2018 that its initial ‘5G’ push would be to offer an additional 30 million homes gigabit-fast service using *fixed wireless* operating primarily on millimeter wave bands above 28 GHz would require more than 350,000 access points.⁷⁹ In shared bands, this scaling can only be achieved cost-effectively by an automated process that does not involve manual calculations, regulatory decision-making or politicking.

Lowering transaction costs for spectrum access should be expected to lower barriers of entry, thereby promoting competition, innovation and consumer choice. This benefit is magnified where automated frequency coordination facilitates low-cost access to valuable spectrum on a very localized and/or small-area basis, as described further below.

Another benefit of automated coordination closely associated with low transaction costs is a substantial reduction in deployment times, including the time-to-market for new innovation, coupled with an increase in operational flexibility. Traditionally, access to licensed spectrum has required either the large upfront capital investments that typify auctions,⁸⁰ or legions of lawyers and a long process to achieve a new frequency allocation, or a relatively expensive combination of manual coordination and regulatory fees on a site-by-site basis (e.g., for coordinating FS and FSS deployments). In contrast, an automated, flexible (dynamic) and very low-cost coordination process can facilitate a nimbler and more robust wireless ecosystem while lowering the costs of connectivity overall.

Finally, in addition to a core function of coordinating frequency access without disturbing incumbents, dynamic databases are likely to add additional, value-added services that can help users optimize quality of service, facilitate private secondary market transactions, recycle crowd-sourced spectrum sensing data, incorporate more detailed GIS data to enable even more intensive sharing, and facilitate other innovations that can result from a more dynamic, data-rich awareness of users and the environment. This is discussed further in Section 5 below.

iv. *Promotes direct spectrum access for innovation and productivity*

Dynamic databases are particularly useful for coordinating very localized access to unused spectrum capacity. The need to protect incumbent operations in shared bands typically means that spectrum will not be available over large geographies. Mobile carriers have resisted band sharing for this reason: their business models are based on very wide-area coverage and the efficiencies that flow from exclusive control of a band. As a result, any other enterprise seeking to deploy a network on a more localized or targeted basis has generally needed to either purchase a carrier-offered service or, more frequently, make do with unlicensed spectrum. However, where a band is allocated primarily for *capacity* (not wide-area coverage) – and particularly where incumbent licensees will retain primary status and require protection – coordinated sharing can best serve the public interest.

Automated frequency coordination, both by necessity (to protect incumbents) and by design (to promote more widespread access), has a greater ability to provide direct access to shared spectrum for a diverse range of business firms, small ISPs, critical infrastructure facilities, venues, public institutions and other entities. The advantage is that rural broadband, industrial IoT, private LTE networks, smart city applications, and other innovations can be piloted, customized and deployed on a *local basis* by the widest range of business firms and community anchor institutions.

The ability to rapidly and inexpensively coordinate spectrum access on a *local* and even *temporary* (or temporal) basis will be increasingly beneficial in a 5G/IoT economy where wireless data connectivity will be associated with virtually every system, venue and device – and where many thousands of firms and service providers will have needs and demands for customized networks. For example, while outdoor small cells may be the best use of coordinated access in the urban or suburban core, further out it may be backhaul, while the band could simultaneously support indoor, very low-power local area networks and use cases.⁸¹ The three-tier Citizens Band Radio Service, described above, is an example.

B. Benefits to Regulators: Automated Coordination and Enforcement

Automated frequency coordination systems are likely, over time, to allow NRAs to put far more spectrum capacity to use with little or no increase in agency resources. Dynamic database management can give regulators more control over band sharing, better enforcement tools, a greater ability to monitor usage, and the option to outsource technical development and operations to stakeholders – and all while retaining ultimate authority, regulatory flexibility and even the ability to collect fees.

i. An Automated and Scalable Admission and Enforcement Tool

Regulators can choose to create or authorize an automated frequency coordination system to do any or all of the following functions at scale and at low or no cost to the agency itself:

- *Collect, ingest and regularly update incumbent information from agency licensing records or as provided by NRA rules;*
- *Calculate protection contours and other algorithms by applying NRA rules;*
- *Verify that all registered device are certified in compliance with NRA rules;*
- *Register verified devices and networks, recording any required data on user identity, location, device type, operating parameters;*
- *Calculation engine: apply objective algorithms to grant or deny requests for permission to operate for whatever period of time is provided in NRA rules;⁸²*
- *Optimize coexistence among secondary users, if relevant, based on NRA rules;*
- *Collect any usage or regulatory fees authorized or required by the NRA;*
- *Capture data and report on actual use of the band, as well as any anomalies that may inform future regulatory action;⁸³*
- *Maintain the ability to identify and shut down a device or provider in cases of harmful interference or emergency;*
- *Dynamically adjust the device admission or operating parameters (in response, for example, to exceeding an aggregate interference threshold in a geographic area).*
- *Provide a portal for incumbents and/or users to report corrections or updates to licensing data, operating parameters, or to report incidents of interference.*

The growing need to accommodate burgeoning demand, smaller cell sizes, and more widespread deployments of local networks by a diverse range of users will push NRAs toward more sharing of underutilized bands. As this occurs, it becomes impractical for regulators to rely on manual coordination or to employ the staff necessary to shoulder all of the functions listed above. Even if possible, it's far faster and more cost-effective to rely on an automated system and focus agency resources on higher value-added activities.

Moreover, an automated frequency coordination system creates capabilities for monitoring and enforcement assistance that NRAs typically do not have, particularly with respect to shared bands. As the ECC advised in relation to TV band databases, NRAs can benefit from “requir[ing] specific interference management functions from the database.”⁸⁴ *ECC Report 236* notes that in the UK, Ofcom requires WSDB providers to incorporate an information system that allows Ofcom to “see the locations and channels used by WS devices at any point in time.” Ofcom also requires that WSDBs maintain a ‘kill switch’ function that enables the agency to “turn down any WS device within a short period of time” at the agency’s command.⁸⁵ In a band where a priority use requires a high degree of protection, these two features provide regulators with a level of visibility and control they currently do not have in relation to traditionally unlicensed bands.

Finally, it’s useful to distinguish the even more nuanced capability of dynamic AFC systems to optimize coexistence among users granted shared access to a band. For example, under U.S. rules for CBRS, users granted GAA are effectively unlicensed and not entitled to any interference protection. However, unlike unmanaged unlicensed bands, the SAS will make assignments using algorithms that attempt to optimize the coexistence of multiple GAA users, thereby accommodating the greatest amount of use of both the GAA segment of the band (80 MHz), as well as any locally-vacant channels in the licensed (PAL) portion on a use-it-or-share-it basis.⁸⁶ Indeed, because the frequency coordination system has awareness of the spectral environment in each location, in addition to simply deciding the legality of operation, it can minimize interference among all users (both licensed and unlicensed, depending on NRA rules).

ii. Coordination can be delegated while NRA retains authority

One of the great benefits of database-driven frequency coordination, from a regulator’s perspective, is that the coordination process can be outsourced while the NRA retains authority over the rules that are applied, including the option to amend them in the future. This approach maintains the NRA’s complete authority, conserves agency resources, promotes scalability and private sector innovation, and reduces the risk of regulatory failure. Taken further, as the FCC did after adopting the Citizens Band Radio Service, the design and operational details of the coordination system itself can be delegated to a multi-stakeholder group comprised of companies and individuals with the expertise and motivation to operationalize the high-level rules and goals adopted by the NRA.⁸⁷ Even if a NRA develops and operates an automated database process internally, this will still promote scalability, consistency and lower costs relative to a manual or case-by-case approach to coordinating assignments in shared bands.

In a report offering guidance for NRA implementation of a regulatory framework for TVWS geolocation database sharing, the EU’s ECC elaborates the pros and cons of three options for the provision of database coordination functions that are applicable to other bands as well:

- *The NRA develops and manages the database “much like an online licensing system.”*
- *The NRA outsources the operation to an agency contractor, specifying in detail the tasks the administrator will carry out.*
- *The NRA qualifies and authorizes commercial database providers that may compete and collect fees from users to offset their costs.⁸⁸*

The Report emphasizes that regulators can choose the framework that best fits their situation. It concludes that, where feasible, “[c]ompetition between database providers will be beneficial to end users, as it is likely to drive innovation and give users greater choice.”⁸⁹ The Report also concludes that although a monopoly database model “may have some efficiency benefits,” including a greater likelihood of recovering its costs, a “multiple providers model will have lower risk of regulatory failure in that the NRA would not be attempting to choose the only supplier for a nascent market.”⁹⁰

In the U.S., it’s notable that the FCC has shifted almost entirely to a framework of certifying competing commercial database operators to manage frequency coordination in shared bands. Although the agency has in the past authorized an industry association (e.g., the American Hospital Association) to coordinate shared use of medical telemetry spectrum among hospitals, more recently the Commission has authorized competing commercial database providers to coordinate shared access in the TVWS, CBRS and 70/80/90 microwave fixed link bands, as described above. In all cases, as ECC Report 236 emphasized, it is important to regulators that “devices get their operating parameters from a database that has calculated them according to the rules laid out by the NRA.”⁹¹

In addition to achieving scalability and consistency without depleting a NRA’s limited regulatory budget, the regulator can also minimize the time and cost of adopting rules and overseeing implementation by harnessing outside resources. At the front end, model rules may be available for a band that has already been pioneered by another country. For example, for TV White Space, the Dynamic Spectrum Alliance has published model rules that can easily be customized for local circumstances.⁹² This also promotes harmonization, allowing the country to benefit from economies of scale for devices, software and database systems. At time of writing they are in use in several countries for field trials and are expected to form the basis of the future regulations and coexistence frameworks of those countries.

Another strategy is to adopt high-level rules and encourage industry – including both incumbent and new entrant companies – to engage in a consensus process to develop and recommend more detailed implementation guidance for the new sharing framework. Like the NRA’s rules, the output from a multi-stakeholder process should be subject to the agency’s ultimate approval and as technology neutral as possible. The FCC leveraged this approach (organized through WIInnForum, a diverse industry group focused on spectrum sharing) to harness both expertise and consensus in the development of technical standards for the implementation of the SAS management of three-tiered sharing in CBRS.

iii. Gives regulators more visibility into and control over band sharing

A database-enabled coordination process can give regulators unique visibility into the usage of the band, allowing a NRA to choose to monitor or collect data on patterns of deployment, use cases, occupancy by geography, incidents of interference mitigation, or any number of other variables. Since experience with dynamic sharing remains limited, this visibility into the actual outcomes – combined with their authority to amend the rules and algorithms applied by database operators – should give regulators confidence that they can move ahead with robust sharing parameters and have both the insight and ability to adjust sharing criteria as needed. Dynamic database coordination also allows regulators to adopt incumbent protection criteria that are more service- and-technology neutral, allowing network operators or manufacturers (OEMs) greater flexibility to meet interference protection criteria (e.g., a ‘kill-switch’ capability or aggregate interference level) through varying and innovative techniques.

More generally, a database-driven AFC system that requires every device to periodically renew its authorization gives regulators the control and flexibility needed to change rules, band prioritizations and even band allocations without the deterrent of rendering devices or infrastructure obsolete. Rule and input changes (e.g., enhanced GIS data) can be implemented through software. So long as devices are required to be capable of automatically altering their power level and other operating parameters in response to the latest database authorization, regulators can adjust a band's spectral environment over time. Protection zones can be reduced or enlarged, aggregate interference limits can be capped, power limits or even time-of-day restrictions can be altered.

This ongoing control over band admission criteria and operating parameters can also be used to move over time from more conservative, over-protective limits on new uses to incorporating new data or technologies that enable more intensive use of the band. An example is a regulator's ability to incorporate more accurate GIS and location data over time. When the FCC initially certified TVDBs to manage access to vacant television channels, it defined static and uniform protection contours around TV transmitters using an over-simplified propagation model (FCC Curve) that only took average terrain height into account. The FCC also limited the maximum power of every device based on a worst-case assumption of device density (rather than allowing the TVDB to take into account actual density).⁹³ In contrast, a half-decade later Ofcom's rules enabled more intensive sharing by providing TVDBs with pixel-based data that provides far more accurate protection contours based on detailed propagation modeling that takes into account clutter (buildings, trees and other real-world path loss).

iv. Cost recovery

As noted just above, one key benefit of outsourcing frequency coordination to one or more commercial database operators is the NRA's ability to externalize the cost of managing shared access to the band. Presumably database operators would be authorized to collect "fee for service" revenue to offset costs and potentially make a profit. For example, the NRA could approve a schedule of usage fees that database operators would collect as a routine aspect of the registration and verification process. Although the nature of the fees could vary widely, and can be adjusted over time, it's perhaps most important for the NRA to minimize transaction costs.

Delegating frequency coordination to third-party administrators does not preclude government revenue, if desired. Whether or not the agency faces increased direct costs under the regulatory framework, the fee collected by the database service provider could also include a regulatory or spectrum usage fee. Although the downside of any fee is to deter productive use of the resource – which typically stimulates economic activity more broadly – a regulatory or user fee may be particularly appropriate where the band (or a portion of the band) would otherwise be auctioned. Since band coordinators can collect any needed fee year after year, AFCs can facilitate recurring revenue that could exceed auction revenue over time.

While it is generally efficient for end users to bear the cost, the ECC has observed that "in a license exempt regime, it would be difficult to charge individual end users,"⁹⁴ particularly if there is not an end-user device registration requirement. Even in that case, however, there are alternatives, such as limiting fees to network operators (e.g., based on the number of registered access points), or tying fees to device certification (e.g., require devices to be pre-registered in the database by OEMs or retailers). ECC Report 236 contains a useful discussion of options for a "charging framework" and six principles for cost recovery in the context of spectrum database management.⁹⁵

4. Looking Ahead: Database Coordinated Access to 5G Spectrum Bands

As Section 2 above detailed, the use of databases to coordinate frequency assignments in bands allocated for shared use is well established and emerging as a critical component of the wireless ecosystem. Exploding consumer demand for data-intense applications on mobile devices, coupled with the potential benefits of 5G and IoT, are motivating regulators to look at how dynamic spectrum sharing can unlock unused capacity in occupied-but-underutilized bands.

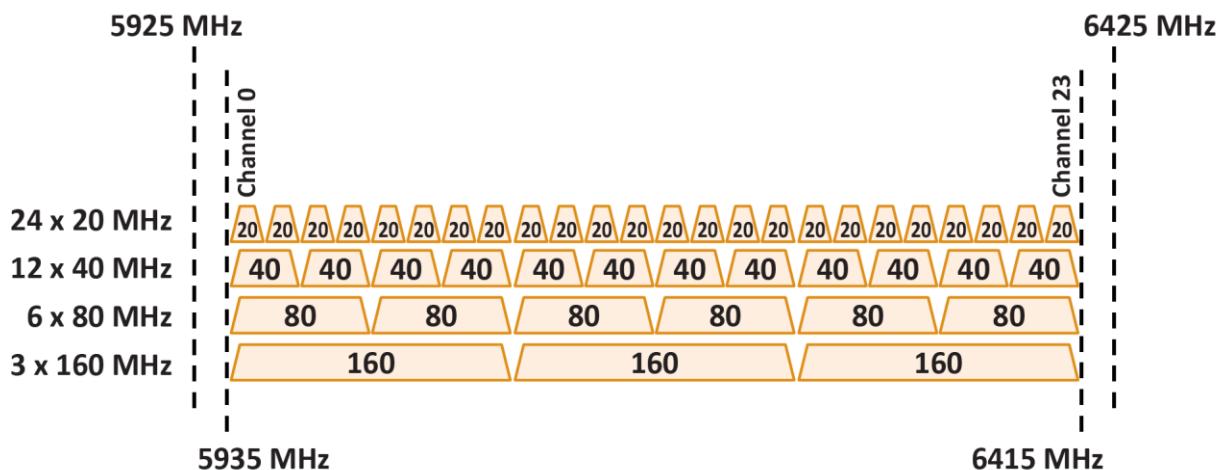


Figure 16: Proposed ECC band plan for license-exempt sharing of 5925-6425 MHz by RLANs.

This section highlights three bands under active consideration, in the U.S. and/or Europe, for sharing managed by automated frequency coordination systems, as well as the exploration of database-assisted sharing in satellite bands and particularly by NGSO satellite constellations.

A. Unlicensed Sharing Across the 6 GHz Bands (5925-7125 MHz)

The U.S. Federal Communications Commission adopted a Notice of Proposed Rulemaking (NPRM) in October 2018 that proposes to authorize unlicensed RLANs to coordinate shared use of four sub-bands (U-NII-5 to U-NII-8) that span the entirety of the 1,200 megahertz from 5925 to 7125 MHz. This sharing framework would specifically include the uplink portion of the conventional C-band (5925-6425 MHz) currently occupied both by FSS earth station uplinks and by more than 50,000 registered Fixed Service (FS) PtP microwave links. Although PtP links are high-power and directionally focused, the FCC's premise is that FS receivers can be protected from interference within a calculated three-dimensional protection contour. Unlicensed use of the 5925-6425 MHz and 6525-6875 MHz sub-bands will be subject to control by an automated frequency coordination (AFC) system, described further below, while unlicensed use of the other two sub-segments tentatively is proposed to be limited to lower-power and indoor-only use without the need for database coordination.⁹⁶

In Europe, an ECC Working Group (SE 45) has similarly received a mandate from the European Commission to "study [the] regulatory and technical feasibility of the introduction of WAS/RLANs

in the band 5925-6425 MHz, including an assessment of coexistence scenarios with band incumbents.”⁹⁷ The group’s work is ongoing and expected to produce a final draft report on sharing by May of 2019, followed by a public consultation and a final report scheduled by March of 2020.⁹⁸ The project enjoys extensive technology industry support. An in-depth whitepaper by DIGITALEUROPE, which represents leading technology companies, concludes that to meet the global need for additional license-exempt spectrum, “the 5925-6425 MHz frequency range [is] the most promising in terms of coverage, incumbent compatibility and sufficient contiguous wide channels” and should be pursued “outside of the WRC-19 process.”⁹⁹ The EC mandate observed that “[b]etween 500 MHz and 1 GHz of additional [license-exempt] spectrum in various world regions may be needed to support expected growth in WAS/RLAN usage by 2020. . . . [and] to support wide channels which are required for a growing number of applications which need a large bandwidth to achieve Gigabit speeds.”¹⁰⁰

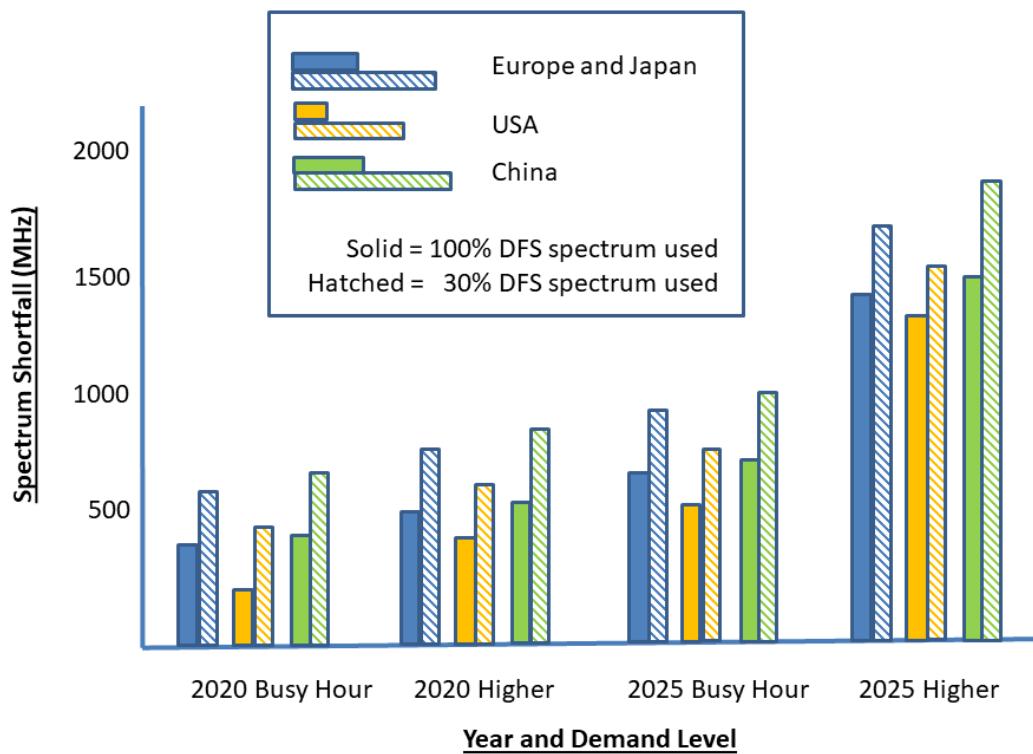


Figure 17: Illustration of the projected license-exempt spectrum shortfall per region, by year and demand level.¹⁰¹

In the U.S., the FCC has proposed to adopt a high-tech industry coalition framework that would authorize unlicensed sharing of the larger 5925 – 7125 MHz band subject to “comprehensive *ex ante* interference protection through an automated frequency coordination process that proactively prevents RLAN operation in situations where it could cause harmful interference” to incumbent FS or FSS operations.¹⁰² The FCC rulemaking proposes to permit outdoor RLAN master devices to operate in the band at “standard power” (same as under current U-NII-1 and U-NII-3 rules for the 5 GHz band) only if they are location aware and able to obtain a list of permissible channels of operation from an agency-designated AFC system. The FCC also proposes a class of lower-power and indoor-only devices that would not require database coordination. Indeed, a simulation study

submitted by the coalition suggests that even for outdoor RLANs, database coordination may only be needed to safeguard against interference to incumbent links in at most 1 in 500 cases.¹⁰³

Band (MHz)	Primary Allocations	Reference used in the NPRM ⁶³	Devices
5925-6425	Fixed Service FSS	U-NII-5	Standard-Power Access Point (subject to AFC)
6425-6525	Mobile Service FSS	U-NII-6	Low-Power Access Point (indoor only)
6525-6875	Fixed Service FSS	U-NII-7	Standard-Power Access Point (subject to AFC)
6875-7125	Fixed Service Mobile Service FSS ⁶⁴	U-NII-8	Low-Power Access Point (indoor only)

Figure 18: FCC Proposed Framework for Two Classes of Unlicensed Sharing Across 5925-7125 MHz.

Because the incumbent services in U-NII-5 and U-NII-7 bands are fixed, the FCC proposes to allow unlicensed use at standard power outdoors and indoors subject to an AFC system. The agency “envision[s] the AFC system to be a simple database that is easy to implement.”¹⁰⁴ Incumbent PtP microwave links and FSS earth stations are fixed, highly directional, and seldom change location or operating parameters. Like the TV Bands Database, the AFC “System Operator” is simply enforcing protection zones around static incumbent links based on incumbent-provided licensing data that will be continually updated. A grant to operate a Wi-Fi access point at a location is therefore a one-to-one calculation that is easily verified based on incumbent data.

Prior to transmitting, “standard-power access points [would] be required to obtain a list of permissible frequencies from an AFC system . . . or a list of prohibited frequencies in which it cannot operate.”¹⁰⁵ Further, the FCC states that “the AFC system must be designed to ensure that unlicensed operations protect new and modified licensed operations” and “periodically verify whether frequency availability has changed.”¹⁰⁶ Client devices (e.g., smartphones and IoT devices) will be permitted to operate across the entire band subject to control by compliant *Master* devices (e.g., routers or access points).¹⁰⁷

The image below illustrates the key elements of the AFC system architecture. The AFC system operator will regularly update information on incumbent receivers stored in databases maintained by the Commission, which it will use to automatically calculate and enforce protection contours sufficient to protect PtP links, denying requests to operate where the RLAN’s emissions exceed an interference threshold into any individual incumbent link. Automated frequency coordination allows incumbent services to add sites or modify their networks, since Commission databases will continue to be updated by incumbents as they do now and RLAN channel permissions expire automatically if not renewed within a period provided in the FCC’s rules.

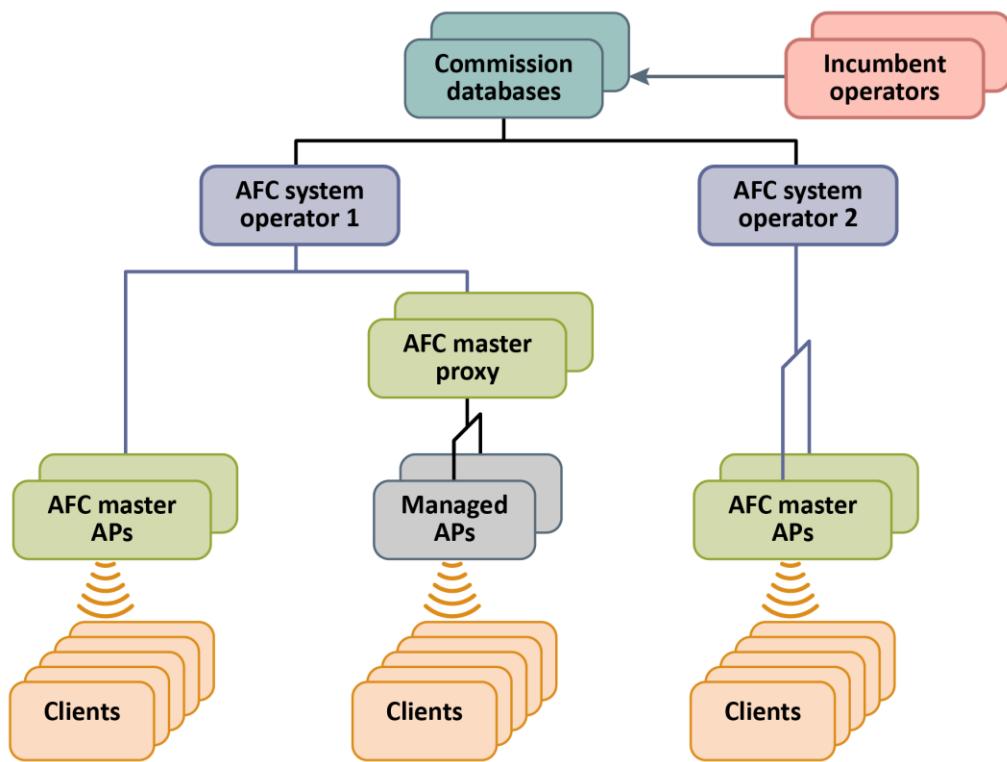


Figure 19: Simplified architecture for Automated Frequency Coordination in 6 GHz band.

The high-tech industry coalition proposal suggested that one or multiple *AFC System Operators* should be certified to calculate “protection contours for licensed systems based on applicable databases and identifies available frequencies for RLAN use.”¹⁰⁸ This process is illustrated in the diagram below. Under this proposal, three-dimensional protection contours would incorporate awareness of terrain and local ground clutter as well as the actual antenna in use by each incumbent receiver. Each *AFC Master Access Point (AP)* would be required to be aware of its geographic location and elevation and to certify the accuracy of the position fix as part of the equipment authorization process. This information will be shared securely with the AFC System Operator, which protects not only the AP itself but also all of its client devices by enforcing an operating service area around each AP. If any portion of the service radius or the location accuracy radius comes into contact with a 3D protection contour for any incumbent receiver then the frequency range used by the incumbent(s) will be disallowed for that AFC Master device.

Because the incumbent radios licensed in the 6 GHz band are fixed and change very infrequently, the coordination process for the 6 GHz band is expected to be simpler and more streamlined than the dynamic SAS used to coordinate sharing with Navy radar in the 3550-3700 MHz CBRS band, as described above. The AFC system implementation can also be lightweight because the new shared-access users will be unlicensed with no first-in rights or expectations of interference protection. The Commission’s response to multiple commenters in the Notice of Inquiry phase of the proceeding who raised concerns over the accuracy of the FCC databases is also worth noting: “[W]e believe that licensees have significant incentives to maintain the continued accuracy of data in ULS to ensure that they are protected from harmful interference. We also note that licensees have an obligation to keep their information filed with the Commission current and complete.”¹⁰⁹

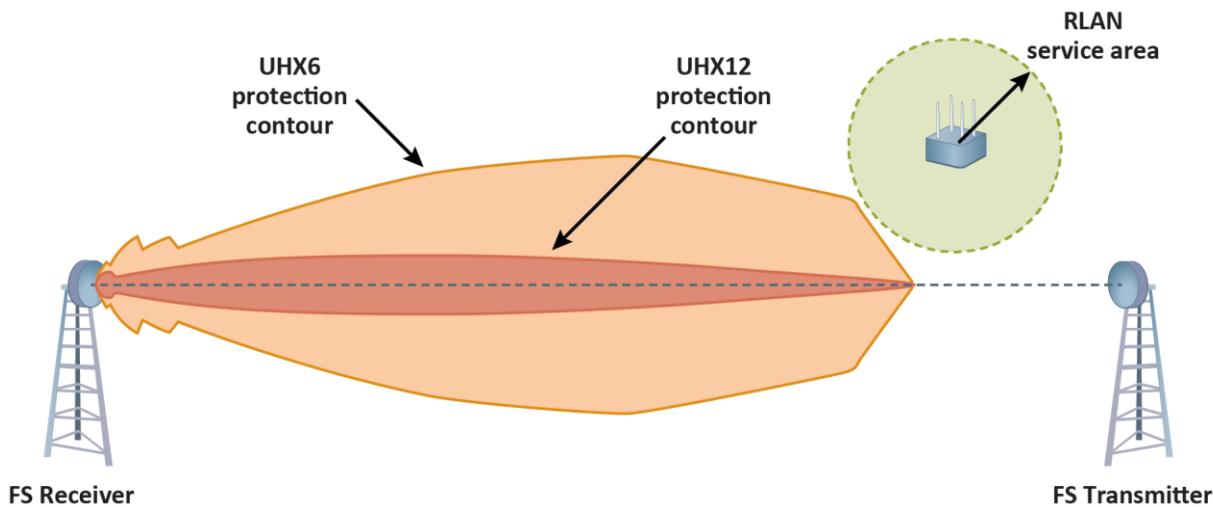


Figure 20: The AFC system enforces 3D Protection contours to avoid RLAN interference to Fixed Service receivers.¹¹⁰

B. Proposals for Opportunistic Coordination of PtMP and Mobile in the C-Band (3700-4200 MHz)

Both the FCC and Ofcom initiated proposed rulemakings during 2018 intended to authorize opportunistic, shared access to unused spectrum in the C-band. In the U.S., the 500 MHz between 3700 and 4200 MHz are at present dedicated almost exclusively to video and data downlinks used by more than 20,000 registered FSS earth stations, most of them receive-only. A Notice of Proposed Rulemaking (NPRM) adopted unanimously by the FCC in July 2018 proposes to authorize coordinated shared access by fixed wireless broadband operators to at least a portion of the C-band that will continue in use for FSS incumbents.¹¹¹ The Fixed Service is co-primary in the band, but barely over 100 PtP links have been coordinated due to a presumption that earth stations are protected over very large geographic areas for use of all 500 MHz across all visible satellite transponder slots (a “full-band, full-arc” protection policy adopted a half-century ago when spectrum above 3 GHz was considered plentiful).¹¹²

The FCC’s 3.7 GHz NPRM also proposes to clear at least the bottom portion of the band for exclusive mobile licensing, tentatively by authorizing private market negotiations between the three primary C-band satellite operators and interested mobile carriers. As the FCC’s band plan suggests (see just above), clearing would start with at least 100-200 MHz from the bottom up; whereas coordinated sharing by rural and other ISPs for local deployments of high-capacity, point-to-multipoint (PtMP) terrestrial broadband would be co-primary from the top of the band down. Tentatively PtMP could coordinate into 160 MHz up to as much as 320 MHz, depending in large part on the prospects for clearing FSS off the lower portion of the band, which is a FCC priority.¹¹³ Coexistence between PtMP and FSS is possible since, unlike mobile use, fixed PtMP is inherently directional and can be sectorized to share without interference to FSS earth stations.¹¹⁴

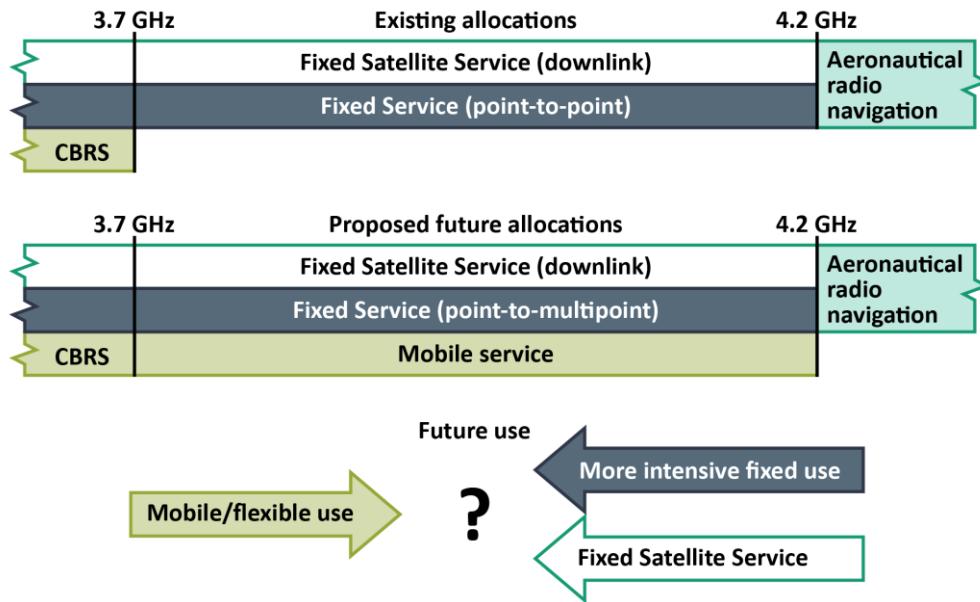


Figure 21: Existing and Proposed Future Allocations in the downlink C-band (3.7 - 4.2 GHz).

To make coordination possible, the FCC proposes to protect earth stations from interference for only those frequencies and antenna elevation angles they verify are in actual use, ending “full band, full arc” warehousing of vacant spectrum capacity.¹¹⁵ To that end, the 3.7 GHz NPRM proposes to protect only registered earth stations that provide the information necessary to coordinate shared access and to disclose actual use of specific transponders and corresponding frequency ranges by each individual antenna at earth station sites. The NPRM proposes to require earth stations to report for each antenna:

- earth station call sign;
- geographic location;
- licensee and point of contact information;
- antenna gain, azimuth and elevation gain pattern, azimuth relative to true north;
- antenna elevation angle;
- satellite(s) at which the earth station is pointed;
- transponder number(s) and how often each transponder is used;
- antenna site elevation and height above ground.¹¹⁶

Although the FCC’s proposal to authorize fixed PtMP sharing is not premised on AFC, the Commission also seeks comment on adopting “an automated coordination process for point-to-multipoint FS applications.”¹¹⁷ The agency observes that the current, manual coordination process for new fixed PtP links in C-band is slow and expensive. It would require a rural or small town ISP, for example, to prepare for each access point “a prior coordination notice that provides technical detail on the proposed facility’s transmit and receive characteristics,” send that report “to all FS and FSS licensees and prior applicants who might receive interference,” give those parties 30 days to respond, resolve any concerns raised, and only then can the ISP file an application online at the FCC for final approval.¹¹⁸ This manual coordination process may be even more problematic for a fixed PtMP deployment since the precise location and elevation of client sites (customer premises) are not known in advance.

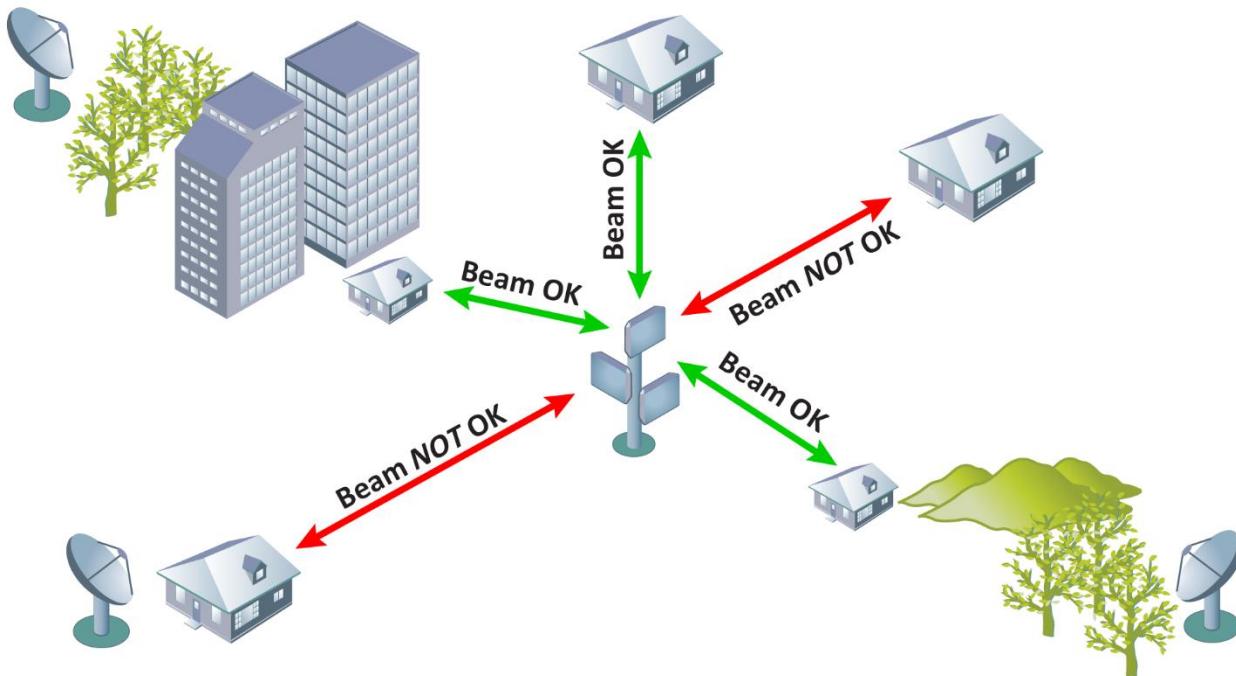


Figure 22: Automated frequency coordination of directional PtP fixed wireless with FSS earth stations. Unlike mobile use, fixed PtMP is inherently directional and can be sectorized to coexist with FSS.

Moreover, the NPRM notes that requiring (or at least allowing) coordination by sectors and variable power (rather than assuming a uniform, circular service area with a fixed radius and power levels) could enable more successful coordination and more intensive use of the band. Companies and consumer advocates supporting the AFC proposal have argued that the lack of a calculation engine using real-world propagation modeling would slow deployments, increase costs, leave more spectrum fallow, and quite possibly protect FSS incumbents less accurately.¹¹⁹

In the UK, Ofcom issued a consultation in December 2018 proposing a similar approach to coordinating shared access to vacant C-band spectrum from 3.8 to 4.2 GHz for both mobile and fixed terrestrial broadband use on a localized basis, including for indoor use.¹²⁰ The proposal evolved from an April 2016 call for input describing a potential opportunistic access framework that would allow localized access to vacant capacity in the band to the extent it does not cause harmful interference to incumbent FSS or fixed PtP operations.¹²¹ Ofcom describes its intention “to work towards a Dynamic Spectrum Access (DSA) approach in bands where this is appropriate and practical to implement when suitable equipment is available.”¹²² The Consultation describes this new approach as an opportunistic and database-driven effort:

Under a DSA approach, equipment communicates directly with a database to be granted access to spectrum at the location and time required on whichever frequencies are unused at the time by existing users. This is the approach which underpins TV white space devices in the UK, and the CBRS proposal in the USA.¹²³

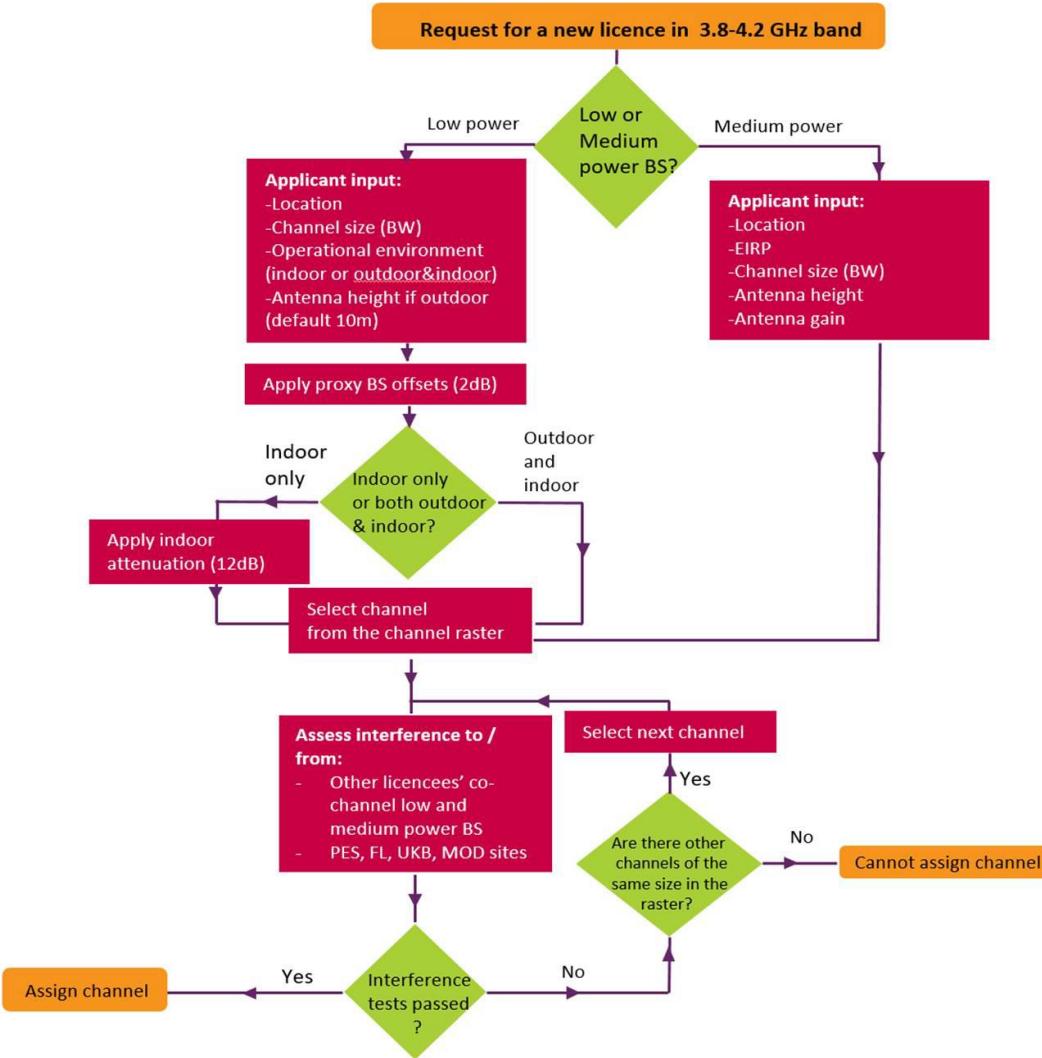


Figure 23: Ofcom's proposed coordination approach for low- and medium-power shared access to 3.8-4.2 GHz band.¹²⁴

With respect to facilitating opportunistic, licensed local use of vacant channels in the 3.8-4.2 GHz band, Ofcom explains that “users (particularly smaller spectrum users) are likely to want simple and cost-effective access to spectrum and a managed interference environment, beyond what can be achieved using license exempt spectrum.”¹²⁵ The Ofcom proposal would enable both mobile and fixed wireless networks to coordinate shared use of vacant channels on a co-primary basis with incumbent FSS earth stations and fixed P2P licensees. Similar to the FCC’s CBRS band, the use cases envisioned include private LTE and 5G New Radio networks, including for indoor enterprise (e.g., neutral host and IoT networks), as well as fixed wireless PtMP networks covering a larger outdoor area.¹²⁶

Two types of licenses would be granted: First, a small-area license with a radius of 50 meters; and a medium-power license, initially limited to rural areas only, authorized on a per base station basis and defined with respect to maximum transmit power.¹²⁷ Users can also aggregate contiguous low-power licenses over a larger area under a single authorization. The agency proposes that its

licensing fee will need to reflect “the cost of the specific coordination IT system specifically developed for this product.”¹²⁸

Initially, access to spectrum by new users will be “coordinated by Ofcom and authorised through individual licensing on a per location, first come first served basis.”¹²⁹ Ofcom suggests that longer term the agency “would like to work with industry to define the appropriate specification for both DSA equipment and database capability that would enable future transition to DSA.”¹³⁰

C. Coordinated Sharing with Federal Users in 37-37.6 GHz (U.S.)

As part of its broader “Spectrum Frontiers” initiative to open wide bands of millimeter wave spectrum above 24 GHz for 5G mobile and fixed operations, the FCC is currently seeking comment on a coordination mechanism to facilitate non-exclusive sharing of 600 MHz of spectrum at the bottom end of the 37/39 GHz band (from 37 to 37.6 GHz).¹³¹ The band is allocated on a co-primary basis between Federal government and commercial users for fixed and mobile operations. Until the Spectrum Frontiers proceeding, the FCC had not authorized any commercial operations in the band. Federal operations are currently limited to 14 military bases. In 2016 the FCC initially determined that Federal and non-Federal users would share the band on a co-primary basis. Access to the band will be licensed by rule (registered, but non-exclusive) and managed “through a coordination mechanism, which it would develop more fully through government/industry collaboration.”¹³² The FCC views this band as an opportunity to continue to develop its use of more dynamic techniques between both commercial users, and commercial and Federal users.

The FCC envisions “a first-come-first-served licensing or registration scheme, in which actual users have a right to interference protection, but no right to exclude other users.”¹³³ Intended uses of the band include point-to-point links (for example backhaul and backbone links); PtMP fixed wireless broadband systems; single base station IoT-type systems (for example, in a factory); “and carrier-based deployments of mobile systems using the Lower 37 GHz Band as supplemental capacity.”¹³⁴ To facilitate sharing and lower device costs, the FCC (as it did for CBRS) required devices to be operable across the entire 37 GHz band. The FCC’s pending *Third Further Notice of Proposed Rulemaking* seeks comment on the specific coordination mechanism for the band, including whether it should utilize a database-coordinated access model that could be similar to what has been proposed for fixed wireless coordination with FSS in the 3700-4200 MHz C-band and for unlicensed sharing outdoors in the uplink C-band above 5925 MHz (both described above).

Site-based registration could be coordinated through a third-party frequency coordinator that could be semi-automated at first and evolve into a fully-automated, database-coordinated system over time (based on multi-stakeholder input, including from Federal agency users). To register a site, licensees would file “specific information about each site sufficient for a third-party coordinator to conduct an interference analysis,” including its location, height above ground level, EIRP, transmitter azimuth, and channel size.¹³⁵ The coordination mechanism would conduct an interference analysis under which previously registered sites would be protected at a modeled receive signal strength specified in the FCC’s rules. Using an AFC system, the operator could receive a near-immediate response, making the system far faster and potentially less costly than traditional fixed service link or site coordination processes. Licensees would also be able to negotiate alternative sharing arrangements with incumbents, where feasible. The coordination mechanism

could also be used to enforce the construction (build-out) requirements and could evolve over time to add enhancements that increase the efficiency of the band.



Figure 24: Fixed wireless access using database-enabled frequency reuse in millimeter bands

D. Database-Assisted Satellite Sharing

A future frontier in database-coordinated spectrum sharing will focus on satellite bands, including coordination among divergent satellite networks. A useful overview is found in a recent IEEE paper that summarizes a comprehensive study carried out as part of the European Space Agency's Advanced Research in Telecommunications Systems program. The paper concludes that "[f]uture satellite systems can largely benefit from the ability to access spectrum bands other than the dedicated licensed spectrum band."¹³⁶ It notes that in response to surging demand for more broadband access and bandwidth, "[t]he satellite industry is currently undergoing a major transformation due to the rapid technological advances in small satellite systems and very high throughput satellite systems, as well as the trend of moving from broadcasting to broadband connectivity."¹³⁷ This transformation parallels developments in terrestrial wireless networks and will intensify the need to make more intense use of existing satellite bands. "The reason why database approaches have been proposed for satellite communications is basically the same as for terrestrial systems: databases provide better protection to incumbent users," particularly in "highly dynamic spectrum sharing scenarios."¹³⁸

The study identified four potential spectrum sharing scenarios:

- (a) two satellite systems sharing the same spectrum (e.g., sharing between geostationary orbit (GSO) and non-geostationary orbit (NGSO) satellite systems);

- (b) satellite system as a secondary user of spectrum (e.g., satellite terminals exploiting spatial separation to share with fixed terrestrial microwave links);
- (c) extension of a terrestrial network through coordination with a satellite network (e.g., a collaborative LTE network that extends coverage in rural areas); and
- (d) expanded secondary use of the satellite spectrum by terrestrial systems (e.g., terrestrial FS and IMT coordination into C-band).

With respect to sharing among satellite systems, the report focuses on database-coordinated sharing among incumbent GSO systems and the emerging NGSO, low-Earth orbit (LEO) satellite networks in development by companies including OneWeb, SpaceX and LeoSat. These mega-constellation networks will comprise hundreds and perhaps even thousands of LEO satellites. The study found that database-assisted coordination should be reliable and useful in large part because of the predictability of the position of NGSO satellites over time (ephemeris), which can be used to anticipate and adjust to avoid interference situations.¹³⁹ Assuming that the database has accurate inputs from both the GSO and NGSO operators in the band – most critically the NGSO satellites' ephemeris and associated power level received on the ground – the coordination database can then:

- (1) alert in advance each system of any interference situation by predicting when and where it will happen,
- (2) assist in adopting the appropriate interference mitigation strategy for these cases [which will likely be "changing the operating frequency in the feeder link"], and
- (3) answer to requests for more bandwidth from each system and allocate spectrum accordingly.¹⁴⁰

The authors of the ESA survey acknowledge that more research and testing is needed before database-coordinated sharing among such disparate satellite systems can be relied upon, including the impact of aggregate interference from the deployment of relatively dense mega-constellations of small NGSO satellites. Nonetheless, in theory coordination both between satellite and many terrestrial uses, as well as among satellite operators, should benefit in the future from implementation through an automated database coordination system.¹⁴¹ The alternatives to sharing may be even more problematic as they may result in only one NGSO operator being able to operate (a major issue from a competitive standpoint), or a band segmentation regime being applied that leads to both an inefficient use of spectrum and potentially destroys the viability of many if not all the NGSO networks' business cases.

5. Technology is Rapidly Enhancing the Potential for Dynamic Spectrum Access

As the sections above demonstrate, the functionality and reliability of database-enabled frequency coordination have advanced rapidly over the past decade, from database-assisted coordination (in fixed bands), to automated frequency coordination (for unlicensed access to vacant TV channels), to dynamic spectrum access (in the new CBRS band at 3550-3700 MHz in the U.S.). Spectrum database coordination has already proven it brings a myriad of current and potential benefits to all stakeholders, including incumbent services, new shared-access users, consumers and regulators.

Further advances are visible on the near-to-medium-term horizon. The most important of these technical advances is likely to be the incorporation of extremely accurate, real-world GIS data and the growing sophistication of propagation and interference modeling. A related concept is the increasing move toward ‘dynamic protection areas,’ rather than the rigid and overly-protective ‘exclusion zones.’

Another promising input to real-world awareness of the spectral environment is real-time sensing data. The CBRS Spectrum Access System is the first to incorporate sensing, relying on a network of coastal sensors designed to protect U.S. Navy radar. But the future will reveal that this is a crude first step toward what is likely to be some combination of crowdsourced sensing (by devices communicating to the AFC) and more ubiquitous fixed or mobile sensing networks that may serve as a pooled resource for dynamic sharing in many different bands.

Database operators are also likely to offer a host of innovative value-added services. Among these is the potential to combine blockchain technology with dynamic database coordination. This section only explores these emerging technologies at a surface level, but together they provide further evidence that NRAs that fail to take advantage of these new, more dynamic approaches are likely to lag behind in the global race to a wireless future of bandwidth abundance.

A. Real-World GIS Data and Propagation Modeling

As noted earlier, propagation loss has been studied extensively and is well understood.¹⁴² Spectrum coordination databases that incorporate real-world details on terrain, clutter (trees, buildings), and other GIS data sets can enable far more intensive spectrum use.¹⁴³ An AFC database informed by real-world GIS datasets does not need to make generic, worst-case assumptions about interference. As recognized in the FCC’s *6 GHz NPRM*, with more accurate awareness of the physical environment, AFC systems have the computation power to calculate actual path loss based on the characteristics of the shared-access device, the protected receiver, and the actual physical path between the two.

As Preston Marshall explains in his book on three-tiered sharing, the propagation models in use today “were based on few data points and limited computation resources.”¹⁴⁴ This leads to unrealistic, worst-case outcomes that undermine the policy purpose of secondary sharing. Marshall notes that the lack of real-world granularity inherent in relying solely on terrain-based modeling, such as the FCC Curve model (based on Longley-Rice terrain modeling) that defines static exclusion zones around TV station transmit sites in the FCC’s TVWS rules, is exemplified by comparing a more sophisticated GIS mapping of Manhattan. The Longley-Rice terrain-based model depicts the island

as it was in 1600 – without buildings or even trees – while in reality, particularly for terrestrial use at higher frequencies, an actual RF propagation view of Manhattan is dominated by scatter loss from physical obstacles that could accommodate dense deployments of low-power devices without interference to incumbents in a number of bands.

The advances in propagation and interference modeling that could inform the computational awareness of automated frequency coordination systems include:

- **Antenna Patterns:** *Existing TVWS protection frameworks (with the exception of the DSA Model Rules) assume the TVWS device has an omnidirectional antenna. CBRS, by contrast, allows the device to submit parameters describing the direction and beamwidth of its antenna, allowing more realistic coexistence modeling to take place.*
- **Scatter Loss Modeling:** *As noted just above, very detailed GIS databases are becoming available that geolocate, and regularly update, all the physical obstacles along the path between shared-access transmitter and incumbent receiver, including buildings, trees, and other structures.*
- **Three Dimensional Modeling:** *Including data on clutter yields awareness in only two dimensions unless the height of buildings, trees and terrain are factored in. "In deployments that are enterprise, residential and indoor focused, many of their interference paths will be vertical, rather than horizontal," Marshall observes.¹⁴⁵ In reality, access points that may appear co-located to a less sophisticated path loss model could actually be dozens of meters apart vertically and separated by multiple concrete floors as well. The path loss rules for indoor-only uses – and particularly in commercial buildings typified by more dense and mineral-based materials – could be calculated to be very different than outdoor use, for example.¹⁴⁶*
- **Modeling Aggregate Interference:** *A dynamic database – such as the SAS in CBRS – "estimates the impact of each individual emitter in the ecosystem and aggregates the total emissions of each of the emitters."¹⁴⁷ The SAS is therefore able to assure incumbent users – specifically, the U.S. Navy – that aggregate interference in the band in coastal zones will not rise above a certain harm threshold.*

A related concept is the increasing interest in 'dynamic protection areas,' rather than the rigid and overly-protective 'exclusion zones' that characterized shared access to vacant TV channels in the U.S. Whether an automated frequency coordination system authorizes a new user within a given distance of an incumbent's transmit or receive location should vary depending on the power, height and other characteristics of the device making the request. An AFC system can calculate this based on all the available awareness data, including whether the risk of harm is aggregate interference (which the AFC can estimate) or the operation of individual devices.¹⁴⁸

B. Spectrum Sensing as an Input to Dynamic Frequency Coordination

While GIS data adds a more real-world but generally static set of inputs to frequency coordination, spectrum sensing can add a more real-time and dynamic set of inputs. Much like spectrum coordination databases, the technology of spectrum sensing and modulation recognition have been around for decades. Spectrum sensors are routinely employed to measure changes in the noise floor and actual usage of frequency bands, including by "spectrum observatories" that measure

spectrum occupancy changes, trends and anomalies both in real time and over long periods of time.¹⁴⁹ What is new are efforts to incorporate sensing “to allow non-primary access to unused spectrum by a licensed or unlicensed device.”¹⁵⁰

When designed as inputs for automated frequency coordination, spectrum monitoring systems can add unique data on the actual spectral environment in an area, and in real time.¹⁵¹ More generally, a working group of the U.S. Department of Commerce Spectrum Management Advisory Committee (CSMAC) identified four key application areas for spectrum sensing:

- (1) Quantify opportunities and support regulatory action prior to sharing,
- (2) Operationally support the sharing process once the spectrum has been designated for sharing,
- (3) Assess usage and interference trends and to assess further rule modifications after shared spectrum operations are in place, and
- (4) Support NRA enforcement requirements.¹⁵²

As the section on CBRS described, to protect Navy radar systems on ships that move unpredictably (and on a classified basis), SAS operators are required to deploy a network of sensors (an Environmental Sensing Capability) along the nation’s coastlines. The sensors are located at intervals that correspond to the size of a Protection Zone designed to both detect radar above a pre-defined threshold and to obscure the specific location of Navy vessels. The ESC reports sensing data in real-time to the SAS, which has 300 seconds to notify devices in the Protection Zone to vacate to a different channel. The device must relocate to a new temporary channel assignment within 60 seconds.¹⁵³

While the ESC implementation is purely protective in nature, it is also quite likely the prototype for a variety of future sensing and monitoring implementations. Sensing networks can be fixed and targeted geographically based on a purpose (such as achieving a higher degree of sharing in core urban areas, or a specific incumbent protection mission, as the ESC does vis-à-vis naval radar).

Sensing networks can also be mobile – for example, collecting and offloading spectrum occupancy measurements continuously from roof-mounted sensors on ubiquitous fleets of police, taxi, and/or delivery service vehicles. While these sensing inputs would not be continuous, aggregated it could potentially cover wider areas with measurements from a very diverse and dynamic set of locations over time. Sensing inputs can perhaps most effectively be crowdsourced by user devices that are location aware and in regular contact with a frequency coordination system.¹⁵⁴

C. Value-Added Services by Database Operators

Automated frequency coordination operators are likely to add value-added services for both incumbents and entrants, while also helping database operators offset the costs of coordination. These value-added services, although not required by the NRA, can help users optimize quality of service, facilitate and streamline private secondary market transactions, recycle crowd-sourced spectrum sensing data, incorporate more detailed GIS data to enable even more intensive sharing, and other innovations that will derive from a more dynamic, data-rich awareness of users and the environment. Ofcom recognized this in its 2016 Statement on *A Framework for Spectrum Sharing*:

"In the future, the concept could potentially be extended to manage access between opportunistic sharers, improving quality of service."¹⁵⁵

Examples of value-added services have already emerged in shared bands. For example, Spectrum Bridge, one of the original TV Band Database operators certified by the FCC, fairly quickly found there was a market for providing band occupancy data to *incumbent* users, specifically licensed wireless microphone operators that could benefit by finding the cleanest available channels at a given location and time. Comsearch, certified by the FCC to coordinate and register fixed point-to-point links in the 70/80/90 GHz bands (and described further above), also provides pre-coordination analysis and other services to licensees. Under the CBRS framework, the FCC requires SAS operators to optimize coexistence among the unlicensed (GAA) users that have no right to interference protection. However, as Ofcom has observed, under a different framework (the unlicensed sharing of TVWS channels, for example) a NRA could decide that this coexistence assistance – aimed at optimizing quality of service – should be an optional, value-added service.¹⁵⁶

D. Blockchain Technology

Blockchain technology, famous for its initial application to record Bitcoin transactions, implements a shared, distributed ledger that provides a low-cost and secure way to record transactions and track assets among verified parties. A blockchain's primary purpose is to make a single, sequential record of transactions among verified parties. Each transaction record is a 'block' and they are 'chained' together in a manner that is sequential, verified, secure from cyberattacks, and saved in a permanent, distributed database that minimizes transaction costs. Blockchain can be applied to a wide variety of assets and transactions, whether tangible (real estate, auto leases) or intangible (patents, copyrights), including – potentially – spectrum sharing and secondary market transactions.¹⁵⁷

Blockchain may have the potential to enhance frequency coordination and secondary market transactions, particularly in shared bands that will need (or benefit from) an AFC database. A blockchain not only speeds transactions and minimizes their cost, but also ensures transparency and trust, including among regulators in contexts where it is fashioned to facilitate a public policy purpose. In that context, a blockchain can be a permissioned network limited to parties, or types of transactions, that are pre-approved by a NRA or other certifying authority. In some scenarios (e.g., secondary market transactions on exclusively-licensed bands) it may be the right database solution; whereas in other scenarios it might enhance the functionality of spectrum coordination databases or, in other situations, not add sufficient value to justify the additional overhead costs for users.

At least three possible applications have been outlined by regulators, academics and others: First, a blockchain can potentially improve coordination and reduce interference among users of a shared band, particularly an unlicensed or licensed-by-rule band, such as wireless microphone (PMSE) and Wi-Fi hotspot operators. These applications appear to be the initial focus of a blockchain trial announced by France's Agence Nationale Des Fréquences, in what is likely to be the first involvement of a regulator in a blockchain open to users.¹⁵⁸ The trials, expected to be operational by the end of 2018, will reportedly be limited to unlicensed bands at 2.4 and 5 GHz, as well as TV band spectrum between 470 MHz and 789 MHz used by wireless microphones for program-making and special events (PMSE).¹⁵⁹ ANFR believes PMSE is a prime candidate for blockchain since

microphones can be densely packed at major events and it can be difficult for regulators to effectively coordinate them to avoid interference.¹⁶⁰ A second trial will coordinate Wi-Fi use among start-ups at "French Tech Central," a technology incubator in France's Station F, where the ANFR is also located.¹⁶¹

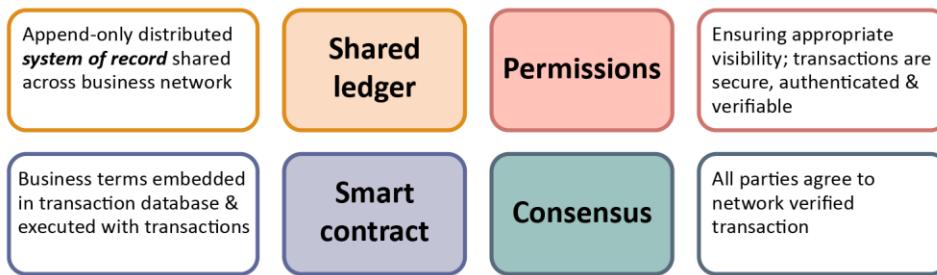


Figure 25: Key concepts of a blockchain application for business transactions.¹⁶²

A second potential application for blockchain is to verify and execute spectrum sharing agreements between primary and secondary users in licensed spectrum. An anticipated advantage of a spectrum blockchain is that secondary market transactions can be automated, subject to pre-determined conditions, and transparent to permitted users as well as to the regulator.¹⁶³ Under one scenario, the primary licensee can continually update the spectrum available for short-term auction to other interested parties. The blockchain validates and records all transactions, with license terms (such as duration) enforced automatically according to the terms of standardized "smart contracts" associated with each block (transaction record).¹⁶⁴ For example, a 2017 paper proposed a blockchain and smart contracts as an efficient means to manage service level agreements for mobile network operators seeking "small cells as a service" in a localized, on-demand basis.¹⁶⁵

A third potential application for a blockchain is the automation of *ex post* enforcement. As automated frequency coordination scales up the intensity and quantity of shared use among a multiplicity of users, databases such as the SAS for CBRS can potentially be leveraged to lower the costs of enforcement by creating a permanent record of transactions and by automating certain *ex post* enforcement steps.¹⁶⁶ Academics have suggested that a blockchain could be incorporated in the SAS or other frequency coordination databases to facilitate the enforcement of "collective action rights" of secondary users in addition to the interference protection rights of incumbents.¹⁶⁷ It could also be used by a regulator to collect 'pay-as-you-go' fees on spectrum use, including variable fees based on priority or congestion.

It's important to note that although relying on a blockchain to coordinate among "permissioned" users verified by the regulator, such as licensed PMSE operators, may justify the transaction costs, a recent academic analysis observes that in most scenarios involving an unlicensed or shared band open for general use (such as license-exempt Wi-Fi bands, or General Authorized Access in the FCC's CBRS framework), a blockchain may not be scalable or cost-effective.¹⁶⁸ For example, requiring each device in a high-traffic band to register its location and monitor activity on a decentralized blockchain could generate overhead costs that exceed any benefits.¹⁶⁹ It also appears unlikely that a blockchain can serve as the "calculation engine" in a dynamic frequency coordination environment that incorporates environmental data (e.g., GIS or dynamic sensing data) or takes account of other heterogenous or changing technical parameters among users in the band.

6. Conclusions & Policy Recommendations

As the demand for wireless connectivity continues to surge, the use of databases to coordinate more intensive and efficient spectrum sharing has emerged as a critical regulatory tool. Regulators in a number of countries have authorized automated and even dynamic frequency coordination databases to manage real-time assignments in shared bands. These frequency coordination systems have proven they can protect incumbent operations, including military and public safety systems, from harmful interference. Although spectrum database coordination is nothing new, it has in recent years evolved from manual, to automated, to dynamic – adding automation and propagation modeling to static licensing data. Database solutions are active today from low- and medium- to high-frequency bands, and with various degrees of complexity.

Database technologies are widely available, sufficiently mature, scalable and secure. There is no question that today NRAs have the technical ability to automate frequency coordination and thereby lower transaction costs, use spectrum more efficiently, speed time to market, protect incumbents from interference with certainty, and generally expand the supply of wireless connectivity that is fast becoming, like electricity, a critical input for most other industries and economic activity. AFC solutions are good for consumers, competitive entrants, and innovation by making wireless connectivity more accessible, fast and affordable.

AFC solutions are also a force multiplier for regulators: By automating assignments and monitoring usage, databases both enhance efficient allocation of national spectrum resources while strengthening enforcement and ensuring the protection of incumbent users with a higher licensing priority. The availability, flexibility and reliability of AFC systems help NRAs to meet the growing and very diverse spectrum needs of both industries and individuals.

DSA Policy Recommendations:

- NRAs should work towards a Dynamic Spectrum Access approach in any underutilized band (e.g., 6 GHz, 3.8-4.2 GHz) where coordinated sharing is appropriate and practical to implement.
- NRAs should authorize the simplest possible database solution that will achieve the regulatory goal – and only require frequency coordination directly through the AFC (rather than through a slower or more costly process).
- NRAs should adopt clear rules, but not prescribe particular technologies or standards for AFC systems.
- Consulting industry and convening a representative, multi-stakeholder process to develop and assist in implementing the AFC system can help to conserve agency resources and leverage industry expertise.
- Study and consider the adoption of best practices developed by industry or other NRAs, particularly when that promotes band or technical harmonization regionally or globally (e.g., the DSA model rules for TVWS).
- NRAs should consider the benefits of certifying a private sector entity to manage the AFC system – or, if demand justifies it, multiple and competing AFC providers – but always in strict adherence to agency rules.

- Require – or at least allow – AFC system coordinators to use the most granular and real-world GIS data available for interference modeling.
- Smaller nations with many borders, or that lack a large domestic market, should consider the efficiencies of a regional approach to frequency coordination, such as a shared or interconnected AFC.
- When feasible, it is cost-effective to leverage AFC systems and operators for multiple bands, rather than require a series of separate systems.
- Permit AFC operators to experiment with and generate revenue from value-added services in addition to the basic coordination service that complies with NRA rules.

Acknowledgements: The Dynamic Spectrum Alliance would like to thank its members who made this report possible. The report's primary author, Michael Calabrese (New America), and the former DSA President Kalpak Gude for overseeing the report's preparation. Special thanks as well to Chuck Lukaszewski (HPE). Michael Purdy (Google), Pasquale Cataldi and Alistair Braden (Nominet), Brian Regan (Starry), Andrew Clegg and Preston Marshall (Google), Peter Flynn (Viasat), and Mark Gibson (Comsearch), all of whom served as reviewers, editors and advisors throughout the process.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

End Notes:

¹ Ray Baum's Act of 2018, Pub. L. 115–141, § 614, 132 Stat. 1080, 1109 (2018).

² Office of Communications (Ofcom), *A Framework for Spectrum Sharing*, Statement, at 27 (April 14, 2016), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0028/68239/statement.pdf. See also Ofcom, *Spectrum Management Strategy* (April 30, 2014), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0021/71436/statement.pdf.

³ Ofcom, *Enabling Opportunities for Innovation: Shared Access to Spectrum Supporting Mobile Technology*, Consultation, at 10 (Dec. 18, 2018) (“Ofcom 2018 Consultation”), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0022/130747/Enabling-opportunities-for-innovation.pdf.

⁴ *Id.* at 6.

⁵ Ofcom 2016 Statement.

⁶ See International Telecommunication Union, “Introduction to CCITT Signalling System 7,” available at <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.700-199303-I/en>. SS7 networks were deployed by AT&T and MCI WorldCom in 1989. See AT&T to deploy SS7 by year-end, Data Communications, Aug 1, 1989; R.N. Lane, Arthur D. Little Decision Resources, Ind. Rpt. No. 1023667, Carrier Provisions of SS7 Services - Industry Report, at 2 (Sept. 1, 1989).

⁷ International Engineering Consortium, “Signaling System 7 (SS7),” Web ProForum Tutorial (2004), available at <https://www.cs.rutgers.edu/~rmartin/teaching/fall04/cs552/readings/ss7.pdf>.

⁸ In its rules, the U.S. Federal Communications Commission (FCC) defined call-related databases as those used “for billing and collection or the transmission, routing, or other provision of a telecommunications service.” 47 C.F.R. § 51.319(e)(2). Such databases include the Line Information Database (LIDB), the Toll Free Calling database, number portability databases, and AIN databases.

⁹ “To facilitate this type of porting solution [onward forwarding], communications providers typically maintain a common database which holds up-to-date details of ported numbers and their current providers which they can use as a source of routing information.” Office of Communications (Ofcom), “Routing Calls to Ported Telephone Numbers,” Statement (April 1, 2010), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0023/45653/statement.pdf.

¹⁰ NPAC, “How LNP Works,” available at <https://www.npac.com/number-portability/how-lnp-works>.

¹¹ In 1997 Neustar implemented and deployed “the world’s first number portability database,” according to the National Portability Administration Center (NPAC). See NPAC, <https://www.npac.com/number-portability/the-npac-neustar-lnp>.

¹² For a general, non-technical overview, see Wikipedia, *Network Switching Subsystems*, available at https://en.wikipedia.org/wiki/Network_switching_subsystem#Description.

¹³ Taken from Rus Shuler, *How Does the Internet Work?* (Pomeroy IT Solutions, 2002), available at <https://web.stanford.edu/class/msande91si/www-spr04/readings/week1/InternetWhitepaper.htm>.

¹⁴ AFC systems are known by different names in various frequency bands, such as “Spectrum Access System” (SAS) in 3.5 GHz in the U.S., “TV Bands Databases” (TVDBs) in many countries, and “Licensed Shared Access Controller” (LSA) in Europe.

¹⁵ M. Höyhtyä, J. Ylitalo, X. Chen, and A. Mämmelä, "Use of databases for dynamic spectrum management in cognitive satellite systems," in *Cooperative and Cognitive Satellite Systems*, S. Chatzinotas, B. Ottersten, and R. De Gaudenzi, Eds. (San Francisco, CA, 2015), at 337-371.

¹⁶ An example is the Wireless Innovation Forum (WINNForum), an industry standards body designated by the FCC to develop the standards and protocols for implementation of three-tier dynamic sharing in the new Citizens Broadband Radio Service (CBRS) at 3550-3700 MHz, pursuant to Part 96 of the Commission's rules. See CBRS WINNForum Standards, available at <https://cbrs.wirelessinnovation.org/>.

¹⁷ See ECC Report 236 at 30-32. The NRA typically runs an approval process to ensure the operator is well-qualified. In the U.S., the FCC has certified multiple commercial database operators in several shared bands, including the 70/80/90 GHz, TV White Space and CBRS bands. The agency seeks public comment on the selections, in addition to requiring certain qualifications and a pre-certification testing period.

¹⁸ Electronic Communications Committee, European Conference of Postal and Telecommunications (CEPT), "Guidance for national implementation of a regulatory framework for TV WSD using geo-location databases," ECC Report 236 (May 2015). As an example, the Report notes that "in some CEPT countries PMSE [wireless microphone] access is license exempt and registered . . . the lack of such information is a key challenge in protecting PMSE against WSD [White Space Devices]." *Id.* at 28.

¹⁹ In the U.S. context, a current example is the FCC proposal to authorize fixed wireless broadband operators to coordinate localized point-to-multipoint deployments into available frequencies in at least a portion of the satellite C-band at 3700-4200 MHz. Earth stations that receive downlinks on the band are not currently required to report what frequencies they are actually using, information the FCC has indicated it will need to require if its proposed rulemaking adopts a coordinated sharing framework. See Notice of Proposed Rulemaking, *Expanding Flexible Use of the 3.7 to 4.2 GHz Band, Order and Notice of Proposed Rulemaking*, GN Docket No. 18-122, FCC 18-91 (July 13, 2018).

²⁰ See ECC Report 236 at 28-29.

²¹ *Id.* at 36-40 (discussing various cost recovery and fee options).

²² See ECC Report 236 at 25.

²³ An example is Ofcom's studies and resulting protection rules, which were also used as the foundation for the DSA Model Rules for TV White Space sharing. See Ofcom, *Implementing TV White Spaces*, Statement, Annex 9 (Feb. 12, 2015), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0025/58921/annexes.pdf.

²⁴ See Preston Marshall, *Three-Tier Shared Spectrum, Shared Infrastructure, and a Path to 5G* (Cambridge Univ. Press, 2017), at 80-81 and 104-110 for an overview various propagation and interference modeling options.

²⁵ At the same time, there are trade-offs to consider concerning the cost of including more granular data, the need for more frequent updates, and even the propagation of band. For example, in TV and other low-frequency bands, clutter would have far less impact on spectrum re-use than in mid- and high-frequency bands. Regulators can choose less accurate propagation models initially to provide a higher level of protection to incumbent users, which occurred with both the U.S. and U.K. TV White Space rules, although presumably greater experience and comfort with automated frequency coordination will permit NRAs to take full advantage of their potential to open access to new bandwidth.

²⁶ See, e.g., ECC Report 236 at 29-30.

²⁷ This is discussed further in Section 5D concerning the potential to integrate blockchain functionality.

²⁸ See Marshall at 85-86.

²⁹ See ECC Report 236 at 42.

³⁰ See ECC Report 236 at 42, which notes that database operators can collect a “wealth of data about the types of devices and the characteristics of their use.” In addition, “the NRA may require specific interference management functions from the database.”

³¹ See, e.g., Federal Communications Commission, Universal Licensing System: Databases (ULS database downloads for specific wireless radio services are available as zip files, updated weekly and supplemented by daily transaction reports), available at <http://wireless.fcc.gov/uls/index.htm?job=transaction&page=weekly>; FCC, International Bureau Application Filing and Reporting System (IBFS enables electronic filing and search tools that provide access to up-to-date application information and various reports), available at <http://licensing.fcc.gov/prod/ib/forms/index.html>.

³² FCC, *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz*, Notice of Inquiry, FCC 17-104, GN Docket No. 17-183, at ¶¶25, 35 (Aug. 3, 2017). An analysis by SNL Kagan projects that “[d]riven by the spike in mobile data use, by 2025 tower sites will grow at a CAGR of 3.9%,” and that “there could be more than 200,000 towers and over 400,000 sites in use in the next 10 years.” See “Report Predicts Tower, Small Cell Outlook Through 2025,” *RCR Wireless News* (July 15, 2015); available at: <https://www.rcrwireless.com/20150715/cell-tower-news/report-predicts-towertrends-through-2025-tag20>.

³³ 47 C.F.R. § 101.103. For the U.S., the administrative aspects of the coordination process are set forth in Section 101.103(d), in the case of coordination of terrestrial stations with earth stations, and in Section 25.203, in the case of coordination of earth stations with terrestrial stations.

³⁴ See U.S. Federal Register, *Fixed Satellite Service and Terrestrial System in the Ku-Band*, Summary, FCC First Report & Order, ET Docket No. 98-206 (rel. Dec. 8, 2000), available at <https://www.federalregister.gov/documents/2001/02/16/01-3710/fixed-satellite-service-and-terrestrial-system-in-the-ku-band>.

³⁵ See, e.g., “Comsearch Microwave: Expert Coordination Prevents Harmful Interference,” available at <https://www.comsearch.com/services/frequency-coordination-fcc-licensing/microwave/>.

³⁶ ECC, CEPT, “Fixed Service in Europe: Current use and future trends post 2016,” ECC Report 173 (updated April 27, 2018). Similarly, in the UK, Ofcom authorizes point-to-point fixed links on a first-come basis, subject to the agency’s coordination and technical frequency assignment criteria. See Ofcom, Technical Frequency Assignment Criteria for Fixed Point-to-Point Radio Services with Digital Modulation (OfW 446), July 2018, available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0017/92204/ofw446.pdf.

³⁷ Id. at 2. See also European Communications Office, “ECO Report 04, Fixed Service in Europe, Implementation Status (July 3, 2018).

³⁸ Subject to FCC Part 95 rules, the AHA’s American Society for Healthcare Engineering is designated as the exclusive WMTS frequency coordinator. See FCC, Wireless Medical Telemetry Service (WMTS), at <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/wireless-medical-telemetry-service-wmts>.

³⁹ FCC, American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association (ASHE/AHA), at <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/wireless-medical-telemetry-service-wmts/american>

⁴⁰ In 2016 the agency approved a third competing database manager, Key Bridge Global LLC, for the 70/80/90 GHz bands. FCC, “Order and Notice to Database Managers for the 70/80/90 GHz Link Registration System Under Subpart Q of Part 101,” Wireless Telecommunications Bureau, WT Docket No. 13-291 (rel. Aug. 26, 2016).

⁴¹ The diagram is adapted from those filed jointly by the three companies that initially proposed to develop and manage an independent database of site/link registrations for licensees in the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95

GHz bands. *Ex Parte* Letter from Comsearch to the FCC, Appendix A, WT Docket No. 02-146 (Sept. 9, 2004), at 5.

⁴² FCC, “Wireless Bureau Opens Filing Window for Proposals to Develop and Manage Independent Database of Site Registrations by Licensees in the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz Bands,” *Public Notice* (rel. March 12, 2004).

⁴³ See generally FCC, Report and Order, *Allocation and Service Rules for the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz Bands*, WT Docket 02-146 (2003). The bands are allocated to Federal Government use on a co-primary basis.

⁴⁴ See FCC, Keybridge Global Designated as a 70/80/90 GHz Database Manager (Aug. 26, 2016), <https://www.fcc.gov/document/key-bridge-global-designated-708090-ghz-database-manager>.

⁴⁵ The classified nature of some Federal Government operations precludes the use of a public database containing both government and non-government links. See Allocations and Service Rules for the 71-76 GHz, 81-86 GHz and 92-95 GHz Bands, WT Docket No. 02-146, *Report and Order*, at ¶ 48 (2003).

⁴⁶ See Wireless Telecommunications Bureau Announces Permanent Process for Registering Links in the 71-76 GHz, 81-86 GHz, and 92-95 GHz Bands, *Public Notice*, DA 05-311 (rel. February 3, 2005). A “green light” response indicates that the link is coordinated with the Federal Government; a “yellow light” response indicates a potential for interference to Federal Government or certain other operations. See generally 47 C.F.R. § 2.106 (US388, US389). In the case of a “yellow light,” the licensee must file an application for the requested link with the Commission, which in turn will submit the application to NTIA for individual coordination.

⁴⁷ Ofcom, “Spectrum Management Approach in the 71-76 GHz and 81-86 GHz bands” (Dec. 16, 2013), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0011/50240/statement.pdf.

⁴⁸ Suyash Ray, et al., “The Economics of Releasing the V-band and E-band Spectrum in India,” National Institute of Public Finance and Policy (New Delhi), Working Paper No. 226 (April 2, 2018), available at http://www.nipfp.org.in/media/mediabinary/2018/04/WP_226.pdf.

⁴⁹ *Id.* at 15-16.

⁵⁰ See European Conference on Postal and Telecommunications, Electronic Communications Committee, “Licensed Shared Access (LSA),” ECC Report 205 (approved Feb. 2014).

⁵¹ “Subject to the national decision, the NRA (together with the key stakeholders) needs to negotiate the terms of the LSA licence in such way that a balance is found between providing the MFCN operator an adequate amount of predictability in their future access to the band on one hand, and allowing the future development of the incumbent service on the other hand.” European Conference on Postal and Telecommunications, Electronic Communications Committee, “Operational guidelines for spectrum sharing to support the implementation of the current ECC framework in the 3600-3800 MHz range,” ECC Report 254, at 29 (approved Nov. 18, 2016).

⁵² See generally ECC Report 205; Marshall at 27-29.

⁵³ Marshall at 29.

⁵⁴ Independent Communications Authority of South Africa (ICASA), “Regulations on the Use of Television White Spaces,” Notice 147 of 2018 (March 23, 2018), available at <https://www.ellipsis.co.za/wp-content/uploads/2017/04/Regulations-on-Use-of-TVWS-23-March-2018.pdf>.

⁵⁵ For more background on successful pilot deployments and background on Microsoft’s regional geolocation database, see Microsoft White Spaces Database, available at <http://whitespaces.microsoftspectrum.com/>. See also Microsoft, Airband Initiative (describing rural broadband initiatives in the U.S. and globally), available at <https://www.microsoft.com/en-us/airband>.

⁵⁶ Dynamic Spectrum Alliance, *Model Rules and Regulations for the Use of Television White Spaces*, version 2.0 (Dec. 2017), available at <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2018/01/Model-Rules-and-Regulations-for-the-use-of-TVWS.pdf>. See also Alistair Braden, “Enabling TVWS and Protecting Incumbents,” Nominet Blog (Jan. 15, 2018), available at <https://www.nominet.blog/long-read-enabling-tvws-protecting-incumbents/>.

⁵⁷ In addition, two vacant TV channels in every local market were set aside for exclusive use by unlicensed (non-broadcast) microphones. These unlicensed wireless mics continue to have access to any vacant channel, although to none exclusively.

⁵⁸ Preston Marshall, *Three-Tier Shared Spectrum, Shared Infrastructure, and a Path to 5G* (Cambridge University Press, 2017), at 23-24, 87.

⁵⁹ *Id.* at 24.

⁶⁰ FCC, First Report and Order, *Amendment of the Commission’s Rules with Regard to Commercial Operations in the 3550-3650 MHz Band*, 30 FCC Rcd 3959 (2015), at 3962 (emphasis added) (“CBRS Order”). In its final order in 2016, the FCC summarized the unique purpose of its three-tier sharing: “The Citizens Broadband Radio Service takes advantage of advances in technology and spectrum policy to dissolve age-old regulatory divisions between commercial and federal users, exclusive and non-exclusive authorizations, and private and carrier networks.” FCC, Order on Reconsideration and Second Report and Order, *Amendment of the Commission’s Rules with Regard to Commerical Operation in the 3550-3650 MHz Band*, GN Docket 12-354 (2016), available at https://apps.fcc.gov/edocs_attachmatch/FCC-16-55A1.pdf.

⁶¹ Marshall at 227.

⁶² *Id.* at 225.

⁶³ Marshall at 79.

⁶⁴ See Marshall at 227. “The aggregate interference permitted at this boundary, or interior, of a PAL service area is -80 dBm/10MHz . . . computed at a height above the ground of 1.5 meters.”

⁶⁵ Marshall at 86. He explains that because LTE is emerging as the *de facto* standard for CBRS, SAS coordination serves as an effective substitute for a LTE control function, enabling “a degree of coordination between sovereign network operators” that he terms “Federated LTE.” *Ibid.*

⁶⁶ Cisco, *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017– 2022*, White Paper, at 23 & fig. 22 (updated Nov. 26, 2018) (“Cisco VNI”), available at <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>. Mobile device traffic was expected to reach 6.9 GB per month per active smartphone in North America by the end of 2017. See *Ericsson Mobility Report*, at 14 (June 2017), available at <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-reportjune-2017.pdf>.

⁶⁷ Cisco VNI, *supra*, at 21. Cisco reports that Western Europe had the highest number of hotspots, with 48 percent of the world’s Wi-Fi hotspots in 2017, but that Asia is likely to have the highest number (47 percent) by 2022. “Critical enablers of Hotspot 2.0 adoption are higher speed Wi-Fi gateways and the adoption of the IEEE 802.11ac and the latest 802.11ax standards.” *Ibid.*

⁶⁸ Steve Methley & William Webb, Quotient Assocs. Ltd., *Wi-Fi Spectrum Needs Study*, at 29 (Feb. 2017) (“between 500 MHz and 1 GHz of new spectrum will be needed in 2025 to satisfy the anticipated busy hour.”), available at <https://bit.ly/2NSC7YL>.

⁶⁹ CTIA, *Licensed Spectrum*, at 10 (Feb. 2017), available at <https://api.ctia.org/docs/default-source/default-document-library/ctia-white-paper-licensed-spectrum.pdf>, citing Coleman Bazelon & Giulia McHenry, “Substantial

Licensed Spectrum Deficit (2015-2019): Updating the FCC’s Mobile Data Demand Projections,” The Brattle Group, at 19 (June 23, 2015), available at [http://www.brattle.com/system/news/pdfs/000/000/891/original/Substantial_Licensed_Spectrum_Deficit_\(2015-2019\) - Updating_the_FCC's_Mobile_Data_Demand_Projections.pdf?1435613076](http://www.brattle.com/system/news/pdfs/000/000/891/original/Substantial_Licensed_Spectrum_Deficit_(2015-2019) - Updating_the_FCC's_Mobile_Data_Demand_Projections.pdf?1435613076).

⁷⁰ See Thomas K. Sawanobori & Dr. Robert Roche, “From Proposal to Deployment: The History of Spectrum Allocation Timelines” (July 20, 2015), <http://www.ctia.org/docs/default-source/default-document-library/072015-spectrum-timelines-white-paper.pdf>; Federal Communications Commission, *Connecting America: The National Broadband Plan* (2010), available at <http://download.broadband.gov/plan/national-broadband-plan.pdf>.

⁷¹ Carmel Group, *Ready for Takeoff: Broadband Wireless Access Providers Prepare to Soar with Fixed Wireless* (2017), available at <https://bit.ly/2LSF6zv>.

⁷² Verizon announced it will rely on millimeter wave spectrum to deploy gigabit-fast 5G fixed-wireless service to an additional 30 million homes beginning in late 2018. Joan Engebretson, “CFO: Verizon 5G Plans Will Target 30M Homes Outside of FiOS Markets with Fixed Gigabit Wireless, *Telecompetitor* (Dec. 5, 2017), available at <https://www.telecompetitor.com/cfo-verizon-5g-plans-will-target-30m-homes-outside-of-fios-territory-with-fixed-gigabit-wireless/>

⁷³ Cisco VNI at 23 & fig. 22.

⁷⁴ Marshall at 104. Ideally, coordination should be “invisible to the current users of the spectrum being shared.” *Id.* at 82.

⁷⁵ Marshall at 81.

⁷⁶ In the case of CBRS, incumbent receiver locations and frequencies in use are determined from different sources depending on the service. While the detection of naval radar use will be reported by a network of coastal sensors, FSS sites are protected based on information earth stations report to the FCC’s public licensing database, which the SAS ingests (the International Bureau Application Filing and Reporting System, or IBFS). *See* Marshall at 60-67.

⁷⁷ In the U.S., both of these forces are presently in play as the FCC decides what share of the downlink C-band (3.7-4.2 GHz), currently dedicated to Fixed Satellite Services, should be cleared for exclusive licensing or, instead, shared with FSS incumbents using an automated frequency coordination database system. This is discussed further in section 4 below.

⁷⁸ See Marshall at 64. As described in Section 4 below, this ‘backstop’ approach has been proposed for the AFC governing unlicensed sharing across the 6 GHz band, where database coordination is static and simpler than in the dynamic CBRS context.

⁷⁹ 5G: Known Unknowns, New Street Research (Apr. 17, 2016), available at www.newstreetresearch.com/download/5G%20April%202016%20slides.pdf.

⁸⁰ Federal Communications Commission, *Connecting America: The National Broadband Plan* (2010), available at <http://download.broadband.gov/plan/national-broadband-plan.pdf>. *See also* Marshall at 45 (a traditional auction “is the equivalent of asking a startup enterprise to first pay for a building, build the building, and wait for completion before a business could be started.”).

⁸¹ *Ibid.*

⁸² See European Conference of Postal and Telecommunications Administration (CEPT), Electronic Communications Committee, ECC Report 236 (May 2015) (*ECC Report 236*).

⁸³ See ECC Report 236 at 42, which notes that database operators can collect a “wealth of data about the types of devices and the characteristics of their use.” In addition, “the NRA may require specific interference management functions from the database.”

⁸⁴ *Ibid.*

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ See Marshall at 85-86, concerning coexistence optimizations and the “use-it-or-share-it” concept; *ECC Report 236* at 47 (noting that dynamic database technologies “could, without regulatory intervention, incorporate mechanisms to deal with contention such as polite protocols.”).

⁸⁷ See WInnForum, CBRS Standards, available at <https://cbrs.wirelessinnovation.org/>.

⁸⁸ ECC Report 236 at 30-36. There are, of course, possible variations within each of these options, as well as hybrid approaches, which *ECC Report 236* develops in greater detail than we will here.

⁸⁹ ECC Report 236 at 36.

⁹⁰ *Ibid.*

⁹¹ *ECC Report 236* at 41. The Report also notes that a NRA can preempt the potential problem of “rogue” (unauthorized) database providers by requiring that all devices certified to operate in a shared band “can only transmit according to the parameters provided by a database that is in the [NRA’s] list.” *Ibid.*

⁹² Dynamic Spectrum Alliance, *Model Rules and Regulations for the Use of Television White Spaces*, version 2.0 (Dec. 2017), available at <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2018/01/Model-Rules-and-Regulations-for-the-use-of-TVWS.pdf>.

⁹³ See Marshall at 22-27 for a more detailed explanation of the FCC’s worst-case approach to limiting the viability of shared access to the vacant TVWS channels.

⁹⁴ *ECC Report 236* at 38-39.

⁹⁵ *Id.* at 37-40.

⁹⁶ FCC, Notice of Proposed Rulemaking, *Unlicensed Use of the 6 GHz Band*, ET Docket No. 18-295, GN Docket No. 17-183 (Oct. 23, 2018) (*6 GHz Nprm*).

⁹⁷ European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, “Mandate to CEPT to Study Feasibility and Identify Harmonised Technical Conditions for Wireless Access Systems Including Radio Local Area Networks in the 5925-6425 MHz Band for the Provision of Wireless Broadband Services,” at 4 (Dec. 19, 2017) (“EC Mandate to CEPT”), available at https://www.cept.org/Documents/ecc/41497/ecc-18-047-annex_mandate-rlan-6-ghz. The band 5925-6425 MHz is currently used across Europe by the Fixed Service and Fixed Satellite Service (Earth to space), but is also “allocated by ITU Radio Regulations (RR) to the Mobile service on a primary basis.” *Id.* at 1.

⁹⁸ *Id.* at 6; see ECC/CEPT, SE 45 – WAS/RLANs in the frequency band 5925-6425 MHz, available at <https://cept.org/ecc/groups/ecc/wg-se/se-45/client/introduction/>.

⁹⁹ DIGITALEUROPE, *Whitepaper on 5925-6425 MHz (6 GHz) Wireless Access Systems/Radio Local Area Network (WAS/RLAN)*, at 18 (Feb. 2018), available at http://www.digitaleurope.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=2611&language=en-US&PortalId=0&TabId=353.

¹⁰⁰ EC Mandate to CEPT at 4. The next generation of Wi-Fi, IEEE 802.11ax, can seamlessly support 6 GHz operations and achieve gigabit throughputs by aggregating channels as wide as 160 MHz. Industry studies project a shortfall of more than 1,000 MHz of license-exempt mid-band spectrum over the next five to ten years. See Steve Methley & William Webb, *Wi-Fi Spectrum Needs Study*, Quotient Associates Ltd (Feb. 2017), at 29 (“[B]etween 500 MHz and 1 GHz of new spectrum will be needed in 2025 to satisfy the anticipated busy hour.”), available at <https://tinyurl.com/ybh94pxv> (“Wi-Fi Alliance Study”); Qualcomm, *A Quantification of 5 GHz Unlicensed Band Spectrum Needs* (July 2016) (projecting a need for 1,280 megahertz of mid-band unlicensed spectrum), available at <https://www.qualcomm.com/documents/quantification-5-ghz-unlicensed-band-spectrum-needs>.

¹⁰¹ Wi-Fi Alliance Study, *supra*. “DFS” refers to Dynamic Frequency Selection and the portion of the 5 GHz band that requires Wi-Fi to operate subject to a radar detection and avoidance capability. See <https://www.wi-fi.org/knowledge-center/faq/what-is-dynamic-frequency-selection-dfs>.

¹⁰² Letter to the FCC from Apple, Broadcom, et al., *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7 and 24 GHz*, GN Docket No. 17-183, at 3 (June 12, 2018).

¹⁰³ RKF Engineering Services, *Frequency Sharing for Radio Local Area Networks in the 6 GHz Band* (Jan. 2018), attached to Letter from Paul Margie, Counsel, Apple Inc., Broadcom Corp., Facebook, Inc., Hewlett Packard Enterprise, and Microsoft, to Federal Communication Commission, GN Docket No. 17-183 (Jan. 26, 2018). The study simulated the impact of one billion RLAN devices, operating under existing U.S. rules for the U-NII-1 band at 5150-5250 MHz, on incumbent operations. One key finding was that 99.80% of the FSS receivers within the continental U.S. would experience aggregate interference levels from RLAN operations below -6 dBm I/N and that no instance of interference above that threshold caused a link to fall below its availability design threshold (which were assumed to be 99.999% availability or better).

¹⁰⁴ *6 GHz NPRM*, *supra*, at ¶ 25.

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ *Id.* at ¶¶ 29-30.

¹⁰⁷ *Id.* at ¶ 53.

¹⁰⁸ Presentation to FCC by Apple, Broadcom, et al., *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7 and 24 GHz*, GN Docket No. 17-183, at 3 (filed Aug. 2, 2018).

¹⁰⁹ *6 GHz NPRM*, *supra*, at ¶ 39.

¹¹⁰ Presentation to FCC by Apple, Broadcom, et al., *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7 and 24 GHz*, GN Docket No. 17-183 (filed Aug. 2, 2018).

¹¹¹ Notice of Proposed Rulemaking, *Expanding Flexible Use of the 3.7 to 4.2 GHz Band, Order and Notice of Proposed Rulemaking*, GN Docket No. 18-122, FCC 18-91 (July 13, 2018) (*3.7 GHz NPRM*).

¹¹² In reality, a large share of registered earth stations actually use a small portion the band corresponding to one or more transponders. For example, the National Public Radio system reports that all 475 of its earth stations rely on a single transponder that uses a standard 36 megahertz C-band channel in the lower portion of the band.

¹¹³ See *3.7 GHz NPRM*, *supra*, at ¶ 119. The FCC requested comment on the different options that would depend in part on how much of the band can be cleared of incumbent FSS operations and over what time frame.

¹¹⁴ See *Ex Parte* Presentation of Google and Broadband Access Coalition to 26 FCC Staff, GN Docket No. 17-183 (March 29, 2018).

¹¹⁵ See 3.7 GHz NPRM at ¶ 39.

¹¹⁶ *Id.* at ¶ 41. The FCC coupled the NPRM with an Order requiring FSS space station operators to report “for each transponder operating in the 3.7-4.2 GHz range . . . the frequency range of transponder and transponder number” based on “the former center-frequency requirement for C-band space stations.” Combined with the enhanced earth station reporting of actual frequencies in use, this allows a coordination system to factor in frequency separation.

¹¹⁷ *Id.* at ¶ 124.

¹¹⁸ *Id.* at ¶ 117. The coordination procedures for terrestrial FS operations with satellite operations are set forth in §§ 101.21(f) and 101.103 of the Commission's Rules. Generally, § 101.103 requires entities to complete coordination, including the 30-day notice to nearby incumbent users, prior to filing an application for authorization.

¹¹⁹ *Id.* at ¶ 124, citing *Petition of Broadband Access Coalition for a Rulemaking to Amend and Modernize Parts 25 and 101 of the Commission's Rules to Authorize and Facilitate the Deployment of Licensed Point-to-Multipoint Fixed Wireless Broadband Service in the 3700-4200 MHz Band*, RM- 11791 (June 26, 2017).

¹²⁰ Ofcom, *Enabling Opportunities for Innovation: Shared Access to Spectrum Supporting Mobile Technology*, Consultation (Dec. 18, 2018) (“Ofcom 2018 Consultation”), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0022/130747/Enabling-opportunities-for-innovation.pdf.

¹²¹ Office of Communications (Ofcom), *3.8 GHz to 4.2 GHz band: Opportunities for Innovation* (April 14, 2016), available at <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/opportunities-for-spectrum-sharing-innovation>.

¹²² *Ofcom 2018 Consultation, supra*, at 10.

¹²³ *Ibid.*

¹²⁴ *Id.* at 50, Figure 15.

¹²⁵ *Ofcom 2018 Consultation, supra*, at 23. The proposal also applies to shared access in 1781.7-1785 MHz, paired with 1876.7-1880 MHz (“1800 MHz shared spectrum”), and 2390-2400 MHz (“2300 MHz shared spectrum”).

¹²⁶ *Id.* at 15. These “private wireless networks could be deployed by many different kinds of users for a wide range of purposes, including IoT devices. Larger bandwidths, available in this band, would support wideband IoT devices . . . 5G technology could support ultra-reliable, low-latency communications which may be needed for some industrial uses such as wireless automation, control and monitoring.”

¹²⁷ *Id.* at 23-25.

¹²⁸ *Id.* at 61. Ofcom proposes a cost-based average licensing fee of £80 per 10 MHz based on its actual experience and cost to coordinate the roughly 27,000 Business Radio Tech Assigned licenses through a similar process. Some 40 percent of those costs are attributed to the IT system. The proposed fee would also vary from £80 to £800 depending on the channel size licensed (ranging from 10 to 100 MHz). *Id.* at 62-63, 65.

¹²⁹ *Id.* at 21.

¹³⁰ *Id.* at 6 &10.

¹³¹ FCC, Third Report & Order, Memorandum Report & Order, and Third Further Order of Proposed Rulemaking, *Use of Spectrum Bands Above 24 GHz For Mobile Radio Services*, GN Docket No. 14-177 (rel. June 8, 2018).

¹³² *Id.*, *Spectrum Frontiers 3d FNPRM*, at ¶ 59.

¹³³ *Id.* at ¶ 65.

¹³⁴ *Id.* at ¶ 63.

¹³⁵ *Id.* at ¶ 61, citing Starry, *Ex Parte* Presentation to FCC, GN Docket No. 14-177, at 2 (July 14, 2017).

¹³⁶ Marco Höyhtyä, Aarne Mämmelä, et al., “Database-Assisted Spectrum Sharing in Satellite Spectrum: A Survey,” *IEEE Access*, Vol. 5, at 25322 (Nov. 6, 2017).

¹³⁷ *Ibid.*

¹³⁸ *Ibid.*

¹³⁹ *Id.* at 25335.

¹⁴⁰ *Ibid.*

¹⁴¹ *Id.* at 25338.

¹⁴² See Marshall at 80-81 and 104-110 for an overview various propagation and interference modeling options.

¹⁴³ See Monica Allevan, “Google and other databases likely to make spectrum sharing easier,” *Fierce Wireless* (Oct. 12, 2017), available at <https://www.fiercewireless.com/wireless/google-and-other-databases-likely-to-make-spectrum-sharing-easier>.

¹⁴⁴ Marshall at 106. Marshall observes as well that most of the propagation models in use today were developed to perform communications link analysis, which is a fundamentally different analysis than the modeling characteristics used for link closure and interference. *Id.* at 104-105.

¹⁴⁵ *Id.* at 108.

¹⁴⁶ See Presentation of Apple, Broadcom, et al. to FCC, *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum between 3.7 and 24 GHz*, GN Docket No. 17-183, at 9 (Aug. 2, 2018).

¹⁴⁷ Marshall at 109.

¹⁴⁸ One example of how this could be modeled, proposed in a paper by a group of wireless engineers, uses an aggregate interference approach to limit the number of shared-access users able to operate closer to the incumbent, thereby “improv[ing] the overall spectrum utilization while ensuring a probabilistic guarantee of interference protection to the PUs.” Sudeep Bhattacharai, Jeffrey Reed, et al., “Defining Incumbent Protection Zones on the Fly: Dynamic Boundaries for Spectrum Sharing,” 2015 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN).

¹⁴⁹ The Illinois Institute of Technology’s Spectrum Observatory, which has collected spectrum occupancy data in Chicago continuously for over a decade, is a leading example. See, e.g., Dennis Roberson, “Illinois Institute of Technology Spectrum Observatory,” Presentation to WSRD Workshop #5 (31 March 2014), available at https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/7/79/Illinois_Institute_of_Technology_-_Dennis_Roberson.pdf.

¹⁵⁰ Lee Pucker, “Review of Contemporary Spectrum Sensing Technologies,” survey prepared for IEEE-SA P1900.6 Standards Group, at 1 (2017). Indeed, sensing was originally considered by the FCC as the primary mechanism to avoid interference for unlicensed sharing of vacant TV channels (TVWS), but ultimately the agency decided that sensing could not adequately protect “hidden nodes” that could not be detected by the access point.

¹⁵¹ *Id.* at 4. See also M. Höyhtyä et al., “Spectrum Occupancy Measurements: Survey and Use of Interference Maps,” *IEEE Commun. Surveys Tutorials.*, vol. 18, no. 4 (4th Quarter, 2016), at 2386-2414.

¹⁵² Dr. Paul Kolodzy, Keynote Speech at “NSF Workshop on Spectrum Measurements Infrastructure,” *Workshop Report*, U.S. National Science Foundation (April 2016), at 16-17. Dr. Kolodzy co-chaired the CSMAC subcommittee on Spectrum Measurement and Enforcement.

¹⁵³ See Marshall at 62-63 for a detailed description.

¹⁵⁴ An example is the DARPA RadioMap program, which provides a “crowd sourcing” capability by adding software to many existing U.S. military RF devices that enable them to observe and report on their local spectral environment. Dr. Joe Evans, DARPA, Keynote Speech, “NSF Workshop on Spectrum Measurements Infrastructure,” *Workshop Report*, U.S. National Science Foundation, at 18 (April 2016). “[N]ew software has been created to assist in the geolocation of emitters, the determination of the calculated field strength for the emitters and the interpolation or extrapolation of this data to estimate the spectrum intensity (and hence the availability of spectrum for shared usage) across an environment.” Evans stated that the U.S. Marine Corps is field-testing this capability. *Ibid.*

¹⁵⁵ Office of Communications (Ofcom), *A Framework for Spectrum Sharing*, Statement, at 28 (April 14, 2016), available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0028/68239/statement.pdf.

¹⁵⁶ *Id.* at 28, n. 39. “Under the current TVWS framework, databases provide information to users about whether and on what frequencies and at what power levels they may transmit to avoid causing harmful interference to incumbent users in and adjacent to the band. Coordination to prevent interference between different white space users is not currently mandated in the UK.”

¹⁵⁷ For a good general overview of blockchain technology and applications, see Manav Gupta, *Blockchain for Dummies*, IBM Limited Edition (John Wiley & Sons, 2017).

¹⁵⁸ Agence Nationale Des Fréquences, “Blockchain: Launch of the First French State Blockchain,” ANFR website, available at <https://www.anfr.fr/en/anfr/news/all-news/detail-of-the-news/actualites/blockchain/>.

¹⁵⁹ See Juliette Raynal, “State Prepares Blockchain for Free Frequencies,” *L’Usine Digitale* (April 18, 2018), available at <https://www.usine-digitale.fr/article/l-etat-prepare-une-blockchain-pour-les-frequencies-libres.N681954>.

¹⁶⁰ “France to trial blockchain for spectrum management,” *PolicyTracker* (May 23, 2018).

¹⁶¹ “State Agency of France is associated with a startup to manage radio frequencies with blockchain,” *Steemit* (April 2018), available at <https://steemit.com/bitcoin/@yose11n/state-agency-of-france-is-associated-with-a-startup-to-manage-radio-frequencies-with-blockchain>.

¹⁶² *Id.* at 15.

¹⁶³ See generally Martin Weiss, Kevin Werbach, et al., “On the Application of Blockchains to Spectrum Management,” 46th Annual Telecommunications Policy Research Conference (Sept. 2018), at 10-12, available at <https://ssrn.com/abstract=3141910>.

¹⁶⁴ See Khashayar Kotobi and Sven G. Bilén, “Secure Blockchains for Dynamic Spectrum Access: A Decentralized Database in Moving Cognitive Radio Networks Enhances Security and User Access,” *IEEE Vehicular Technology Magazine* (March 2018).

¹⁶⁵ Emanuele Di Pascale, Jasmina McMenamy, et al., “Smart Contract SLAs for Dense Small-Cell-as-a-Service” (March 2017), available at <https://arxiv.org/pdf/1703.04502.pdf>.

¹⁶⁶ See “Final report: The Second Enhancing Access to the Radio Spectrum Workshop Technical Report,” National Science Foundation (October 20, 2015); U.S. Dept. of Commerce Spectrum Management Advisory Committee (CSMAC), Enforcement Subcommittee Technical Report, NTIA (May 12, 2015).

¹⁶⁷ Amer Malki and M.B.H. Weiss, “Automating Ex-Post Enforcement for Spectrum Sharing: A new application for Block-chain technology,” 44th Annual Telecommunications Policy Research Conference (Sept. 2016). *See also* M.B.H. Weiss, W. H. Lehr, et al., “Socio-technical considerations for spectrum access system (SAS) design,” 2015 IEEE Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN) International Symposium, at 35-46 (Sept 2015).

¹⁶⁸ See Martin B.H. Weiss, Kevin Werbach, et al., “On the Application of Blockchains to Spectrum Management,” 46th Annual Telecommunications Policy Research Conference, at 8-9 (Sept. 2018), available at https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3141910.

¹⁶⁹ *Ibid.* The authors state that this overhead could include the need to allocate channels for users to broadcast entries to all other users, since by definition there is no centralized repository or control.

Frequency Sharing for Radio Local Area Networks in the 6 GHz Band

December 2020

Prepared by:

RKF Engineering Solutions, LLC
7500 Old Georgetown Road
Bethesda, MD



Prepared for:

Instituto Federal de Telecomunicaciones - Mexico

1 Table of Contents

1	Table of Contents	2
1.0	Executive Summary	4
1.1	Fixed Satellite Service (FSS)	5
1.2	Fixed Service (FS)	5
2	Introduction	6
2.1	Background on Three Classes of RLANs	7
2.2	Incumbent Services	;Error! Marcador no definido.
2.3	Approach	9
3	RLAN Deployment and Operating Assumptions	10
3.1	RLAN Deployment Assumptions	10
3.1.1	Number of Active RLANs and Deployment Distribution	10
3.1.2	Population Density	14
3.2	RLAN Operating Assumptions	14
3.2.1	Distribution of Source LPI and Standard Power RLAN Power Levels	15
3.2.2	Body Loss for LPI and Standard Power Indoor and Outdoor devices	22
3.2.3	Distribution of Source VLP Power Levels including Body Loss	22
3.2.4	Bandwidth and Channel Distribution	24
3.2.3	Distribution of RLAN heights	24
4	Propagation Models	27
4.1	RLAN to FSS Propagation Models (Earth to Space)	27
4.2	RLAN to Terrestrial FS Propagation Models	28
5	Sharing Results	31
5.1	FSS Uplink Sharing	31
5.1.1	FSS Simulation Methodology	32
5.1.2	RLAN Populations used in the Simulations	35
5.1.3	Results by FSS Satellite Beam	36
5.1.3.1	Satmex 8 (116.8° W)	36
5.1.3.2	Eutelsat 115 West-B (Satmex 7) (114.9° W)	37
5.1.3.3	Satmex 6 (113° W)	38
5.1.3.4	SES-3 (103° W)	39
5.1.3.5	Galaxy-19 (97° W)	41
5.1.3.6	NSS-806 (47.5° W)	42
5.1.4	FSS Link Budgets	43

5.1.5	FSS Sharing Conclusions	44
5.2	Fixed Service (FS) Sharing	45
5.2.1	FS Database	45
5.2.2	Key Modeling Assumptions	48
5.2.2.1	RLAN Device Deployment	48
5.2.2.2	FS Receiver Antenna Performance	49
5.2.2.3	FS Simulation Methodology	49
5.2.3	Aggregate Interference Simulation	51
5.2.4	FS Availability Analysis	52
5.2.5	FS Sharing Conclusions	57

1.0 Executive Summary

This study responds to the Consultation issued by the Institute Federal de Telecomunicaciones (IFT) regarding the prospective use of the 5.925 to 7.125 GHz band (“6 GHz band”).¹ The IFT raises questions about the potential use of the band by license-exempt devices, such as Radio Local Area Networks (RLANs).² The Consultation asks questions about three different types of RLANs (collectively referred to as RLANs in this report):

- Low Power Indoor (LPI);
- Standard Power (indoor/outdoor) with Automated Frequency Coordination (AFC); and
- Very Low Power (VLP) (indoor/outdoor).

The Consultation also asks questions regarding whether such RLAN use is compatible with existing incumbent services in the band. To assist in answering these questions, RKF Engineering Solutions, LLC (RKF), analyzed the potential impact of license-exempt RLANs on the two types of primary incumbent users in the band: Fixed Satellite Service (FSS) Uplink³ and Fixed Service (FS).

As IFT recognizes in its Reference Document,⁴ the three identified classes of RLANs are based on rules that have been proposed by other regulatory authorities, including the US Federal Communications Commission, Ofcom in the United Kingdom and by the Electronic Communications Committee (ECC) of the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT). The technical specifications of these device classes are intended to allow for coexistence between RLANs and incumbent users of the band, including Fixed Service links (FS) and fixed satellite uplink (FSS).

This study examines the coexistence of RLAN usage in the 6 GHz band and incumbent FSS satellite uplink services in Mexico. In addition, this study examines the impact of RLAN usage for a subset of FS links in Mexico City. This study assumes a number of instantaneously transmitting RLAN devices in Monte-Carlo simulations to understand the interference risk to FSS and FS operations in Mexico.

This study used data based on the population density in Mexico, as well as projected consumer and business RLAN usage patterns in terms of the time of use and the location (indoor/outdoor). In addition, the study accounted for the impact of body loss, indoor use, and the bandwidth and channel distribution of the RLAN devices on coexistence.

The analysis showed that RLAN operation in Mexico in the entire 6 GHz band will not cause harmful interference to FSS or FS incumbents.

¹ Public Consultation of Integration of the “Frequency Band Questionnaire 5925-7125 MHz,” Institute Federal de Telecomunicaciones (5 November 2020) <http://www.ift.org.mx/industria/consultas-publicas/consulta-publica-de-integracion-del-cuestionario-sobre-la-banda-de-frecuencias-5925-7125-mhz> (“Consultation”).

² RLAN is a generic term used to describe a device that provides local area network connections between various electronic devices. While Wi-Fi is one type of RLAN, this study applies to other RLANs with Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) operating characteristics.

³ Paired with FSS downlinks in 3.4-4.2 GHz band.

⁴ IFT Reference Document, Frequency Band 5925-7125 MHz, October 2020 available at <http://www.ift.org.mx/industria/consultas-publicas/consulta-publica-de-integracion-del-cuestionario-sobre-la-banda-de-frecuencias-5925-7125-mhz> (“IFT Reference Document”).

1.1 Fixed Satellite Service (FSS)

In the 6 GHz uplink band, random RLANs were deployed and the aggregate I/N was calculated into a number of satellite uplink beams using Monte-Carlo simulations and available satellite G/T contours. The RLANs were deployed in Mexico as well as all other countries within each satellite's view. For a conservative analysis, satellite beams with higher G/T over Mexico or bigger coverage of areas were chosen. Information on the FSS parameters was extracted from the International Telecommunication Union (ITU) Radiocommunication Bureau (BR) International Frequency Information Circular (IFIC) Space Services database.

The analysis has been applied to a satellite channel plan assuming 36 MHz channels in 40 MHz occupied bandwidth on two polarizations. Each channel on each satellite has been subject to 10 independent RLAN deployments of a Monte Carlo simulation.

Simulations show that in all cases studied, the I/N for all satellites in all channels and simulation iterations is less than -26.92 dB. It can be concluded that a deployment of RLANs in the field of view of the affected satellites will not impact the operation of the Mexican FSS uplinks in the 6 GHz band.

In conclusion, RLANs in the three device classes operating over a 20, 40, 80, or 160 MHz channel bandwidth do not cause harmful interference to an FSS uplink.

1.2 Fixed Service (FS)

Monte-Carlo simulations were performed with random RLAN deployments to understand the interference risk to FS operations in Mexico. The simulation consisted of 100,000 RLAN deployment iterations to gather stable, long-term interference statistics at 27 FS sites around Mexico City.

Statistics were gathered at each FS, on the occurrence probabilities for both $I/N > -6$ dB and 0 dB. Because these metrics do not fully describe the interference risk, an additional metric, increased FS unavailability due to RLAN interference, was used to assess degradation in FS performance. This analysis assumed a typical FS design target of 99.999% availability (unavailability=0.001% corresponding to 5.3 minutes/year). Results were compared to a target increase in unavailability of less than 10% (availability with interference $>99.9989\%$) sufficient to allow continued robustness of FS links while also allowing the new RLAN service. Sensitivity to a 1% increase in unavailability was also considered.

The $I/N > -6$ dB and 0 dB average occurrence probability of a single FS was 0.209% and 0.035% respectively for the Baseline Simulations.

For the FS availability analysis, the increase in unavailability due to RLAN interference of the 27 FS links was further analyzed in two steps. In the first step, a representative link margin required to meet the target availability was calculated without considering the specific operational parameters of each FS link. In the second step, if the simplified analysis indicated an FS link did not meet the target 10% unavailability increase, a more detailed review was conducted of individual FS operational parameters to determine the actual increase in unavailability. This analysis provided a realistic assessment of the long-term impact of the RLAN interference on FS stations and showed **all 27 links met the 10% increase in unavailability target as well as the 1% increase in unavailability sensitivity threshold.**

In conclusion, our analysis showed that RLAN operation within the parameters of the three device classes described in this report, at a variety of channel sizes, will not cause harmful interference to FS stations. In addition, sensitivity analyses on parameters including bandwidth, number of active devices, and EIRP indicated that in all cases the probability of an $I/N > -6$ dB occurrence was low and the increase in unavailability was sufficiently low to allow continued robustness of FS links.

2 Introduction

Devices that employ Wi-Fi and other unlicensed standards have become indispensable for providing low-cost wireless connectivity in countless products used by Mexican consumers. License-exempt technologies are a critical element in delivering broadband connectivity to consumers and businesses. Wi-Fi is needed to connect all devices in a household or business to a wired or wireless broadband connection. As consumers rely on more devices, reliable and fast Wi-Fi connectivity has become essential. However, despite the increasing reliance on license-exempt technology, and the enormous growth in traffic demands being placed on the technology globally, the spectrum allocated to Wi-Fi use remains limited to the 2.4 GHz and 5 GHz bands as it has for many years.

The latest Wi-Fi technology—designed for speed, low latency and to optimize use by many devices in the same location—uses much wider channelization to meet the far more intensive broadband needs of consumers and businesses alike. For example, the latest generation of Wi-Fi technology, Wi-Fi 6, can utilize radio channels as broad as 80 or 160 megahertz, and a future generation of Wi-Fi technology that is already in development will utilize channels of 320 megahertz.⁵

⁵“Wi-Fi 6 Certified, Capacity, efficiency, and performance for advanced connectivity,” Wi-Fi Alliance, <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>. There are a number of technological improvements contained in Wi-Fi 6 that make this generation of technology the most spectrally efficient version of Wi-Fi in history, including multi-user MIMO, beamforming, and “target wake time” to improve network efficiency and device battery life. When deployed in 6 GHz, Wi-Fi 6 will be called Wi-Fi 6E.

For these reasons, on April 23, 2020, the Federal Communications Committee in the United States (the FCC) adopted rules⁶ that made 1200 MHz of spectrum available in the 6 GHz band (5.925-7.125 GHz) for license-exempt use. These new rules will expand license-exempt broadband operations that promise to bring a wide range of innovative wireless applications to consumers while protecting incumbent users in the band. As has occurred with Wi-Fi in the 2.4 GHz and 5 GHz bands, it is expected that the rules adopted for 6 GHz unlicensed devices will foster the expansion of Wi-Fi hotspot networks to provide consumers access to even higher speed data connections and growth in the Internet-of-things (IoT) industry—connecting appliances, machines, meters, wearables, and other consumer electronics, as well as industrial sensors for manufacturing. This capability will quickly become a part of peoples’ everyday lives.

In this study, produced in response to the IFT’s consultation on the 6 GHz band, RKF used a proven methodology to model a Monte Carlo simulation of coexistence. This methodology was used in the studies submitted before the US FCC.

The study is focused on examining coexistence between the three classes of RLANs (Standard-Power AFC, LPI, and VLP) and the uplink of Mexico’s FSS satellites in the 5925-6425 MHz band. To produce results for Mexico, RKF used data based on the population distribution and density in Mexico, as well as projected consumer and business RLAN usage patterns in terms of the time of use and the location (indoor/outdoor). In addition, the study accounted for the impact of body loss, indoor use, and the bandwidth and channel distribution of the RLAN devices on coexistence.

RKF obtained Mexico FSS uplink data from BR International Frequency Information Circular (Space Services) (BR IFIC).

The data for FS links in the vicinity of Mexico City were provided by the IFT.

2.1 Background on Three Classes of RLANs

This analysis included the three classes of RLANs recognized by the IFT in its Reference Document.⁷ This device class framework that has been established by the FCC⁸ as well as the United Kingdom⁹ and the CEPT in Europe.¹⁰

⁶ See *Unlicensed Use of the 6 GHz Band*, Report and Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, ET Docket No. 18-295, FCC 20-51 (rel. Apr. 23, 2020) at https://ecfsapi.fcc.gov/file/0424167164769/FCC-20-51A1_Rcd.pdf. (“6 GHz Report and Order”).

⁷ IFT Reference Document at 18-31.

⁸ See 6 GHz Report and Order (adopting low power indoor and standard power with AFC and proposing VLP in its Further Notice of Proposed Rulemaking).

⁹ The UK adopted LPI and VLP in the lower 500 MHz of the 6 GHz band. Statement:Improving Spectrum access for wifi—spectrum use in the 5 and 6 GHz bands (24 July 2020) available at https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0036/198927/6ghz-statement.pdf

¹⁰ The Electronic Communication Committee approved the [ECC Decision 20\(01\)](#) and the [CEPT Report 75](#) during its plenary meeting 16-20th November 2020. This Decision supports LPI and VLP in the lower 500 MHz of the 6 GHz band.

Low Power Indoor: The FCC authorized LPI access points and client devices across the entire 6 GHz band and do not rely on the AFC system for determining the frequencies available for use. These low-power access points will be ideal for connecting devices in homes and businesses, such as smartphones, tablet devices, laptops, and IoT devices, to the Internet. Using these advanced Wi-Fi technologies and wider channels (up to 320 MHz) available in the 6 GHz band, unlicensed devices promise to spur innovations and allow consumers to experience faster internet connections and new applications well beyond what is possible with 2.4 GHz and 5 GHz bands.

Very Low Power portable: The FCC has an active rulemaking proceeding considering VLP portable (indoor/outdoor) devices in the 6 GHz band at 14 dBm EIRP. The United Kingdom adopted this class of RLANs, and CEPT is poised to adopt the same.¹¹ Portable VLP devices will expand innovation even further and will be critical for supporting indoor and outdoor portable use cases such as wearable peripherals including augmented reality/virtual reality as well as in-vehicle applications and other personal-area-network applications.

Standard Power with AFC: The FCC authorized Standard Power with AFC access points but restricted them to operate within the U-NII-5 (5925-6425 MHz) and U-NII-7 (6525-6875 MHz) portions of the band. The AFC system determines the frequencies on which Standard Power access points operate without causing harmful interference to incumbent microwave receivers and then identifies those frequencies as available for use by Standard Power access points.

¹¹ See *supra* notes 9 and 10.

2.2 Approach

A detailed nationwide simulation of the interference environment was developed and RKF ensured its simulation was a conservative representation of the interference environment by:

- 1) Analyzing FSS beams susceptible to highest interference levels. The BR International Frequency Information Circular (Space Services) (BR IFIC) was used to extract the FSS filings;
- 2) Using the Gridded Population of the World V4 (GPWv4) from NASA's Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). GPWv4 provides a global composite raster grid of population density at 30 arcsecond resolution (approximately 1 km at the equator) using population estimates for the years 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020. This dataset can also be supplemented with national population projections from other sources for intermediate or extrapolated years through linear scaling approximations over administration boundaries. The population of Mexico, as well as the Americas and other areas in the view of the simulated Satellites, in 2025 has been calculated on the basis of the 2018 edition of the UN World Population Prospects;
- 3) Using realistic but conservative RLAN operating and deployment assumptions as described in Section 3.0. These were based on existing and projected market data, usage, and performance;
- 4) Using worst case scenarios to represent possible situations;
- 5) Executing numerous different scenarios with a wide variation of propagation paths and RLAN deployment configurations to ensure statistically significant results. US Census Bureau (USCB) definitions are used to partition the Mexico into urban, suburban, and rural areas and the GWPv4 2025 projected Mexico population density was used to randomly deploy RLANs for each simulation iteration;
- 6) An I/N of -6 dB was used as a comparison threshold for the FS in this study with the understanding that the analysis in this report is very conservative and did not take into account many factors that would lower the aggregate I/N.

Simulation results and sharing studies with FSS uplinks are covered in Section 5.1, and FS links in Section 5.2.

3 RLAN Deployment and Operating Assumptions

This section describes the analysis and methodology for assigning source quantities to the proposed 6 GHz band RLANs and their operating parameters.

3.1 RLAN Deployment Assumptions

3.1.1 Number of Active RLANs and Deployment Distribution

Table 3-1 depicts the parameters and calculations used to develop the numbers of active RLANs. As noted above, this study applies to all RLAN classes below, including but not limited to Wi-Fi Access Points (AP) and stations:

- Indoor (98%):
 - LPI and Standard-Power (88%)
 - VLP (10%)
- Outdoor (2%):
 - Standard-Power (1%)
 - VLP (1%)

At a first level, the deployment of RLANs is assumed to be closely associated with population density, and therefore geographically allocated according to the population distribution in Mexico. The basis of the active device analysis is an estimated Mexico population of 141 million in 2025. As described in Section 3.1.2, we used USCB population density thresholds that determined the percentage of population in urban, suburban, and rural areas across Mexico.

Table 3-1 - RLAN Active Device Distribution

	TOTAL	URBAN			SUBURBAN			RURAL (includes BARREN)		
Population (%)	100.0000%	77.0%			3.7%			19.3%		
User Type	All	Corporate	Public	Home	Corporate	Public	Home	Corporate	Public	Home
Type (%)	All	10	5	85	5	5	90	2	1	97
Device Population	433,018,636	33,344,470	16,672,235	283,427,997	790,831	790,831	14,234,951	1,675,150	837,575	81,244,771
High Activity Device Population (% of Total)		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Data per device per hour, (MBytes)		1000	500	2000	1000	500	2000	1000	500	2000
Device Rate (Mbps)		2.22	1.11	4.44	2.22	1.11	4.44	2.22	1.11	4.44
Link Speed (Mbps)		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Duty Cycle per Device		0.22%	0.11%	0.44%	0.22%	0.11%	0.44%	0.22%	0.11%	0.44%
Instantaneous Number of Transmitting 6 GHz Devices (Subtotal, High Activity)	178,395	7,410	1,852	125,968	176	88	6,327	372	93	36,109
Low Activity Device Population (% of Total)		90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Data per device per hour, (Mbytes)		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Device Rate (Mbps)		0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
Link Speed (Mbps)		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Duty Cycle per Device		0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%	0.00022%
Instantaneous Number of Transmitting 6 GHz Devices (Subtotal, Low Activity)	866	67	33	567	2	2	28	3	2	162
Instantaneous Number of Transmitting 6 GHz Devices (total)	179,261	7,477	1,886	126,535	177	89	6,355	376	95	36,271

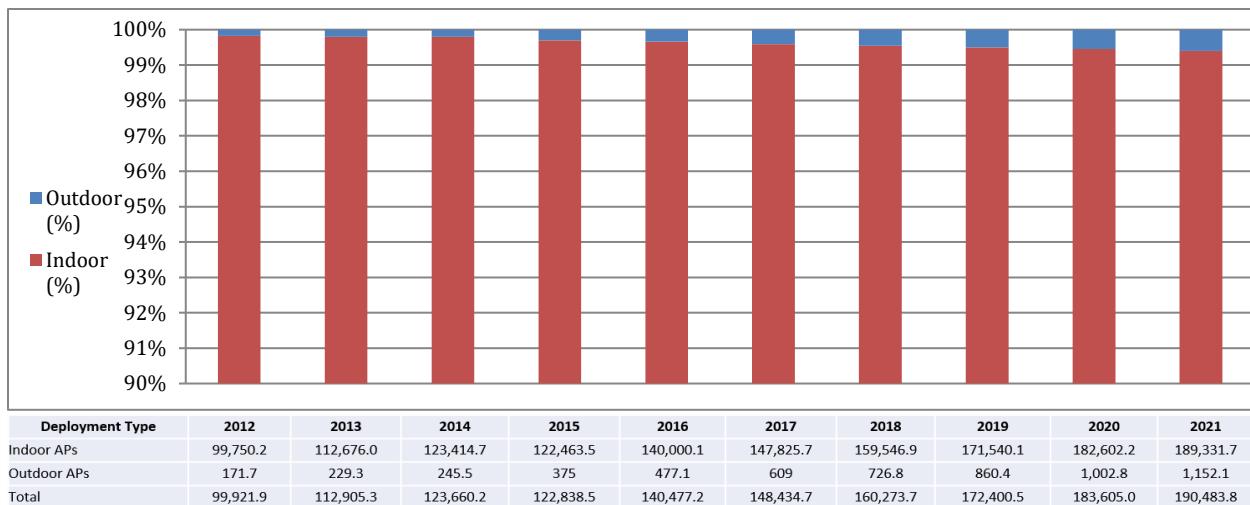
Assuming an average RLAN device count of 10 per person, the total RLANs in operation over Mexico is estimated to be 1.41 billion in 2025 and the market penetration of 6 GHz capable RLANs is assumed to be 45%. Because 6 GHz capable RLANs are expected to also operate in the 2.4 and 5 GHz bands, and assuming spectrum loading will be even across all the contemplated channels in the unlicensed bands, 68% of 6 GHz enabled RLANs are estimated to be using the 6 GHz band. As shown in the following equation, the resulting number of RLANs connected to a 6 GHz network is 433 million:

$$\text{Total 6 GHz Attached Devices} = \text{Total Population (people)} \times \text{Devices per Person} \times \text{Market Penetration} \times (\text{target 6 GHz Spectrum}) / (\text{total 2.4 + 5 + 6 GHz Spectrum}) \quad (3-1)$$

$$\text{Total 6 GHz Attached Devices} = (141,132,000 \times 10 \times 0.45 \times 1200/1760) = 433 \text{ Million} \quad (3-2)$$

To estimate indoor versus outdoor deployments, we used Figure 3-2 which depicts the ratio of indoor vs outdoor Wi-Fi AP shipments from 2011 to 2021, including both historical actual shipment figures for Wi-Fi APs through 2016 as well as a forecast for future years. Outdoor unit shipments in 2021 are estimated at 0.6% of all Wi-Fi APs.

Figure 3-1 - Worldwide Indoor vs Outdoor Wi-Fi Shipments.
Source: Dell'Oro Group July 2017 Wireless LAN report (thousands)



While this study considers RLANs generally, a conservative model for outdoor 6 GHz RLANs may consider both Wi-Fi and 3GPP based technologies such as Licensed Assisted Access (LAA) because many small cell deployments are expected to be outdoors. Table 3-2 depicts data from the Small Cell Forum and shows a forecast of 1.5 million outdoor small cells deployed in 2021.¹²

Applying the same 45% market penetration for outdoor small cells that are LAA and 6 GHz-capable, yields figures slightly lower than the outdoor Wi-Fi AP market. The combined forecast of Wi-Fi and small cell outdoor shipments is approximately 1% of total units in 2021. Doubling this figure yields a conservative ratio for indoor vs. outdoor RLANs in all sub-markets of 98% and 2% respectively.¹³

Table 3-2 - Small Cell Forum Forecast for Outdoor Small Cell Shipments (thousands)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR
Indoor	176	310	794	1,080	1,901	2,946	3,420	3,239	52%
Outdoor	47	78	251	441	937	1,387	1,466	1,596	66%
Total	223	388	1,045	1,521	2,838	4,333	4,886	4,835	55%

For the peak usage analysis (busy hour), an activity level was assigned to represent the amount of data consumed wirelessly. For this analysis, the activity on these RLANs was distributed around two primary modes (i.e., bi-modal):

- “High activity” mode – Typical of RLANs in active use by a person. For this simulation we assumed one device per person, a more conservative model than typical assumptions.
- “Low activity” mode – Typical of RLANs making periodic or intermittent transfers of data, such as RLANs connected to the network but not in direct use (idle), or RLANs that make small data transfers typical of “Internet of Things” (IoT) connected devices.

¹² This data is based on a forecast made in 2018.

¹³ 5G Americas and Small Cell Forum, *Multi-operator and Neutral Host Small Cells: Drivers, Architectures, Planning and Regulation*, Dec. 2016, http://www.5gamerica.org/files/4914/8193/1104/SCF191_Multi-operator_neutral_host_small_cells.pdf.

To determine the worst-case time of interference into incumbent systems, busy hours for corporate, public, and home usage were studied. The study assumed that RLAN usage is heaviest during busy hour across Mexico of 7:00 pm – 8:00 pm CDMX. It was assumed that on average every person in Mexico is actively using one RLAN during the busy hour while owning an average of nine other RLANs that were not being actively used. As a result, the percentage of devices in the High activity mode was assumed to be 10% and 90% were assumed to be in the Low activity mode.^{14,15}

For devices in the High activity mode, usage was modeled to be 2.0 Gbytes/hour (4.44 Mbps) for the home user, 1 Gbytes/hour (2.22 Mbps) for the corporate user, and 500 Mbytes/hour (1.11 Mbps) for public (hotspot connected) users. For devices in the Low activity mode, usage was modeled to be 1 Mbyte/hour (2.2 kbps).

As a final step in this derivation, the efficiency of high bitrate modulation techniques offered by modern unlicensed wireless technologies is considered. It is expected that new, 6 GHz technology will deliver an average application layer throughput rate of 1 Gbps as achieved in current 5 GHz technology. It is also expected that this capability will be deployed for the types of 6 GHz devices in use during the busy hour for applications like video streaming. Based on the available over-the-air rate of the AP, the data required per device per hour and the required duty cycle can be assigned per device as follows:

$$\text{Device Duty Cycle} (\% \text{ of available airtime}) = \text{Data per Device per Hour (Mbytes)} \times (8 \text{ bits} / 3600 \text{ secs}) / \text{Average Rate (Mbps)} \quad (3-3)$$

For example, for the Home Market active device model

$$\text{Device Duty Cycle} = 2000 \text{ MBytes} \times (8/3600) / 1000 \text{ Mbps} = 0.44 \% \quad (3-4)$$

The number of instantaneously active devices included in the model over all of Mexico is the sum of the low and high activity mode devices for all markets (urban, suburban, rural) and environments (corporate, public, home) as follows:

$$\text{Instantaneous Transmitting Devices} = \text{Total Devices Using 6 GHz} \times \text{Duty Cycle} \quad (3-5)$$

Note that the device duty cycle is calculated and assigned for all RLANs in each of the above market types and environments and for both low and high activity mode devices. Table 3-1 shows the resulting input quantities of instantaneous transmitting devices for each of these markets and environments.

¹⁴ ITU document Revision 1 to 5A/TEMP/236, Sharing and compatibility studies of WAS/RLAN in the 5 150-5 250 MHz frequency range, Section 5.1.1.4.2.5, stated busy hour demographic factor was 71%, 64%, and 47% for urban suburban, and rural populations. This simulation assumed 90%.

¹⁵ While the ITU-R Working Party 5A concludes that busy hour participation is 62.7%, this simulation uses 90%. ITU-R, Annex 22 to Working Party 5A Chairman's Report: Use of Aggregate RLAN Measurements from Airborne and Terrestrial Platforms to Support Studies Under WRC-19 Agenda Item 1.16 (Nov. 16, 2017) at 3, available at <https://www.itu.int/md/R15-WP5A/new/en> (ITU-R 5A/650 (Annex 22)-E).

3.1.2 Population Density

Sharing analysis for this report used an estimated 2025 population density, based on the UN World Population Prospects, to randomly distribute the active RLANs estimated in Section 3.1.1.¹⁶ Population density thresholds, were derived over the contiguous United States (CONUS) by dividing CONUS into 71.2% urban, 9.5% suburban, and 19.3% rural¹⁷ geo areas, based on USCB 2010 percentages. This resulted in population density thresholds that are applied to Mexico's population density grid database per below:

- if population density ≥ 513.04217 people/km², it is urban;
- if population density is $< 513.04217 \geq 227.30449$ people/km², it is suburban; and
- if population density is < 227.30449 , it is rural.

This resulted in percentages of Mexico population and area in urban, suburban and rural geo-areas per Table 3-3.

The resulting population and area percentages shown in Table 3-1 were used in the simulations to randomly distribute the number of RLANs estimated in Section 3.1.1 for sharing analysis with the existing uplink FSS and FS services in the 6 GHz band.

As can be seen, approximately 98% of Mexico is rural, which implies that RLAN operation will be predominantly concentrated in urban and suburban areas.

Table 3-3 - Population Density in Mexico

	Population (%)	Area ¹⁸ (%)
Urban	77.0%	1.4%
Suburban	3.7%	0.8%
Rural	19.3%	97.7% ¹⁹

3.2 RLAN Operating Assumptions

To perform a thorough simulation of RLAN sharing of the 6 GHz band, reasonable statistical operating assumptions were developed to account for the myriad possibilities of RLAN use given the deployment models in Section 3.1. As described in that section, rural, suburban, and urban environments with corporate, public, and home submarkets were considered. Within each of these nine submarkets, key operating parameters that affect the received interference level include RLAN source EIRP, bandwidth and channel usage, and installed height. Because these

¹⁶ Socioeconomic Data and Applications Center, *Gridded Population of the World (GPW)*, v4, NASA, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4/maps/gallery/search?facets=theme:population> (last visited June 27, 2020).

¹⁷ These definitions are consistent with the 2010 Census Bureau classifications (urban clusters, urbanized areas, and rural environments).

¹⁸ The sum of the areas does not add to 100% due to rounding.

¹⁹ 10.6% of the area has zero population.

operating parameters can vary, statistical assumptions must be derived before they can be used in the simulations.

3.2.1 Distribution of Source LPI and Standard Power with AFC RLAN Power Levels

To develop the statistical LPI and Standard Power with AFC RLAN source power, or EIRP, we looked at typical use cases, RLAN peak power, and busy hour usage weights for LPI and Standard Power with AFC RLANs (referred to “RLANs” in this section). Since RLAN locations and antenna orientations tend to be random and RLANs generally have a wide range of available output power and operating characteristics, randomization of the RLAN source EIRP values is a valid approach for the broad statistical analysis of this report.

As stated in Section 3.1, both indoor and outdoor RLAN installations were randomized based on population density and therefore can be installed anywhere relative to a victim receiving location. In each installation, the orientation of the RLAN antenna is in general not fixed. Therefore, in the analysis we assumed an equal weight assigned to all values in the E-plane pattern. Outdoor RLAN antennas most likely will be oriented such that the omnidirectional pattern is horizontal with respect to the ground at the installation site and, as shown in Figures 3-4 through 3-9, will be designed to limit maximum EIRP to 1 Watt above 30° in elevation (9 dB higher than currently allowed in U-NII-1 rules). Even though indoor RLAN antennas have similar elevation patterns (E-plane) as outdoor RLANs, an isotropic radiating pattern for all indoor RLANs was used in the simulations to define a worst-case scenario.

Given these basic assumptions, the expected RLAN power levels can be represented by a distribution of power levels. To derive the RLAN source EIRP in the submarkets described in Section 3.1.1, seven typical use cases were used.

- Indoor Enterprise AP, Indoor Consumer AP, and Indoor High-Performance AP
- Indoor/Outdoor Client
- Outdoor High-Power AP, Outdoor Low Power AP

Table 3-4 provides the peak power of these use cases in the elevation patterns (E-plane) depicted in Figure 3-3 through 3-8. For this analysis, the horizontal patterns (H-plane) were assumed to be omnidirectional.

Table 3-4 – Peak Power (EIRP) of Typical LPI and Standard Power with AFC RLAN Use Cases

	Indoor Enterprise AP	Indoor Consumer AP	Indoor High Performance Gaming Router	Indoor/Outdoor Client	Outdoor High Power AP	Outdoor Low Power AP
	<i>Figure 3-4</i>	<i>Figure 3-5</i>	<i>Figure 3-6</i>	<i>Figure 3-7</i>	<i>Figure 3-8</i>	<i>Figure 3-9</i>
Conducted Power (dBm)	13.5	12.5	24	12	27	14
Peak Antenna Gain (dBi)	4.1	5.3	5.3	3.5	5.3	5.3
MIMO Gain (dB)	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	4.8

Total Peak EIRP (dBm)	23.6	23.8	35.3	18.5	35.3	24.1
--------------------------	------	------	------	------	------	------

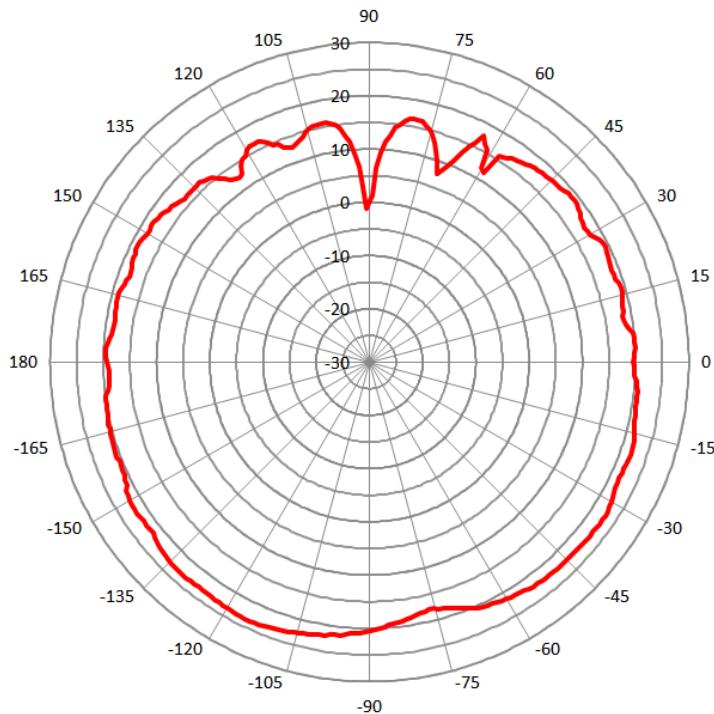


Figure 3-2 - Indoor Enterprise Access Point, Typical Pattern (EIRP)

Indoor Enterprise Access Point EIRP Probability based on E-Plane Directivity	
36 dBm \leq 30 dBm	0.00%
< 30 dBm \leq 24 dBm	0.00%
< 24 dBm \leq 20 dBm	40.17%
< 20 dBm \leq 17 dBm	34.07%
< 17 dBm \leq 11 dBm	22.16%
< 11 dBm \leq 0 dBm	3.32%
< 0 dBm	0.28%
Total	100.00%

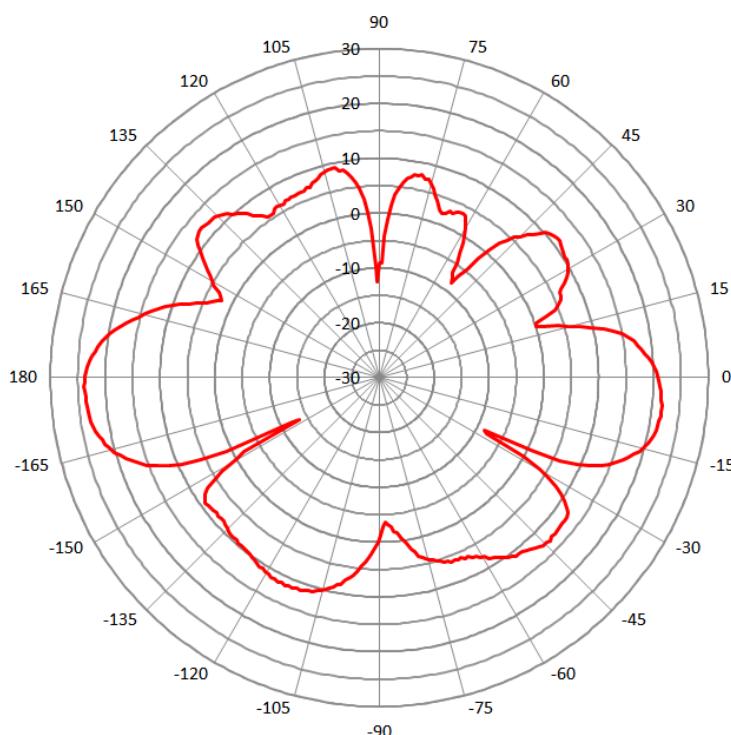


Figure 3-3 - Indoor Consumer Access Point, Typical Pattern (EIRP)

Indoor Consumer Access Point EIRP Probability based on E-Plane Directivity	
36 dBm \leq 30 dBm	0.00%
< 30 dBm \leq 24 dBm	0.00%
< 24 dBm \leq 20 dBm	11.19%
< 20 dBm \leq 17 dBm	4.16%
< 17 dBm \leq 11 dBm	16.90%
< 11 dBm \leq 0 dBm	58.73%
< 0 dBm	8.31%
Total	100.00%

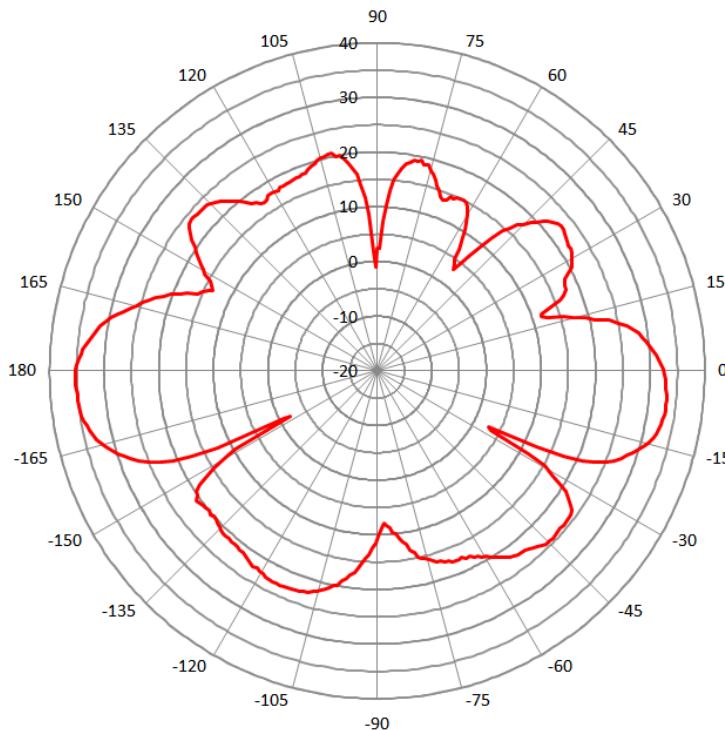


Figure 3-4 - Indoor High-Performance Gaming Router, Typical Pattern (EIRP)

**Indoor High-Performance
Gaming Router Access Point**
EIRP Probability based on E-
Plane Directivity

36 dBm \leq 30 dBm	14.13%
< 30 dBm \leq 24 dBm	8.86%
< 24 dBm \leq 20 dBm	30.19%
< 20 dBm \leq 17 dBm	21.33%
< 17 dBm \leq 11 dBm	17.45%
< 11 dBm \leq 0 dBm	7.20%
< 0 dBm	0.83%
Total	100.00%

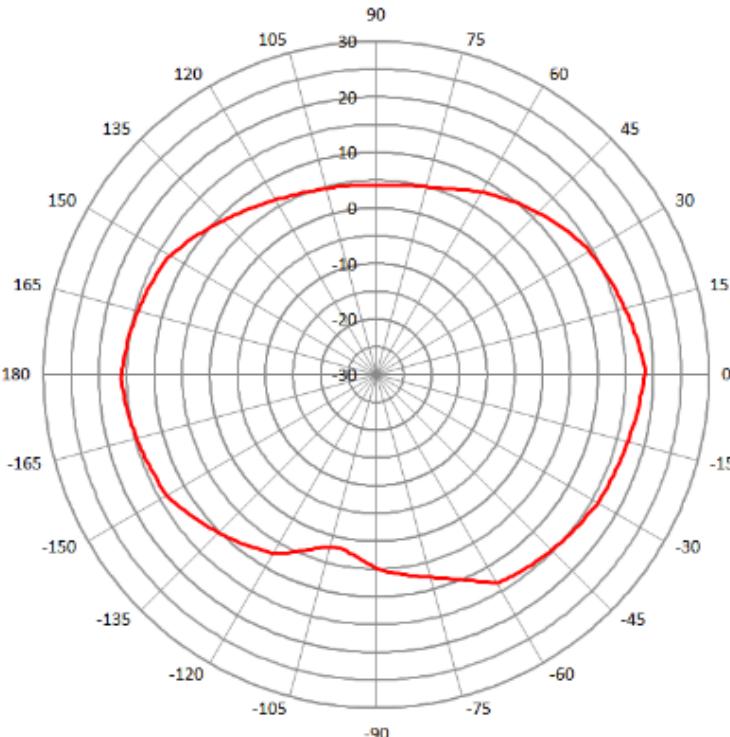


Figure 3-5 - Indoor and Outdoor Client, Typical Pattern (EIRP)

Indoor and Outdoor Client
EIRP Probability based on E-
Plane Directivity

36 dBm \leq 30 dBm	0.00%
< 30 dBm \leq 24 dBm	0.00%
< 24 dBm \leq 20 dBm	0.00%
< 20 dBm \leq 17 dBm	6.93%
< 17 dBm \leq 11 dBm	45.71%
< 11 dBm \leq 0 dBm	47.37%
< 0 dBm	0.00%
Total	100.00%

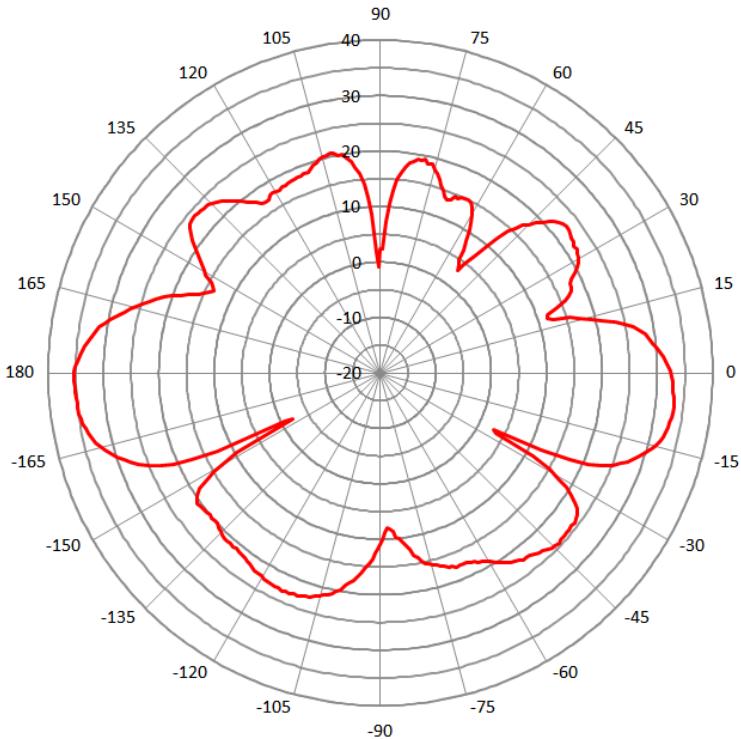


Figure 3-6 - Outdoor High-Power Access Point, Typical Pattern (EIRP)

Outdoor High-Power Access Point EIRP Probability based on E-Plane Directivity	
36 dBm \leq 30 dBm	14.13%
< 30 dBm \leq 24 dBm	8.86%
< 24 dBm \leq 20 dBm	30.19%
< 20 dBm \leq 17 dBm	21.05%
< 17 dBm \leq 11 dBm	17.73%
< 11 dBm \leq 0 dBm	7.20%
< 0 dBm	0.83%
Total	100.00%

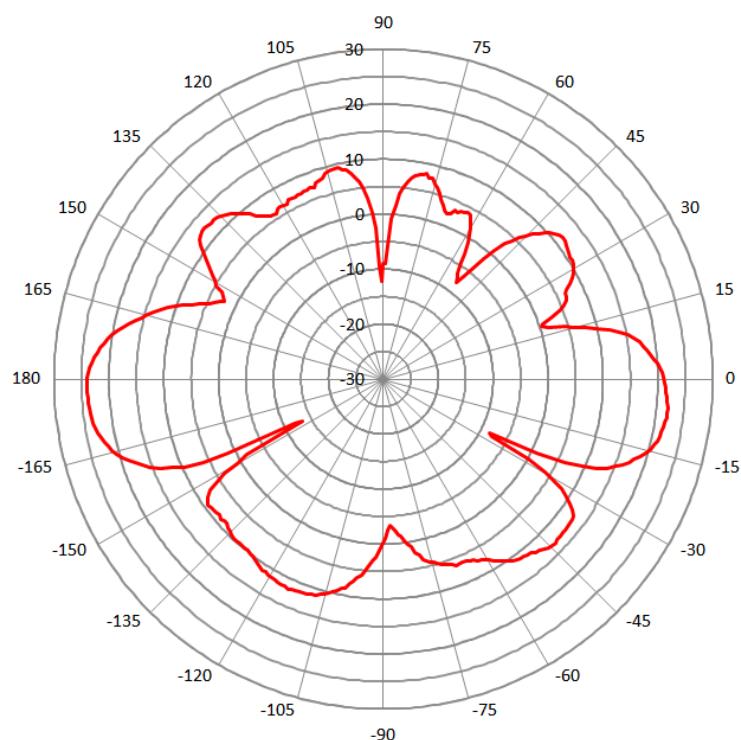


Figure 3-7 - Outdoor Low-Power Access Point, Typical Pattern (EIRP)

Outdoor Low Power Access Point EIRP Probability based on E-Plane Directivity	
36 dBm \leq 30 dBm	0.00%
< 30 dBm \leq 24 dBm	0.83%
< 24 dBm \leq 20 dBm	11.36%
< 20 dBm \leq 17 dBm	4.43%
< 17 dBm \leq 11 dBm	19.11%
< 11 dBm \leq 0 dBm	56.23%
< 0 dBm	8.03%
Total	100.00%

The mix of indoor and outdoor RLANs is conservatively estimated at 98% and 2%, respectively (Section 3.1.1). Table 3-5 provides busy hour weights for indoor use cases. Note that device weights correspond to a 1:1 ratio of downlink to uplink traffic for corporate and public users, and a 2.3:1 ratio for home users.

Table 3-5 - Busy Hour Weights Assigned to Use Cases, Indoor Environments (by submarket)

User Type	URBAN			SUBURBAN			RURAL			BARREN		
Client	50%	50%	25%	50%	50%	25%	50%	50%	25%	50%	50%	25%
Enterprise AP	50%	50%	0%	50%	50%	0%	50%	50%	0%	50%	50%	0%
Consumer AP	0%	0%	70%	0%	0%	70%	0%	0%	70%	0%	0%	70%
High-Performance Gaming Router	0%	0%	5%	0%	0%	5%	0%	0%	5%	0%	0%	5%
Total (Indoor)	100											

Since outdoor RLAN usage is not expected to vary significantly by submarkets, all use cases were assigned the same weights in all submarkets (Table 3-6) and, for all outdoor scenarios, a 1:1 ratio of downlink to uplink traffic was used.

The combination of the use case busy hour weights of Tables 3-5 and 3-6, with the E-plane patterns shown in Figures 3-4 through 3-9, results in a power distribution for the source RLANs as shown in Table 3-7 for indoor RLANs and Table 3-8 for outdoor RLANs. This results in weighted average EIRPs for indoor RLANs of 19.167 dBm, outdoor RLANs of 22.73 dBm, and combined indoor/outdoor of 19.28 dBm are used in the simulations. It is noted that although these weighted average EIRP values were independently derived by the methods described above, the resulting values are consistent and slightly conservative compared to EIRP values used for previous RLAN sharing studies.^{20,21,22}

Table 3-6 - Busy Hour Weights Assigned to Use Cases, Outdoor Environment (all sub-markets)

	URBAN	SUBURBAN	RURAL
Outdoor High-Power AP (Figure 3-8)	20%	20%	20%
Outdoor Low Power AP (Figure 3-9)	30%	30%	30%
Outdoor Client (Figure 3-7)	50%	50%	50%
Total (Indoor)	100%	100%	100%

The distributions in Tables 3-7 and 3-8 represent the probability of the specified EIRP occurring in any random direction from an active RLAN. For the purposes of simulation, the continuous values in between each breakpoint shown in the tables are represented as the maximum value. For example, the probability of a 250 mW EIRP from Table 3-7 for indoor RLANs of 10.39% is inclusive of all continuous EIRP probabilities greater than 100 mW, up to and including 250 mW, and were then

²⁰ ITU document Revision 1 to 5A/TEMP/236, Sharing and compatibility studies of WAS/RLAN in the 5 150-5 250 MHz frequency range, Section 5.1.1.4.2.1, average EIRP is 18.9 dBm for indoor RLANs, 21.2 dBm for outdoor RLANs, and 19 dBm for indoor and outdoor.

²¹ ITU document Revision 1 to 5A/TEMP/236, Sharing and compatibility studies of WAS/RLAN in the 5 150-5 250 MHz frequency range, Appendix 2, Section 5.1.4.2.1, states average power used in the analysis was 19 dB with average.

²² The ITU-R concludes that a mean EIRP of 19 dBm should be used for 5 GHz RLAN studies. ITU-R 5A/650 (Annex 22)-E at 3.

included in the simulation as 250 mW sources with a 10.39% probability of occurrence. Because the distributions of Tables 3-7 and 3-8 already assume the RLAN antenna orientation to the victim receive locations are random, no further adjustment is provided in the analysis for directivity effects of the RLAN sources. This is equivalent to stating that the above EIRP values are treated isotropically (radiate equally in all directions) once seeded into the model for a given source location. EIRP values above 1W up to and including 4W are modeled as isotropic for indoor use cases, but limited (truncated) to 1W at elevation angles above 30° for outdoor RLANs as described above.

Table 3-7 - LPI and Standard Power with AFC Indoor Source EIRP Distribution (mW)

Indoor Use Case	Weight	Weighted EIRP Distribution (mW)								Total
		4000	1000	250	100	50	13	1		
Client	26.32%	0.00%	0.00%	0.00%	1.82%	12.03%	12.47%	0.00%	26.32%	
Enterprise AP	2.63%	0.00%	0.00%	1.06%	0.90%	0.58%	0.09%	0.01%	2.63%	
Consumer AP	66.31%	0.00%	0.00%	7.90%	2.76%	11.20%	38.94%	5.51%	66.31%	
High-Performance Gaming Router	4.74%	0.67%	0.42%	1.43%	1.01%	0.83%	0.34%	0.04%	4.74%	
Sub-Total	100.00%	0.67%	0.42%	10.39%	6.49%	24.64%	51.84%	5.56%	100.00%	

The weights shown in Table 3-7, that applies to LPI and Standard-Power Indoor devices, were obtained by combining the use cases of Table 3-5 with the active device populations shown in Table 3-1. For example, the indoor client weight of 26.32% is obtained as the weighted sum of the active devices inclusive of all submarkets as derived in the equation below.

$$\text{Indoor Client Weight} = \{ \text{Table 3-5 [Urban (Corporate, Public, Home)]} \times \text{Table 3-1 Device Population [Urban (Corporate, Public, Home)]} + \text{Table 3-5 [Suburban (Corporate, Public, Home)]} \times \text{Table 3-1 Device Population [Suburban (Corporate, Public, Home)]} + \text{Table 3-5 [Rural (Corporate, Public, Home)]} \times \text{Table 3-1 Device Population [Rural (Corporate, Public, Home)]} \} / \{ \text{Table 3-1 [Total Active Devices]} \} \quad (3-6)$$

The weights shown in Table 3-8, that applies to Outdoor Standard-Power devices, are the same as Table 3-6 for all outdoor devices because there is no variation assumed in the proportion of active devices for each use case across the sub-markets.

Table 3-8 – Outdoor Standard Power with AFC RLAN Source EIRP Distribution (mW)

Outdoor Use Case	Weight	Weighted EIRP Distribution (mW)								Total
		4000	1000	250	100	50	13	1		
High Power AP	20%	2.83%	1.77%	6.04%	4.21%	3.55%	1.44%	0.17%	20.00%	
Low Power AP	30%	0.00%	0.25%	3.41%	1.33%	5.73%	16.87%	2.41%	30.00%	
Client	50%	0.00%	0.00%	0.00%	3.46%	22.85%	23.68%	0.00%	50.00%	
Sub-Total	100.00%	2.83%	2.02%	9.45%	9.00%	32.13%	41.99%	2.58%	100%	

For the simulation, interference results are presented as the aggregate interference from a deployment of all RLAN device types.

3.2.2 Body Loss for LPI and Standard Power with AFC Indoor and Outdoor devices

RF signal attenuation that is caused by the human body is typically taken into account in sharing studies with mobile client devices. A fixed body loss value of 4 dB is applied when the modelled LPI or Standard Power with AFC RLAN device is a client, while body loss is assumed to be non-existent for Access Point devices. The percentage of client devices is given as 26.32% and 50% for indoor and outdoor deployments, respectively, in Section 3.2.1. Hence, the following methodology is applied in the Monte-Carlo simulations for LPI and indoor and outdoor Standard Power with AFC devices:

- a) For indoor devices, apply 4 dB additional loss for 26.32% of the devices (clients)
- b) For outdoor devices, apply 4 dB additional loss for 50% of the devices (clients)

3.2.3 Distribution of Source VLP Power Levels including Body Loss

For VLP devices where the body interacts with the device (because the device is closer to body), for higher accuracy, the full distribution of body loss is used. Antenna gain measurements were made in proximity of the human body considering various use case device positioning, static vs. dynamic conditions, device orientations, and the physical characteristics of the human body. The comprehensive on-body over-the-air measurements and analysis of the associated body loss distributions applicable to the indoor and outdoor VLP device are described in the Wireless Research Center of North Carolina study attached to the RLAN Group Comments, and shown in Figure 3-8.²³ In the Monte-Carlo simulations, antenna gain values ($G_{FarField}$ in Eqn. 2-1) are selected randomly from the distribution in Figure 3-8 and is added to a fixed value of 14 dBm to get the net EIRP level that includes antenna mismatch and body loss for indoor and outdoor VLP devices.

²³ Wireless Research Center of North Carolina, On-Body Channel Model and Interference Estimation at 5.9 GHz to 7.1 GHz Band at Fig. 26 (June 2020).

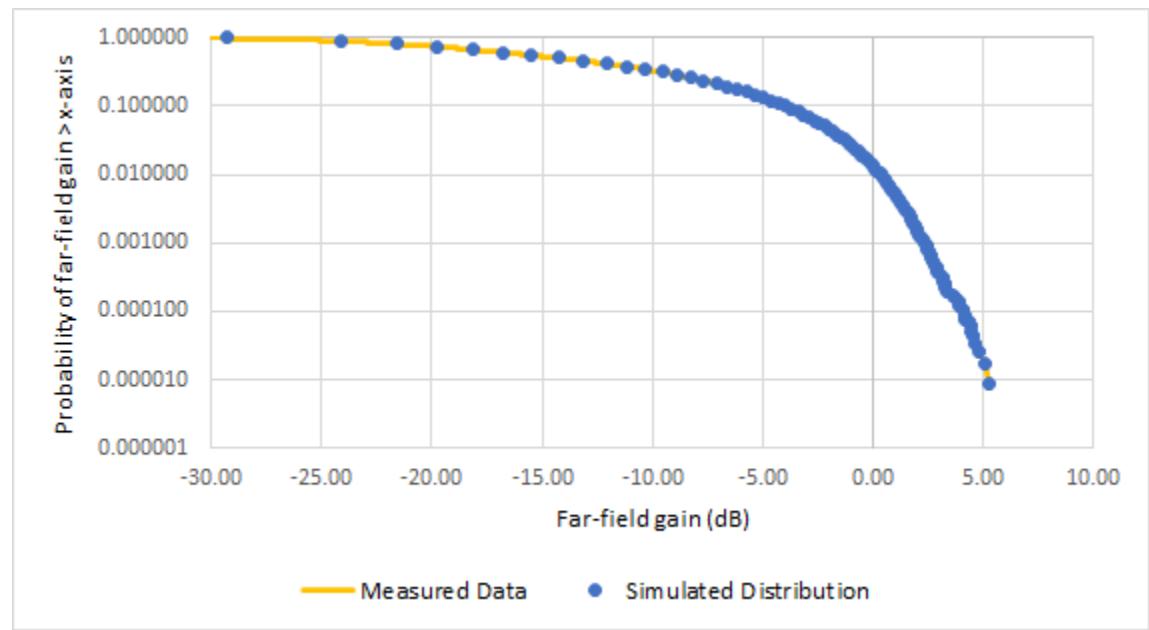


Figure 3-8 – Probability of VLP device far-field gain > x-axis: measurements versus simulated distribution

3.2.4 Bandwidth and Channel Distribution

RLANs modeled in this report are assumed to operate in 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, and 160 MHz bandwidth channels. To determine the number of channels, and how those channels may overlap with FSS and FS receivers, the following channel plan outlined in Figure 3-9 was assumed. Note that the 20-MHz channel from 5925-5945 MHz (channel index 2) was not included in the model.

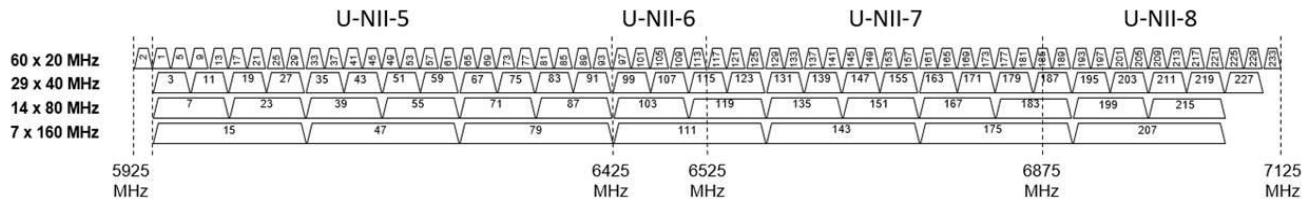


Figure 3-9 -Assumed RLAN Channel Plan

The bandwidth distribution in Table 3-9 is based on the assumption that RLAN systems will operate with larger channel sizes to maximize airtime efficiency, resulting in lower latency, higher throughput, and improved battery life.

Table 3-9 – RLAN Channel Distribution

Bandwidth	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
Percentage	10%	10%	50%	30%

3.2.3 Distribution of RLAN heights

Outdoor VLP devices are worn on mobile users, and a large majority of these use cases are with the VLP device below 1.5 m.

To assign an RLAN transmit source height to the remaining RLAN classes (i.e., LPI, indoor VLPs and indoor/outdoor Standard Power with AFC devices (here-in after referred to “RLANs” in this section), a height distribution was separately prepared for each of the following indoor environments: urban, suburban, and rural. In addition, a common outdoor height distribution was used for all environments. The starting point of the height distribution is the building construction type probability for each environment, shown in Table 3-10.²⁴

Within multi-story buildings, the distribution of RLANs is assumed to have an equal probability of occurring on any floor up to ten stories. A height of ten stories was selected as the maximum because the probability of RLANs on higher floors diminishes significantly even when taller buildings are considered. Stated differently, studying taller buildings does not impact the analysis in any significant way. This is due to the assumed equal spreading of RLANs on all floors of a tall building, which results in the combined distribution being heavily weighted toward lower floors.

²⁴ U.S. Energy Info. Admin., 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey: Building Questionnaire - Form EIA-871A, <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/pdf/questionnaire.pdf>; NAHB, *The Number of Stores in Single-Family Homes Varies Across the Country*, Aug. 5, 2016, <http://eyeonhousing.org/2016/08/the-number-of-stories-in-single-family-homes-varies-across-the-country/>.

Table 3-10 - Building Construction Type Probability by Environment

		Urban Indoor			Suburban Indoor			Rural Indoor			Outdoor
Building Story	Height (m)	Corp	Public	Home	Corp*	Public	Home	Corp	Public	Home	
1	1.5	69.0%	69.0%	60.0%	69.0%	69.0%	60.0%	70%	70%	70%	95%
2	4.5	21.0%	21.0%	30.0%	21.0%	21.0%	30.0%	25%	25%	25%	2%
3	7.5	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	5%	5%	5%	5%	2%
4	10.5	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	5%	0%	0%	0%	0.5%
5	13.5	0.58%	0.6%	0.6%	0.58%	0.6%	0%	0%	0%	0%	0%
6	16.5	0.50%	0.5%	0.5%	0.50%	0.5%	0%	0%	0%	0%	0%
7	19.5	0.43%	0.4%	0.4%	0.43%	0.4%	0%	0%	0%	0%	0%
8	22.5	0.35%	0.4%	0.4%	0.35%	0.4%	0%	0%	0%	0%	0%
9	25.5	0.28%	0.3%	0.3%	0.28%	0.3%	0%	0%	0%	0%	0%
10	28.5	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0%	0%	0%	0%	0.5%
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

For example, the 28.5m height assumed for RLANs on the 10th floor of a ten-story building comprises only 0.02% of all RLANs in the Urban environment. It is noted that the inclusion of the 10-story building in the analysis, while placing 0.02% of RLANs at this height, increases the probability of RLANs at heights on floors one through nine by 10% of the ten-story building type probability. For example, the likelihood that an RLAN will be on the first floor in an urban environment is the sum as follows:

$$\begin{aligned} \text{RLAN on 1}^{\text{st}} \text{ Floor Probability} = & 1 \text{ Story Building Probability} + 2 \text{ Story Building Probability}/2 \text{ Floors} \\ & \dots + 10 \text{ Story Building Probability}/10 \text{ Floors} \end{aligned} \quad (3-7)$$

As such, including buildings of taller heights provides limited additional insight into the question of aggregated RLAN interference because each additional building height of n stories that is included provides only a $1/n$ contribution to the distribution of RLANs at that height, while the rest are distributed as $1/n$ to each of the lower floors.

Using the above described method based on the building construction type probability and equal assignment of RLANs to each floor of a multi-story building results in the distribution of source heights shown in Table 3-11.

Table 3-11 - RLAN Source Height Distributions

		Urban Indoor			Suburban Indoor			Rural Indoor			Outdoor
Building Story	Height (m)	Corp	Public	Home	Corp*	Public	Home	Corp	Public	Home	
1	1.5	82.35 %	82.35 %	77.85 %	82.35 %	82.35 %	77.92 %	84.17 %	84.17 %	84.17 %	95.00%
2	4.5	13.35 %	13.35 %	17.85 %	13.35 %	13.35 %	17.92 %	14.17 %	14.17 %	14.17 %	2.00%
3	7.5	2.85%	2.85%	2.85%	2.85%	2.85%	2.92%	1.67%	1.67%	1.67%	2.00%
4	10.5	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	1.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%

5	13.5	0.36%	0.36%	0.36%	0.36%	0.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	16.5	0.24%	0.24%	0.24%	0.24%	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	19.5	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8	22.5	0.09%	0.09%	0.09%	0.09%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	25.5	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	28.5	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%
Total		100.00									

4 Propagation Models

The interference paths from a large deployment of RLANs to other services will vary considerably with terrain, local ground clutter, and the location of the RLAN installation (e.g., indoor or outdoor, building heights, building type, density of buildings, etc.). Interference estimates therefore require statistical propagation models that can account for this large variability and random nature of some of the propagation effects.

Section 4.1 describes propagation models used by RKF to calculate path loss for RLAN interference to the FSS. Section 4.2 describes propagation models used to calculate path loss for RLAN interference to terrestrial services.

4.1 RLAN to FSS Propagation Models (Earth to Space)

Figure 4-1 shows possible interference paths from terrestrial sources to satellites on the geosynchronous (GEO) arc. Paths from indoor devices will experience penetration losses through buildings. Some paths will then interact with terrain, while others will suffer from local end-point clutter (e.g., buildings), and still others will have line-of-site (LOS) visibility to the GEO arc.

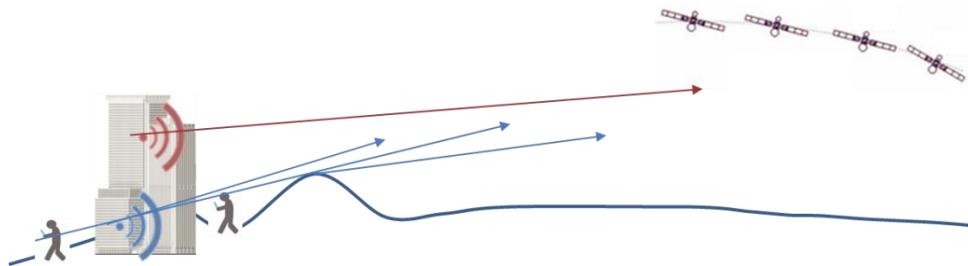


Figure 4-1 - Typical Interference Paths toward the GEO Arc

Figure 4-1 Key	
	Indoor RLAN
	Outdoor RLAN
	LOS Path
	Paths that interact with terrain and/or suffer from end-point-clutter

Paths from indoor RLANs to terrestrial systems experience penetration loss calculated using Recommendation ITU-R P.2109 (P.2109) as the path exits a building. P.2109 is a heuristic model based on many measurements with users located randomly within a building. It considers the elevation angle of the signal leaving the building to the affected receiver. Two types of buildings are defined: traditional and thermally efficient. Penetration losses through thermally efficient buildings are higher than traditional buildings. The models conservatively assume 80% of buildings are traditional and 20% of buildings are thermally efficient.²⁵

²⁵ Note that in the US, the 6 GHz Report and Order used 70% traditional and 30% thermally-efficient.

Local end-point clutter is added using Recommendation ITU-R P.2108 (P.2108), Section 3.3 (for Earth-space paths). This is a statistical clutter model for urban and suburban areas. It accounts for the elevation angles from the transmitters to the satellites. According to guidance from ITU-R Study Group 3, the model is currently used only for frequencies above 10 GHz.²⁶ This is because building penetration is not taken into account. However, it is reasonable to assume that at 6 GHz, buildings will be mostly opaque (i.e., large losses will occur transmitting through buildings). This is verified using P.2109 for indoor users, where average penetration loss through traditional buildings at 6 GHz and at an elevation angle of 30° is about 20 dB.

To estimate rural clutter loss, Recommendation ITU-R P.452 (P.452) was used with RLANs deployed predominately in village centers. P.452 assumes that in village centers clutter height is 5 m and the distance to the clutter is 0.07 km which equals an angle of 2.86°. Therefore, in the simulations, when the rural RLAN height is 1.5 m, a clutter loss of 18.4 dB was added when the look angle to the FSS receiver was ≤ 2.86°. When rural RLAN heights are above 1.5m, the clutter loss is assumed to be negligible and is not calculated.

For LOS paths, the radio horizon is defined using 4/3 earth assumptions. Free space path loss is used when there is no blockage from the transmitter to the satellite. Conservatively, atmospheric loss, which is small, was ignored in this calculation.

4.2 RLAN to Terrestrial FS Propagation Models

Possible interference paths from RLANs to terrestrial FS systems are similar to those described in Section 4.1 for paths from terrestrial systems to satellites on the GEO arc, with the addition of a terrain model (as described below). Like Section 4.1, paths from indoor RLANs to terrestrial systems experience penetration loss calculated using P.2109 as the path exits a building.

The Irregular Terrain Model (ITM) model of radio propagation is a general-purpose model for frequencies between 20 MHz and 20 GHz that can be applied to a large variety of engineering problems. The model, which is based on electromagnetic theory and statistical analyses of both terrain features and radio measurements, predicts the median attenuation of a radio signal as a function of distance and the variability of the signal in time and in space. The ITM, along with the Shuttle Radar Topography Model (SRTM) (3 sec) terrain database, is used to model terrain interactions. The ITM uses the SRTM terrain elevation data along with diffraction theory to calculate the path loss when there is terrain blockage.

The analyses use propagation models adopted per the FCC's 6 GHz Report & Order.²⁷ As a function of the separation distance between the RLAN and victim receiver, these models are as follows:

- “[F]or separation distances of 30 meters or less, the free space pathloss model is the appropriate model.”²⁸

²⁶ 5A/337-E, 3 April 2017, Working Parties 3K and 3M, LIAISON STATEMENT TO WORKING PARTY 5A, PROPAGATION MODELS FOR COMPATIBILITY STUDIES REGARDING WRC-19 AGENDA ITEM 1.16.

²⁷ 6 GHz Report and Order.

²⁸ *Id.* ¶ 64.

- “Beyond 30 meters and up to one kilometer from an unlicensed device to a microwave receiver, we find that the most appropriate propagation model is the Wireless World Initiative New Radio phase II (WINNER II).”²⁹
- “For separation distances greater than one kilometer . . . the Irregular Terrain Model combined with a clutter model depending on the environment is the most appropriate model.”³⁰

These models are summarized in Table 4-1 below:

Table 4-1 - Summary of Propagation Model

Distance (Slant Range) from RLAN to Victim Receiver	Propagation Model
Up to 30 meters	Free Space Path Loss (FSPL)
30 meters to 1 km	<i>Combined LOS/NLOS Winner II</i> <ul style="list-style-type: none"> • Urban VLP: Winner II Scenario C2 • Suburban VLP: Winner II Scenario C1 • Rural VLP: Winner II Scenario D1
Above 1 km	<i>ITM + Clutter model</i> Clutter model <ul style="list-style-type: none"> • Urban/Suburban VLP: ITU-R Rec. P.2108-0 (Section 3.2.2) • Rural VLP: ITU-R Rec. P.452 Village Center Clutter

The combined median path loss model is computed using Eqn. 4-1 for distances between 30 m and 1 Km.

$$PL_{CWII} (\text{dB}) = PL_{LOS} (\text{dB}) \times Prob_{LOS} + PL_{NLOS} (\text{dB}) \times \{1-Prob_{LOS}\} \quad (4-1)$$

where,

- PL_{LOS} and PL_{NLOS} are the Line-of-Sight (LOS) and NLOS Path Losses per Table 4-4 in WINNER II Report³¹
- $Prob_{LOS}$ is the LOS Probability per Table 4-7 in WINNER II Report

In addition to the combined median path loss term, the Winner II LOS and NLOS Path Loss components include a random lognormal shadowing term that is included in the simulations.

²⁹ See *id.* ¶ 66 (referencing the urban, suburban, and rural WINNER II channel models as C2, C1, and D1, respectively). See also WINNER & Information Society Technologies, *WINNER II Channel Models Part 1*, Table 2-1 Propagation scenarios specified in WINNER and Table 4-4 Summary table of the path-loss models, <https://www.cept.org/files/8339/winner2%20-%20final%20report.pdf> (“WINNER II Channel Models”).

³⁰ See 6 GHz Report and Order ¶ 68 (referencing the *Irregular Terrain Model Guide*). See also G.A. Hufford et al., *A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode*, NTIA Report 82-100 (1982), https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/ntia_82-100_20121129145031_555510.pdf.

³¹ See WINNER II Channel Models.

For distances above 1 km, ITM with the SRTM 3-arc-seconds Terrain Database is used. The P.452 village center clutter loss of 18.4 dB is used for the 1.5m RLAN device when the following conditions are met:

- RLAN elevation angle towards the victim receiver \leq 2.86 deg (corresponding to a VLP deployed at an average distance from a village building of average height), AND

RLAN distance to victim receiver \geq 0.7 km

5 Sharing Results

5.1 FSS Uplink Sharing

This section reports the results of an aggregate I/N calculation into a number of satellite uplink beams using the RLAN deployment per Section 3.1.1 and available satellite G/T contours³², related to the satellites in Table 5-1. A search of the ITU BR IFIC database provided information on the 52 satellites that Mexico filed with the ITU in the 6 GHz band. For purposes of providing a conservative analysis, satellite beams with higher G/T over Mexico or bigger coverage of areas were selected for study. Peak G/T levels per the satellites' filings are used to derive the absolute G/T levels from the G/T contours (that indicate amount of dB down from peak G/T). In addition to the three Satellites Mexicanos, S.A. DE C.V. satellites (Satmex 6, Satemex, and Satmex 8), three other representative satellites were selected based on their maximum G/T value over Mexico.³³ It was assumed that if the risk of harmful interference from 6 GHz RLAN operations to the satellite-based fixed service uplinks for each of these six satellites is negligible, then the risk of harmful interference to other satellites providing similar service across Mexico is even less.

The analysis has been applied to a satellite channel plan assuming 36 MHz channels in 40 MHz occupied bandwidth on two polarizations. Each channel on each satellite has been subject to 10 independent RLAN deployments of a Monte Carlo simulation as detailed in the next Section.

Table 5-1 gives the worst I/N value found for each beam across all channels. The table shows that, in all cases, the I/N is lower than absolute value of -26.92 dB.

Table 5-1 - Summary worst-case I/N into FSS

Satellite Longitude	Satellite Name	Beam Reference	Populations included in calculation	Worst aggregate I/N (dB)
116.8° West	Satmex 8	cuh.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-30.15
114.9° West	Eutelsat 115 West B (Satmex 7)	crhco.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-27.08
113° West	Satmex 6	chuh.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-31.01
103° West	SES-3	crv.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-31.34
97° West	Galaxy 19	crf_c.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-29.73
47.5° West	NSS-806	hau.gxt	Mexico, all of the Americas and the Caribbean	-26.92

³² Extracted from ITU BR IFIC

³³ Note that it was not verified whether these FSS continued to operate over Mexico after the initial filing. For example, a satellite could have provided coverage over Mexico when launched, but it may have been relocated subsequently to provide coverage to a different geography. In another instance, a satellite could have been in operation for years, but no longer.

			Caribbean, Europe, Africa	
--	--	--	------------------------------	--

5.1.1 FSS Simulation Methodology

Interference from RLAN deployments into FSS satellite receiver is simulated using a Monte Carlo simulation of the RLAN deployment generated from the various probability distributions given in Section 3.

The basic structure of the simulation is as follows:

1. Data setup:
 - a. Define the simulation region and create a database of population density at points within the simulation region;
 - b. Transform population data over the simulation region to active RLAN device population probability distribution over the simulation region;
 - c. Specify the orbital slot of the FSS satellite receiver and the G/T values over the simulation region;
 - d. Specify a list of FSS satellite channels to simulate.
2. Monte-Carlo iterations:
 - a. Generate a random layout of RLANs using the device population probability distribution;
 - b. Generate a random transmit EIRP, height, body loss, RLAN channel, clutter loss and building entry loss values between each RLAN and FSS satellite receiver in accordance with the RLAN distributions in Section 3.2 and propagation modelling set out in Section 4;
 - c. Compute the aggregate interference from all co-channel RLANs into the FSS satellite receiver for each of the simulated FSS channels.
3. Iterate:
 - a. Repeat Step 2 for the total specified number of iterations;
 - b. Record I/N values for each FSS channel on each iteration and write results to a file.
4. Average the recorded aggregate I/N values (over the performed iterations) to create plot of average I/N versus FSS channel number.

Steps 1 and 2 above are further elaborated below.

Step 1: Data Setup

A population matrix file is created. Each row/line of the matrix contains a Longitude (LON)/Latitude (LAT) coordinate and the population density at that location. Furthermore, there is a region ID that specifies if the point is in Europe, Africa, Mexico or the Americas but not in Mexico. The matrix resolution is 30 arcseconds for both LON and LAT coordinates.

Note that the collection of all points in the population density file defines the simulation region and the simulation region is, in general, not rectangular. Grid points that are in the ocean or other locations that are not part of the simulation are omitted from the population density file. Each grid point is classified as being URBAN, SUBURBAN or RURAL depending on the population density value for the grid point and threshold values that are inputs to the simulation.

The population density file is used to produce the active RLAN device population probability distribution over the simulation region. The first step is to convert population density values into population values for each grid point by multiplying the population density by the area of the 30 arcsec x 30 arcsec region centered at the grid point. These population values are then summed for each of the regions Europe, Africa, Mexico and Americas³⁴ but not in Mexico.

Let PE, PA, PM and PN be the populations of Europe, Africa, Mexico and the Americas but not in Mexico respectively. Let NE, NA, NM, NN be the number of active RLAN devices in each region respectively. These values are inputs to the simulation.

For each grid point, the population value is converted to the average active RLAN device count by multiplying by (NE/PE), (NA/PA), (NM/PM) or (NN/PN) depending on whether the grid point is in Europe, Africa, Mexico, or the Americas but not in Mexico. This is then converted into a large discrete probability distribution function where each grid point is assigned a probability equal to the average RLAN device count at that grid point divided by the total active RLAN device count. A random RLAN position is generated by generating a random grid point using this discrete probability distribution, then selecting a location uniformly distributed over the 30 arcsec x 30 arcsec region centered at the grid point.

The values of G/T over the simulation region are specified in the GXT format. This standard file format specifies contours over which G/T values are constant. Given an arbitrary LON/LAT position, two contours are identified for which this position is between and the G/T value is taken to be the average of the corresponding G/T values. Furthermore, the region outside the outermost contour, when less than or equal to 20 dB below the peak, is set to that contour. When the outermost contour is greater than 20 dB below peak (e.g. 10 dB below peak), the region is set 20 dB below peak in the absence of the beam roll-off pattern.

The list of FSS channels to be simulated is specified by a channel bandwidth, center-to-center channel spacing, start center frequency and number of channels simulated. Figure 5-1 shows the nominal FSS transponder plan between 5925 to 6425 MHz that has been assumed. Each transponder has a bandwidth of 36 MHz and is spaced 40 MHz apart. Over this 500 MHz band there are 24 transponders, 12 in each polarization. The channel center frequencies for each polarization are staggered by 20 MHz. The start frequency is 5927 MHz.

³⁴ Americas refers to Central America, North America, South America and the Caribbean.

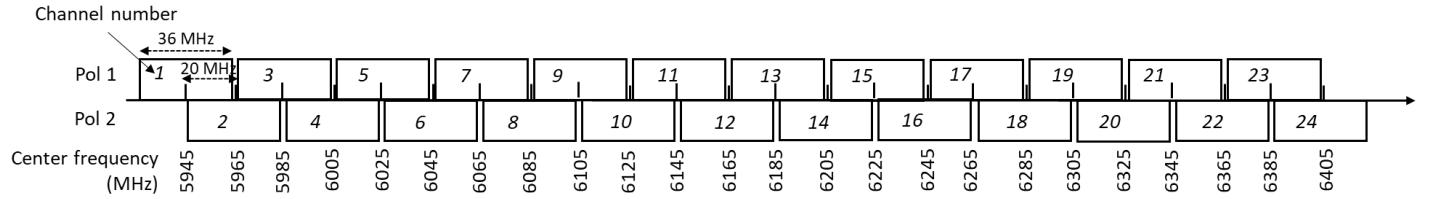


Figure 5-1 - Representative FSS Transponder Frequency Plan (fc , Separation=40MHz per polarization (Pol))

Step 2: Monte Carlo Iterations

For each iteration, a random layout of active RLAN devices is generated one RLAN at a time. Each RLAN device is assigned a random longitude/latitude position generated using the device population probability distribution described above. Each RLAN device is assigned a random height, EIRP, body loss, and building type using discrete probability distributions according to Section 3.2. Building types are outdoor (meaning no building attenuation) RLAN, indoor-traditional or thermally efficient (respecting a 20% thermally efficient/ 80% traditional balance). Each RLAN is assigned a random bandwidth using a discrete probability distribution as in Table 3-9 and a random center frequency as in Figure 3-9. The center frequency is generated by considering all possible center frequencies for the selected bandwidth and using a uniform distribution.

For each RLAN, a 4/3 earth model is used to determine whether the satellite is in view or over the horizon. RLANs for which the satellite is not in view are considered to contribute no interference to the satellite and are thus ignored in the interference calculation.

For each FSS channel in the simulation, interference from all RLANs for which the satellite is in view is computed and aggregated. The RLAN bandwidth and center frequency along with the FSS channel bandwidth and center frequency are used to compute the fraction of the WAS/RLAN bandwidth that overlaps with the FSS channel. If there is no overlap, the RLAN contributes no interference to the FSS channel. In addition, a random body loss is generated using discrete probability distributions described in Sections 3.2.2 and 3.2.3.

A random building entry loss is computed using Recommendation ITU-R P.2109-0 using the building type and elevation angle from the RLAN to the FSS satellite receiver orbital slot. Note that for outdoor RLANs the building entry loss is 0 dB. Random path clutter values are generated per Recommendation ITU-R P.2108 for urban and suburban RLANs and per Recommendation ITU-R P.452 for rural RLANs (as described in Section 4).

The path loss is computed using Free Space Path Loss (FSPL), per Recommendation ITU-R P.619-3, from the RLAN position to the FSS satellite orbital slot. Polarization loss of 3 dB is added. The FSS satellite Figure-of-Merit (G/T) is computed at the RLAN position as described above. The I/N contribution for a single RLAN into an FSS channel is computed by:

$$\frac{I}{N} = EIRP + G_{FarField} - L_{Body} - L_{Bldg} - FSPL - L_{Clutter} - L_{Polarization} - L_{SpectralOverlap} + \frac{G}{T} - 10\log_{10}(kB)$$

Where,

- $EIRP$ (dBW) = RLAN EIRP (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** and **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** for LPI and Standard Power; 14 dBm for VLP) within RLAN channel bandwidth (Table 3-9)
- $G_{FarField}$ (dB) = VLP far field gain that includes body loss (see Section **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); 0 dB for LPI and Standard Power RLANS
- L_{Body} (dB) = LPI and Standard Power Body Loss (see Section **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); 0 dB for LPI
- L_{Bldg} (dB) = Building Entry Loss
- $FSPL$ (dB) = $92.45 + 20*\log_{10}(\text{RLAN center frequency in GHz}) + 20*\log_{10}(\text{RLAN distance to FS Rx in Km})$
- $L_{Clutter}$ (dB) = Clutter Loss
- $L_{Polarization}$ (dB) = Polarization Loss of 3 dB
- $L_{SpectralOverlap}$ (dB) = $10*\log_{10}(\text{spectrum overlap between RLAN channel and victim channel / RLAN bandwidth})$, also called frequency-dependent rejection
- $\frac{G}{T}$ (dB/K) = Satellite receiver Figure-of-Merit (dB/K)
- k (J/K) = Boltzmann's constant = $1.3806488 \times 10^{-23}$
- B (Hz) = FSS channel bandwidth (Hz)

This I/N is aggregated over all RLANS for each FSS channel in the simulation.

5.1.2 RLAN Populations used in the Simulations

The following total population projections for 2025, for each region, have been used in generating RLAN deployments in the simulations.

1. Mexico, Total population: 141,132,000
2. The Americas (except Mexico) and the Caribbean, Total population: 934,760,659
3. Europe (48 CEPT states), Total Population: 768,589,000³⁵
4. Africa, Total Population: 1,407,870,000³⁶

Using the total populations per above and same assumptions as Table 3-1,³⁷ Table 5-2 shows number of simultaneously transmitting RLAN devices that are simulated in each region within the satellite footprint. In addition, the number of active RLANS in Africa is divided by factor of 4³⁸ to reflect the delay in maturity of RLANS deployment at 6 GHz.

Table 5-2 – Number of active RLAN devices simulated

Region	2025 Population	Number of instantaneously transmitting RLAN devices
--------	-----------------	---

³⁵ CEPT ECC, *Report 302: Sharing and Compatibility Studies Related to Wireless Access Systems Including Radio Local Area Networks (WAS/RLAN) in the Frequency Band 5925-6425 MHz* (May 29, 2019), <https://docdb.cept.org/download/cc03c766-35f8/ECC%20Report%20302.pdf> (“ECC Report 302”). Page 86.

³⁶ *Id.*

³⁷ Except for the percentage of population in Urban/Suburban/Rural that were derived for each region using the population density thresholds in Section 3.1.2.

³⁸ ECC Report 302, Page 87.

Mexico	141,132,000	179,261
The Americas (except Mexico) and the Caribbean	934,760,659	1,194,849
Europe	768,589,000	988,040
Africa	1,407,870,000	458,132

5.1.3 Results by FSS Satellite Beam

5.1.3.1 Satmex 8 (116.8° W)

The Satmex-8 satellite at 116.8° west has a hemispheric beam with a peak G/T of 1.3 dB/K. The G/T contours are shown below.

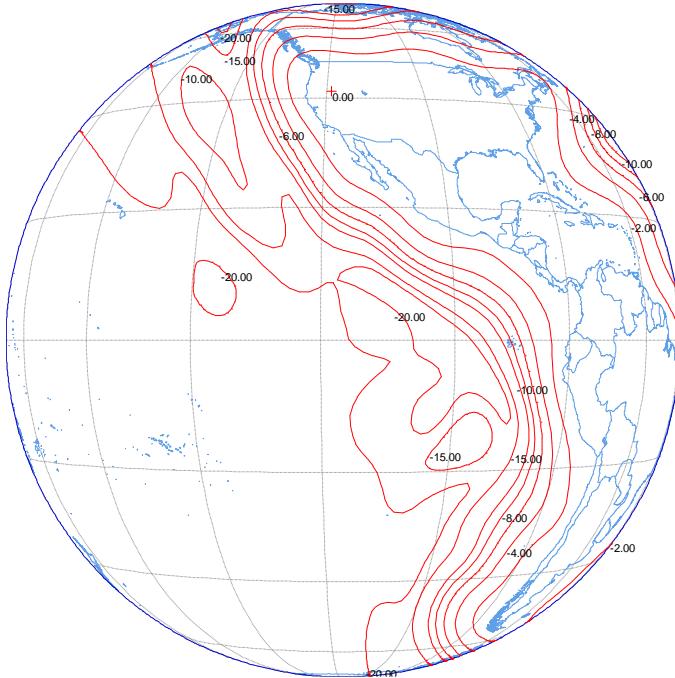


Figure 5-2: Satmex-8 G/T Contours (cuh.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America and the Caribbean.

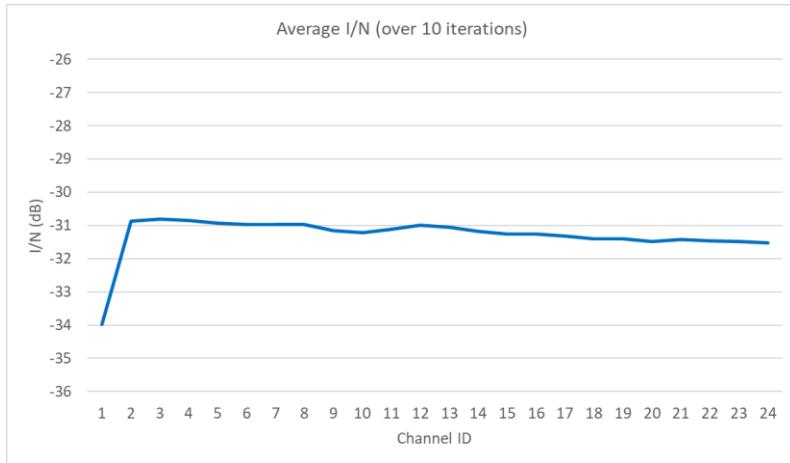


Figure 5-3: Satmex-8 I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -30.15 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -30.82 dB.

5.1.3.2 Eutelsat 115 West-B (Satmex 7) (114.9° W)

The Eutelsat 115 West-B satellite at 114.9° west has a hemispheric beam with a peak G/T of 5.8 dB/K. The G/T contours are shown below.

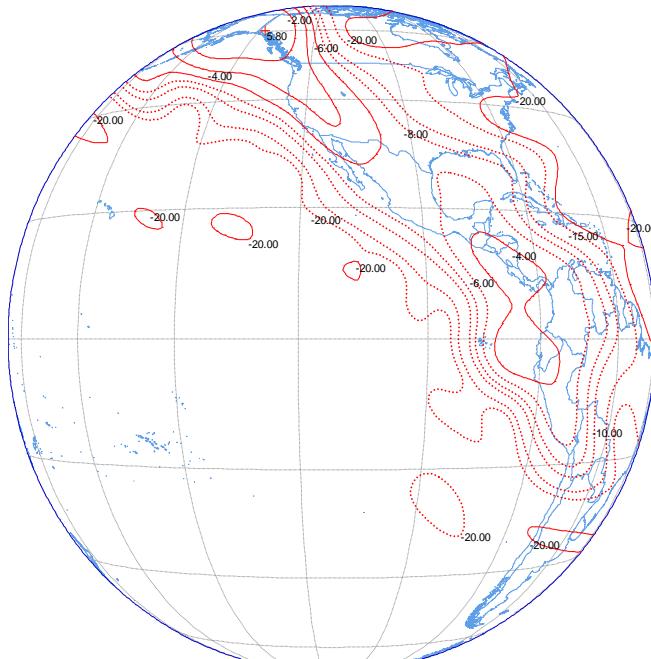


Figure 5-4: Eutelsat 115 West-B G/T Contours (crhco.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America and the Caribbean.

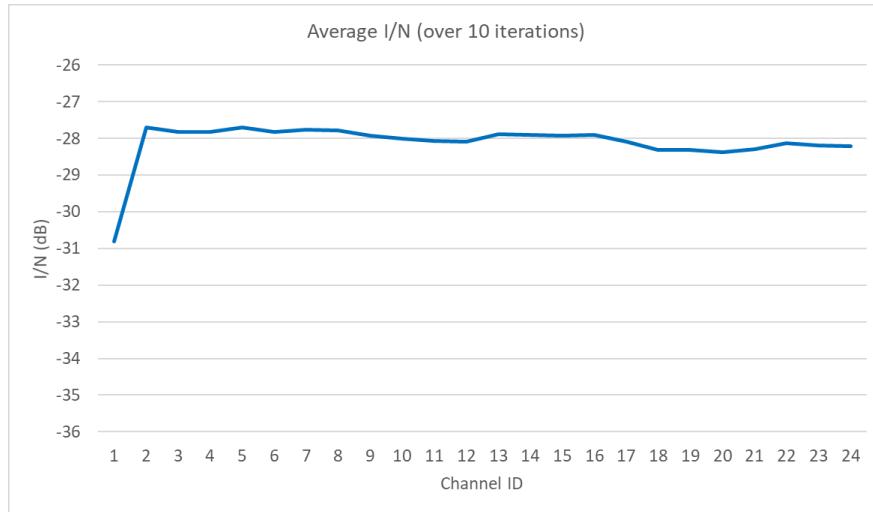


Figure 5-5: Eutelsat 115 West-B I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -27.08 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -27.70 dB.

5.1.3.3 Satmex 6 (113° W)

The Satmex-6 satellite at 113° west has a hemispheric beam with a peak G/T of 1.7 dB/K. The G/T contours are shown below.

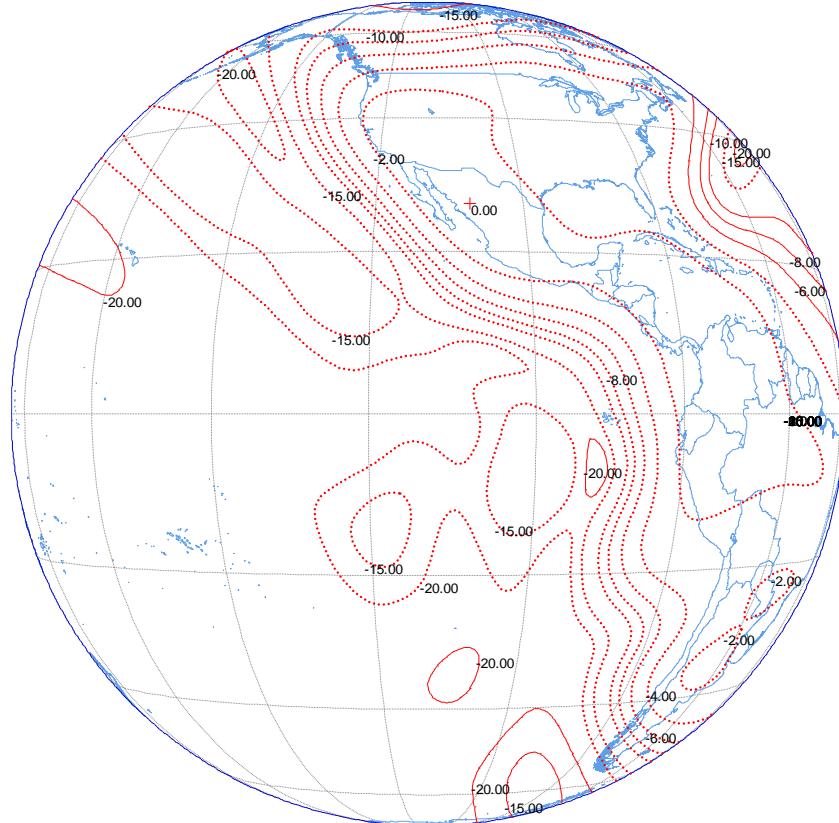


Figure 5-6: Satmex-6 G/T Contours (chuh.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America and the Caribbean.

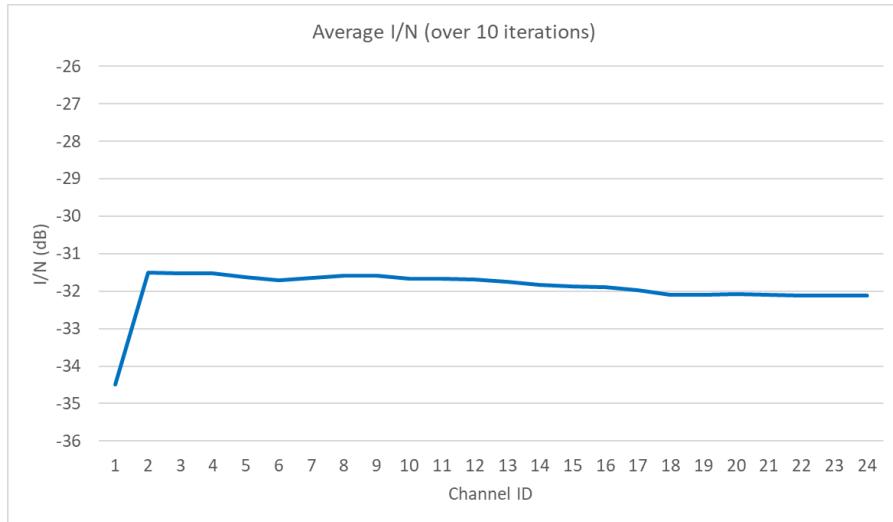


Figure 5-7: Satmex-6 I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -31.01 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -31.50 dB.

5.1.3.4 SES-3 (103° W)

The SES-3 satellite at 103° west has a spot beam with a peak G/T of 5.3 dB/K. The G/T contours are shown below.

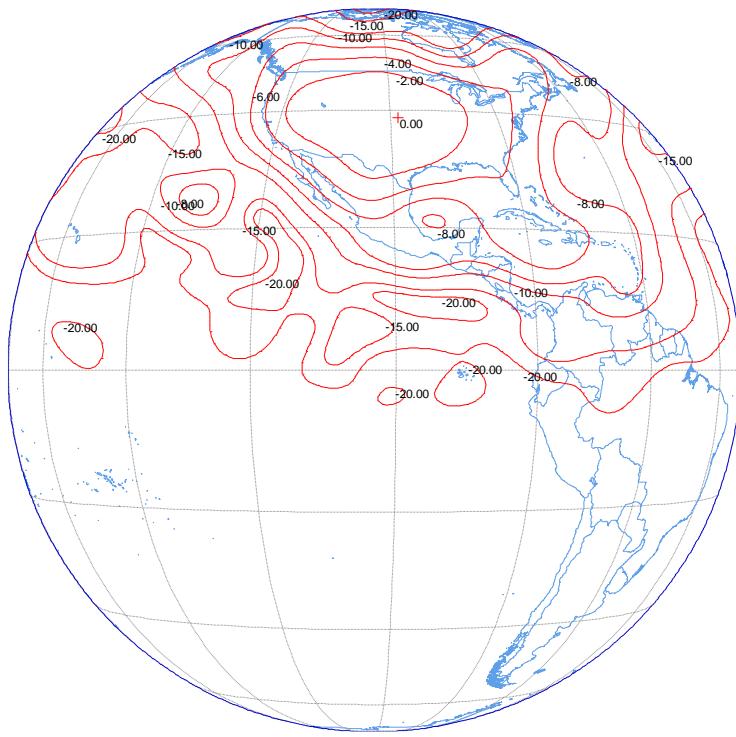


Figure 5-8:SES-3 G/T Contours (crv.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America, and the Caribbean.

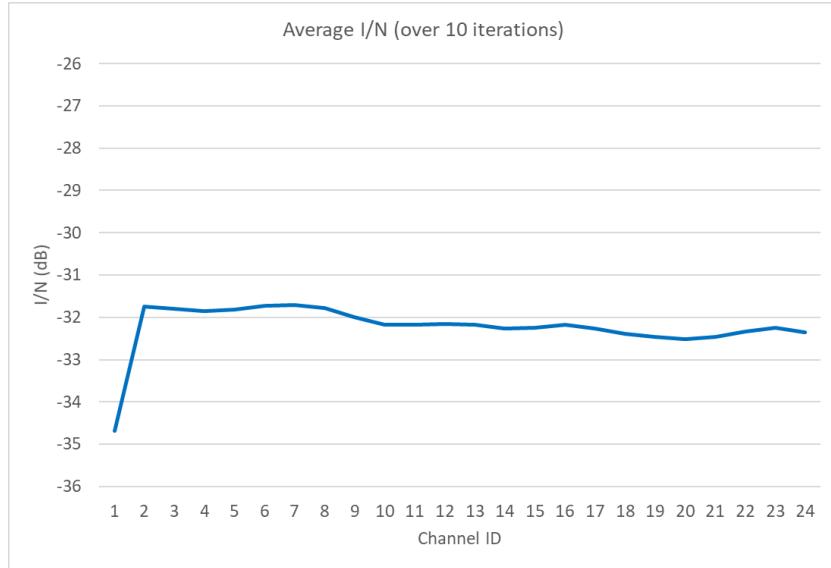


Figure 5-9: SES-3 I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -31.34 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -31.71 dB.

5.1.3.5 Galaxy-19 (97° W)

The Galaxy-19 satellite at 97° west has a spot beam with a peak G/T of 4.6 dB/K. The G/T contours are shown below.

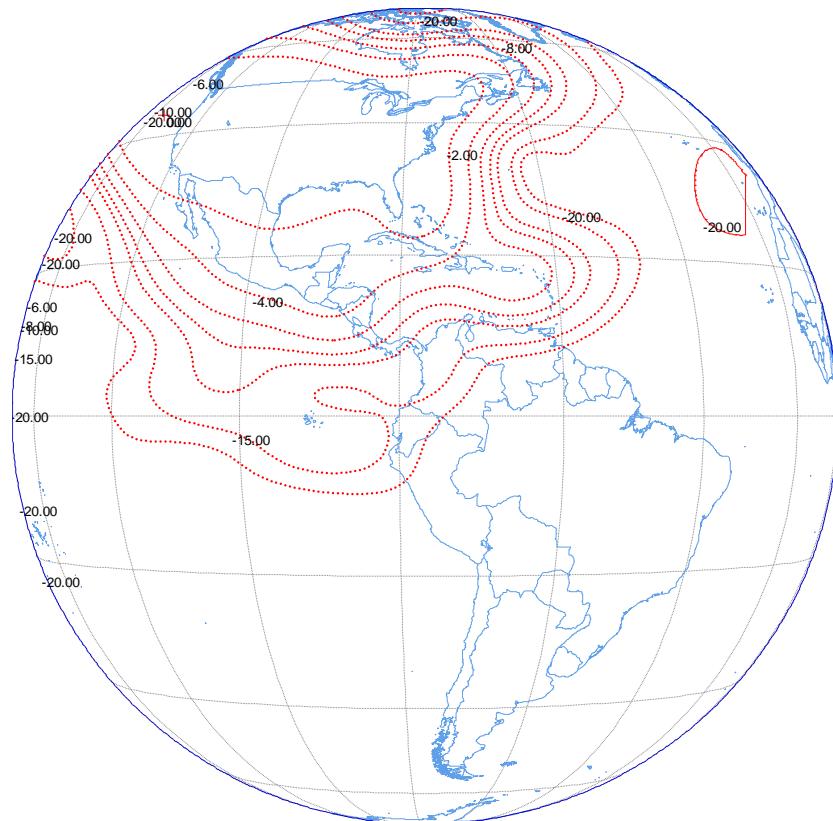


Figure 5-10: Galaxy-19 G/T Contours (crf_c.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America, and the Caribbean.

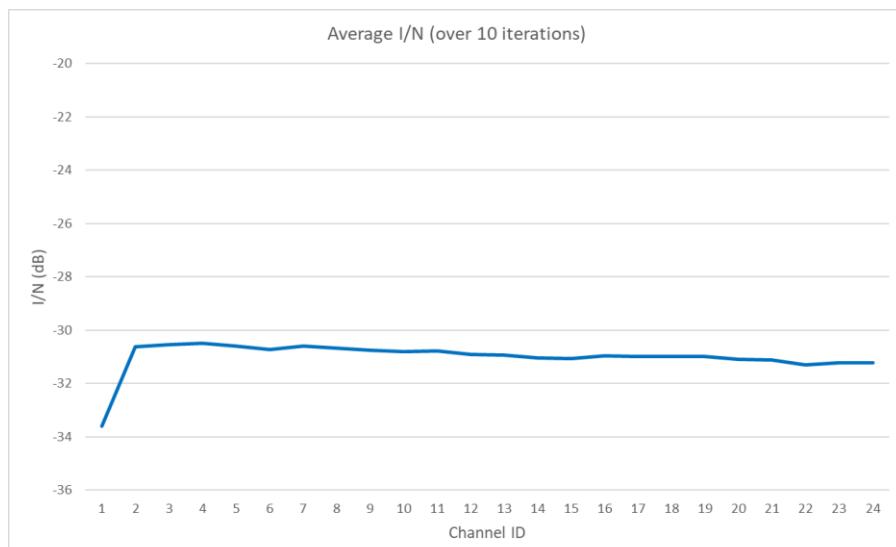


Figure 5-11: Galaxy-19 I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -29.73 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -30.50 dB.

5.1.3.6 NSS-806 (47.5° W)

The NSS-806 satellite at 47.5° west has a hemispheric beam and a regional beam with a peak G/T of 3.1 dB/K. The G/T contours are shown below.

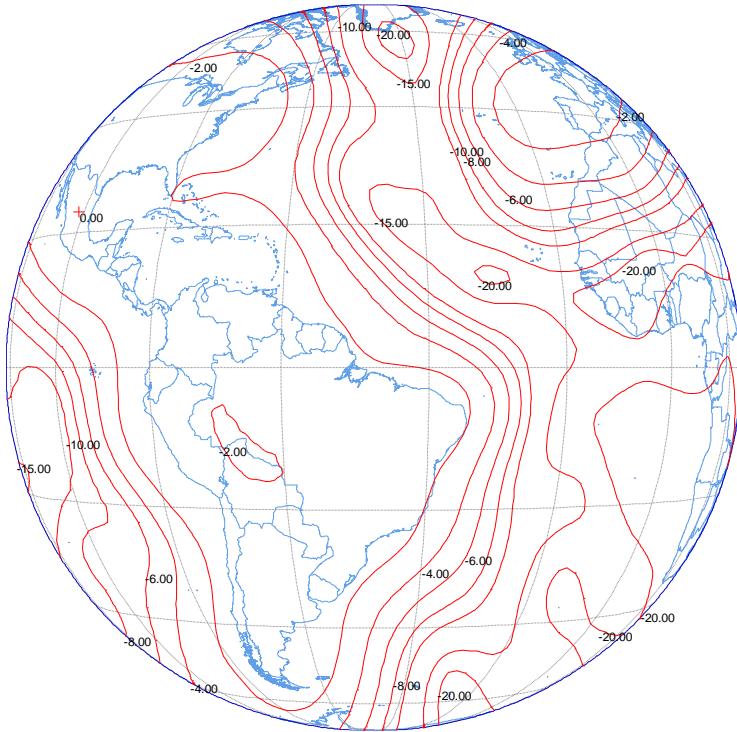


Figure 5-12: NSS-806 G/T Contours (hau.gxt)

The aggregate I/N across the 24 modelled FSS channels, averaged over 10 simulation iterations is shown in the figure below. The calculation includes RLANs in Mexico, Central America, North America, South America, the Caribbean, Europe and Africa.

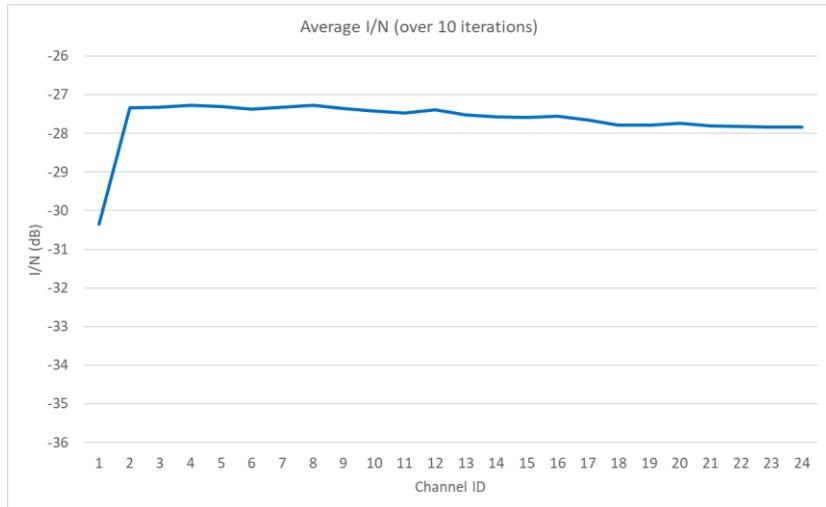


Figure 5-13: NSS-806 I/N per channel

The maximum I/N found in a single iteration is -26.92 dB. The maximum averaged over 10 iterations is -27.27 dB.

5.1.4 FSS Link Budgets

Table 5-3 shows aggregate link budget for Satmex 7 (Eutelsat 115 West-B) which has the highest peak G/T and the highest I/N levels after NSS-806.

As indicated in this table, the average Building Entry Loss, Clutter Loss, Free Space Path Loss and G/Ts are the averages over the values used by the Monte Carlo simulation amongst all the RLANs within the corresponding region. Averaging for the transmit powers and simulation parameters (building entry losses, clutter losses and G/T values) are done in linear domain. Note that this results in much lower building entry and clutter losses than their mean values, i.e. 50th percentile.

The link budgets match the Monte Carlo simulation results within about 3 dB for this satellite. The differences are due to the coarse approximation of the link budget versus the very detailed precise calculations in the Monte Carlo simulation.

Table 5-3 - Satmex 7 (at 114.9 West) link budget

Parameter	Unit	Mexico	The Americas (except Mexico) and the Caribbean	Source
Number of Active RLANs		179,261	1,194,849	Table 5-2
Number of Active RLANs contributing to I/N		179,162	604,121	RLANs within the coverage area
Total Average EIRP per RLAN	mW	69.80	69.80	Includes body loss for LPI and Standard Power Client devices per Section 3.2.2 and Average (in linear domain) far-field gain for VLP devices per Section 3.2.3
Average Building Entry Loss (Indoor RLAN)				
Traditional Building	dB	-17.91	-14.06	Simulation; Average in linear domain
Thermally Efficient Building	dB	-23.27	-21.44	
Total Aggregate Average EIRP (all RLANs)	dBW	27	34	Includes Building Loss

Bandwidth Correction		0.031	0.031	= Satellite Noise Bandwidth / Total RLAN Band (5945 to 7125 MHz)
Total Aggregate Average EIRP (bandwidth correction)	dBW	12	18	
Average Free Space Path Loss (FSPL)	dB	-199.97	-200.43	Simulation
Polarization Loss	dB	-3	-3	
Average Clutter Loss	dB	-0.62	-2.20	Simulation; Average in linear domain
Total Aggregate Interference Power at Satellite	dBW	-191.95	-187.16	
Satellite Receiver Antenna Peak G/T	dB/K	5.8	5.8	Not used;
Satellite Receiver Antenna Avg. G/T	dB/K	5.11	2.90	Simulation; Average in linear domain over the area
Boltzmann's Constant	dBW/K/Hz	-228.60	-228.60	
Satellite Noise Bandwidth	MHz	36.0	36.0	
Calculated Average I/N	dB	-33.80	-31.23	
Simulated Max I/N	dB	-34.12	-27.81	Simulation
“Calculated Average I/N” – “Simulated Max I/N”	dB	0.32	-3.42	

5.1.5 FSS Sharing Conclusions

Simulations show that in all cases studied, the I/N for all satellites in all channels is less than -26.92 dB. It can be concluded that RLANs in the three device classes operating over a 20, 40, 80, or 160 MHz channel bandwidth do not cause harmful interference to an FSS uplink in the 6GHz band.

5.2 Fixed Service (FS) Sharing

This Section describes analyses performed to investigate the impact of RLAN interference on FS links.

A detailed Monte-Carlo simulation of the interference environment was performed for the FS in Mexico City for which the data was available. The accuracy of this data was not validated to confirm whether they represent real FS link. However, the data could represent potential FS links in this region.

The Monte-Carlo simulations were performed over a large number of independent events to establish long-term statistical properties in the environment.

5.2.1 FS Data

27 FS links in the vicinity of Mexico City were used in the simulation. Figure 5-14 to Figure 5-19 show the cumulative distribution function (CDF) of the FS characteristics that were used in the simulation, which were: FS Bandwidth, FS Rx peak Gain, FS Rx feederloss, FS Rx height above ground level, FS Rx AMSL³⁹ (Above Mean Sea Level) Height – FS Tx AMSL Height, and FS link distance. These figures show the range of values as well as the median (50th percentile) values used. As indicated, this data can represent real FS links.

In addition to these parameters, the other parameters that were used from the FS data in the simulation were the FS Tx and Rx latitude and longitude, and FS center frequency. Figure 5-20 shows the location of the 27 FS Tx-Rx links in Google Earth. The numbers correspond to the 27 unique FS ID's.

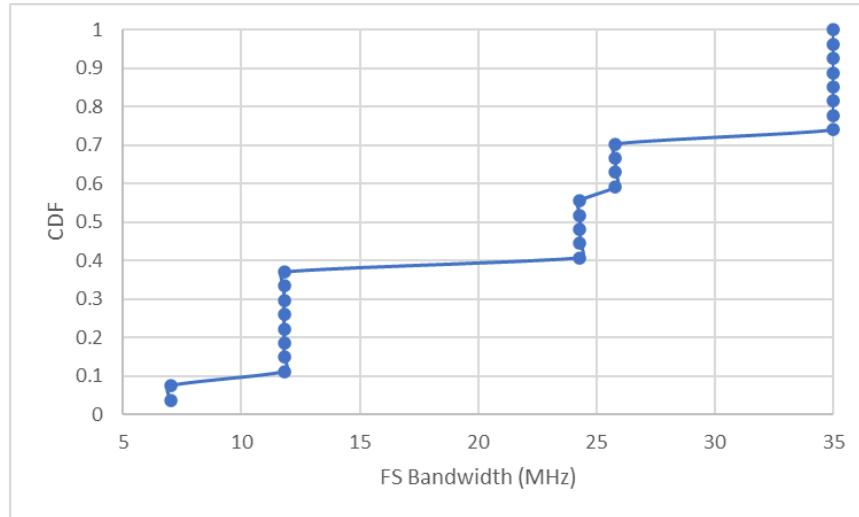


Figure 5-14 - CDF of FS Bandwidth for 27 FS simulated in vicinity of Mexico City

³⁹ Note that the simulation uses SRTM terrain height while Figure 5-18 shows AMSL height (height above ground level + terrain height) using terrain height in the FS data.

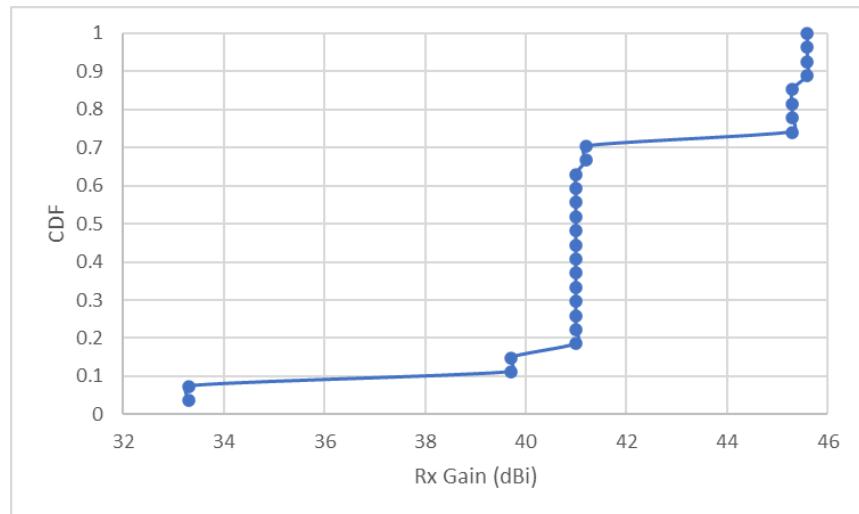


Figure 5-15 – CDF of FS Rx peak Gain for 27 FS simulated in vicinity of Mexico City

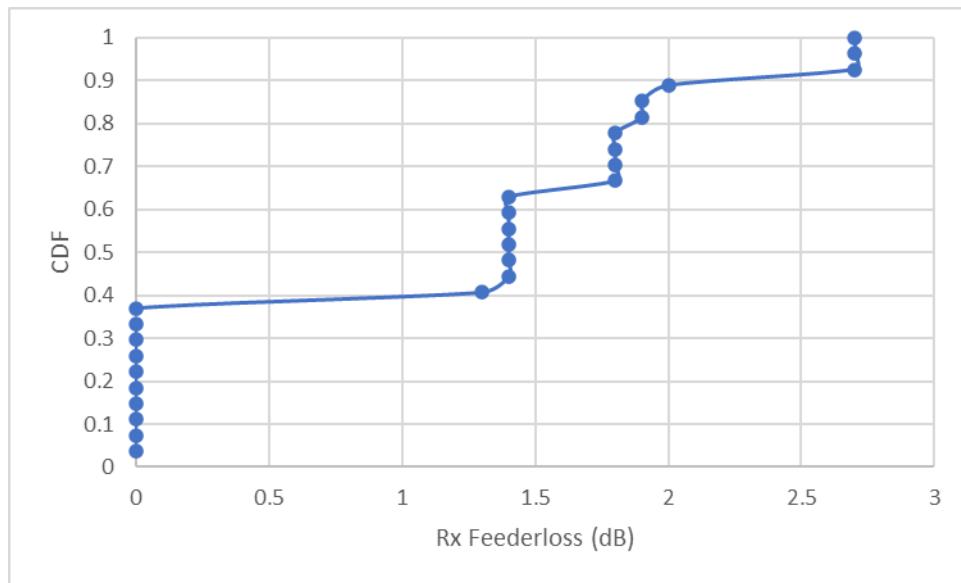


Figure 5-16 - CDF of FS Rx Feederloss for 27 FS simulated in vicinity of Mexico City

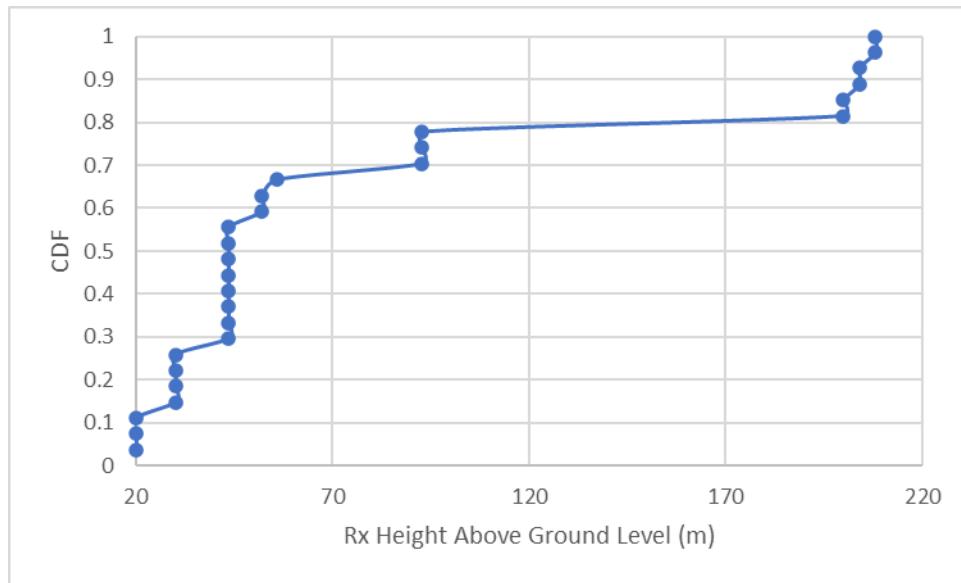


Figure 5-17 - CDF of FS Rx Height Above-Ground-Level for 27 FS simulated in vicinity of Mexico City

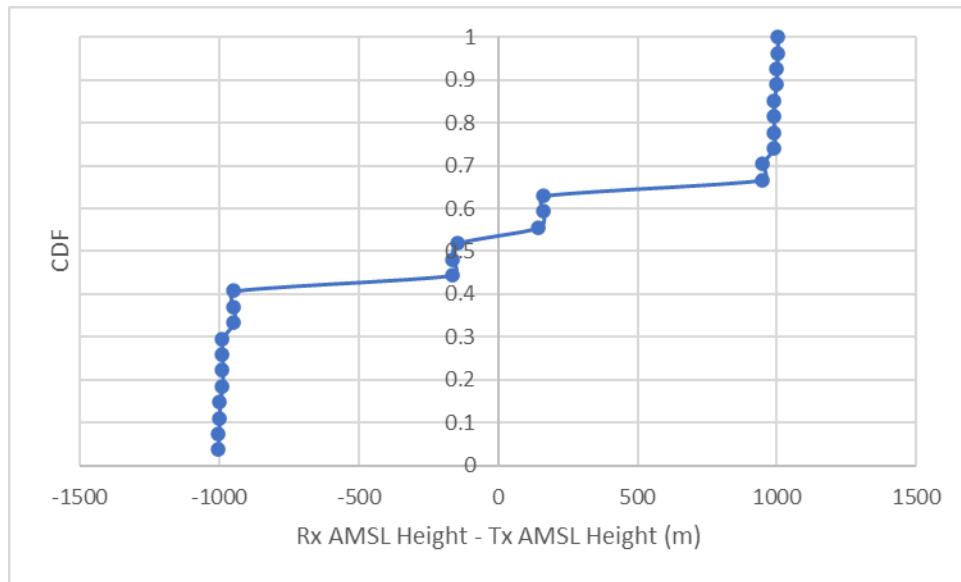


Figure 5-18 - CDF of (Rx AMSL Height - Tx AMSL Height) for 27 FS simulated in vicinity of Mexico City

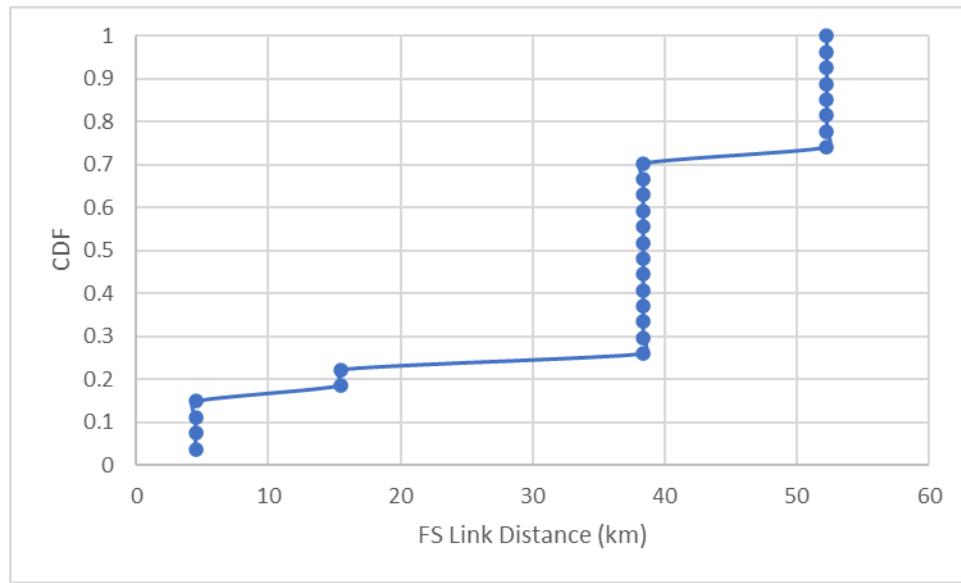


Figure 5-19 – CDF of FS link distance

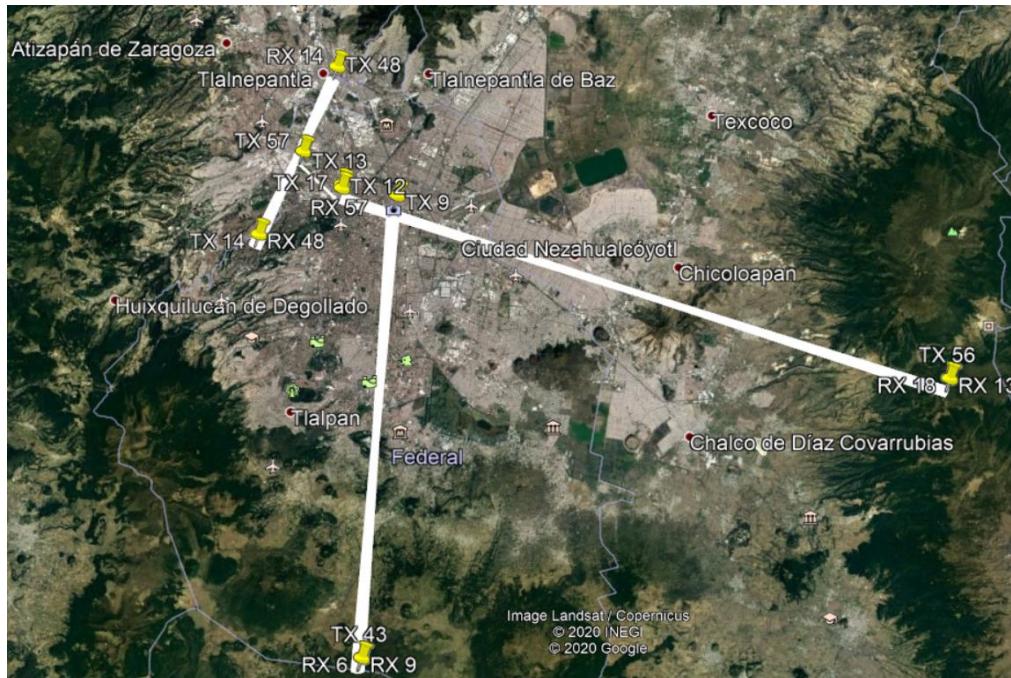


Figure 5-20 – Location of 27 simulated FS links (yellow markers at FS Tx and FS Rx and white 3dB beamcone from FS Rx to FS Tx)

5.2.2 Key Modeling Assumptions

5.2.2.1 RLAN Device Deployment

As described in Section 3.1.1, the RLANs were randomly distributed throughout Mexico based on population density. The drop process is detailed in Step 2 of Section **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

5.2.2.2 FS Receiver Antenna Performance

ITU-R Recommendation F.1245⁴⁰ was used to model the FS antenna sidelobe performance. As shown in Figure 5-21, commercial antennas (such as UHX10 that is used by some of Mexico's FS), portrayed by the red line in the figure, significantly outperform F.1245. By using F.1245 this analysis overstates the interference and provides very conservative results.

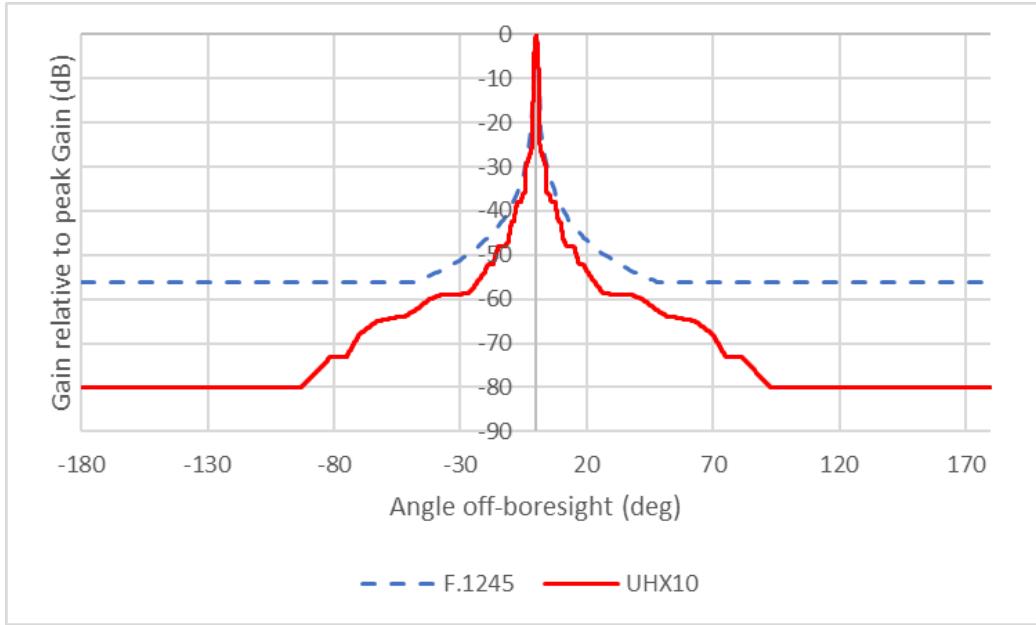


Figure 5-21 - Comparison of ITU-R 1245 and Ultra-High-Performance Antenna (UHX10) Radiation Patterns

5.2.2.3 FS Simulation Methodology

Monte-Carlo simulations were performed to calculate RLAN interference to each of the 27 FS stations in the vicinity of Mexico City. For each iteration, active RLANs were randomly placed, with their locations weighted according to the population density. The aggregate interference power to each of the FS stations were then calculated. One hundred thousand simulation iterations were then performed to gather statistics on the interference.

The interference power, I , is computed per Eqn. 5-2 below:

$$I = EIRP + G_{FarField} - L_{body} - L_{Bldg} - L_{PropagationPath} - L_{SpectralOverlap} - L_{Polarization} - L_{feed} + G_{Rx\text{-to}\text{-RLAN}} \quad (5-2)$$

where,

⁴⁰ International Telecommunication Union, *F.1245: Mathematical Model of Average and Related Radiation Patterns for Point-to-Point Fixed Wireless System Antennas for Use in Interference Assessment in the Frequency Range From 1 GHz to 86 GHz*, Recommendation F.1245 (2019), available at <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1245/en>.

- I (dBW) = Interference Power from an RLAN device
- $EIRP$ (dBW) = RLAN EIRP (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** and **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** for LPI and Standard Power; 14 dBm for VLP) within RLAN channel bandwidth (Table 3-9)
- $G_{FarField}$ (dB) = VLP far field gain that includes body loss (see Section **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); 0 dB for LPI and Standard Power RLANs
- L_{body} (dB) = LPI and Standard Power RLAN Body Loss (see Section 3.2.2); 0 dB for VLP
- L_{Bldg} (dB) = Building Entry Loss
- $L_{PropagationPath}$ (dB) = Propagation Path loss including Clutter loss (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- $L_{SpectralOverlap}$ (dB) = $10 \log_{10}(\text{spectrum overlap between VLP channel and victim channel / VLP bandwidth})$, also called frequency-dependent rejection.
- $L_{polarization}$ = Polarization Loss of 3 dB^{41,42}
- L_{feed} (dB) = Feederloss of victim FS receiver (per FS data)
- $G_{Rx-to-RLAN}$ (dBi) = Gain of victim FS Rx towards RLAN based on the angle off-boresight

The I/N is the ratio of the interference power and the receiver (Rx) noise power. The receiver noise power is calculated, for each victim Rx, using Eqn. 5-3 below:

$$N = 10(kT_0B) + NF \text{ (dBW)} \quad (5-3)$$

where,

- N = Victim FS Rx noise power at receiver input (dBW)
- k = Boltzmann's constant = $1.38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$
- $T_0 = 290 \text{ K}$
- B = Victim Rx Bandwidth (Hz)
- NF = Victim FS Rx Noise Figure (dB) = 4 dB (per FS data)

Note that Noise Figure of 4 dB is conservative. For example, in the co-existence studies conducted by the EU 5 dB Rx Noise Figures was considered.

⁴¹ International Telecommunication Union, *Working Document Towards a Preliminary Draft New Report ITU-R M.[RLAN SHARING 5150-5250 MHZ] - Sharing and Compatibility Studies of WAS/RLAN in the 5 150-5 250 MHz Frequency Range*, Appendix 2, Section 5.1.6.7 (Nov. 2017) (noting that with regard to polarization mismatch, a value of 3 dB is considered according to what has been supported by France during TG-5.1), available at <https://www.itu.int/md/R15-WP5A-171106-TD-0236/en>.

⁴² VLP on-body device measurements were made with two orthogonal polarized detectors and the combined total gain reported. These antennas are roughly circularly polarized, whereas traditionally FS microwave stations employ linear polarization. Thus, an average polarization loss of 3 dB is reasonable.

For each FS in the simulation, this I/N is aggregated over all RLANs.

Next, for these FS stations, the resulting increase in FS unavailability was calculated and analyzed.

5.2.3 Aggregate Interference Simulation

One hundred thousand simulation iterations were performed to determine the aggregate I/N at each of 27 FS receive locations. Together these simulations represent 2,700,000 different RLAN-to-FS interference morphologies with more than 17.92 billion total number of active RLANs dropped in Mexico City, which represent an excellent statistical model of expected interference. The occurrence probability for aggregate I/N > -6 and 0 dB was computed. To ensure inclusion of every RLAN that could affect a receiver, while avoiding the unnecessary complexity of modeling every RLAN in Mexico for every receiver, all RLANs operating within 150 km of the receiver were considered in the calculation.

Figure 5-22, Figure 5-23, and Table 5-4 show the probability of I/N (aggregated over the aforementioned morphologies) exceeding an I/N level (x-axis) due to the deployed active RLANs. Of the 2,700,000 different RLAN-FS morphologies simulated, the aggregate I/N for an FS receiver exceeded -6 dB in 0.209% of instances. Further investigation into these instances revealed that majority of them were caused by a single RLAN that was located in the main beam,⁴³ within 1km of the FS receiver, operating outdoor, operating indoor with very little building entry loss, operating with minimal loss in the far field gain, and/or pathloss values at the statistical tail of the propagation distribution. For all these threshold exceedance instances analyzed, none had a significant impact on FS link availability (see section 5.2.4).

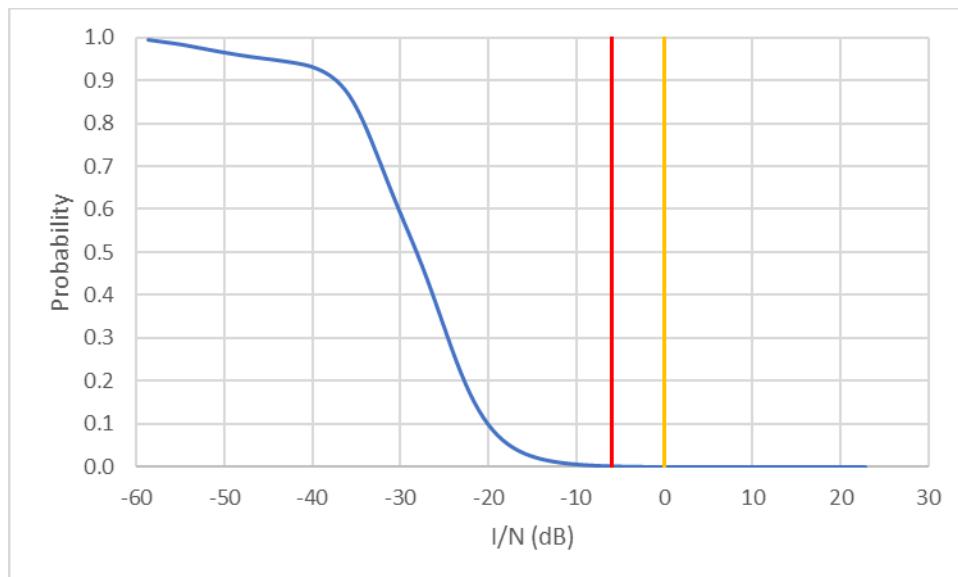


Figure 5-22 - Probability of Aggregate RLANs I/N Exceeding I/N Values on X-axis for 2,700,000 RLAN-FS morphologies (27 FS/iteration x 100,000 iterations)

⁴³ An RLAN was considered as being “in FS receiver’s main beam” if it was within FS receiver’s 3dB beamwidth, which corresponded to the RLAN being at an angle off-boresight from the FS receiver as large as 1.8° for these FS.

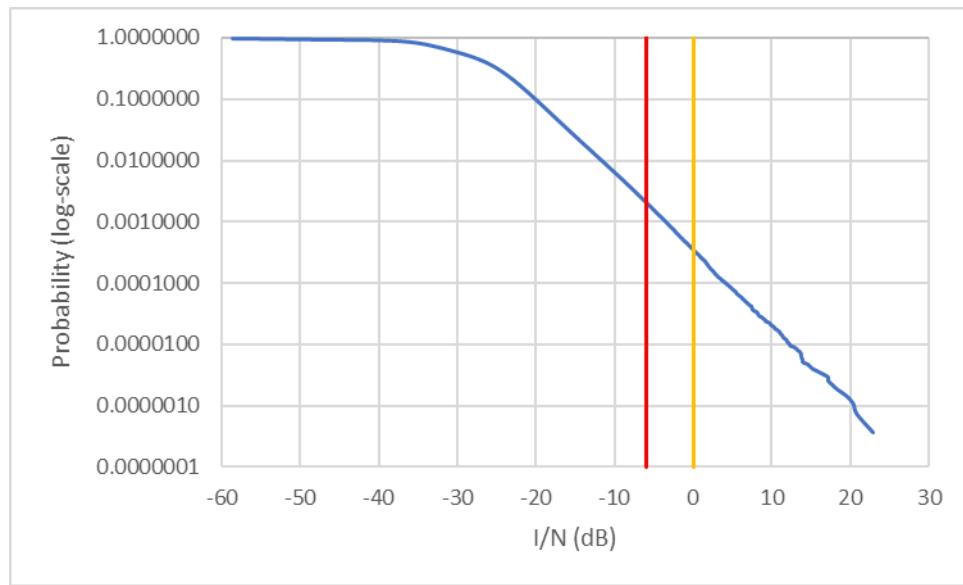


Figure 5-23 - Probability of Aggregate RLANs I/N Exceeding I/N values on X-axis for 2,700,000 RLAN-FS morphologies (27 FS/iteration x 100,000 iterations) Zoomed In

Table 5-4 - Interference statistics from 100,000 Independent Simulations of FS in Mexico City

I/N threshold (dB)	Aggregate
-6	0.209%
0	0.035%

5.2.4 FS Availability Analysis

The availability analysis assumed a typical FS design target of 99.999% availability (unavailability=0.001% corresponding to 5.3 minutes/year). Results are compared to a target increase in unavailability of less than 10%, as established by the ITU,⁴⁴ that is sufficient to allow continued robustness of FS links.

The increase in unavailability due to RLAN interference was further analyzed, using a two-step process, by looking at the 27 FS stations and at the specific impact on unavailability due to RLAN devices.

First, the minimum fade margin required to achieve the target availability of 99.999% was determined using ITU-R Rec. P.530-17 (P.530). Then, the increase in unavailability in the presence of simulated interference was assessed.

⁴⁴ International Telecommunication Union, *F.1094-2: Maximum Allowable Error Performance and Availability Degradations to Digital Fixed Wireless Systems Arising from Radio Interference from Emissions and Radiations from Other Sources* (2007), available at <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.1094/en>.

Second, if an FS link's unavailability increased more than 10% in Step 1, the actual operating parameters were examined to determine the available fade margin. These links were then reassessed to determine if they would meet the 10% target.

The fade margin probability density function (pdf) is obtained from P.530 (section 2.3.2 Eqn. 18) using FS unavailability and the multipath occurrence factor, p_0 . p_0 provides the fade margin required for the average worst month and is computed using P.530 (section 2.3.2, Eqn. 11), with input parameters from the FS data. The input parameters are the FS Transmitter (Tx) and Receiver (Rx) terrain height, antenna height above ground level, link distance, and center frequency.

Given the fade margin pdf and the pdf of the degradation due to RLAN interference for a specific FS (i.e., $(I+N)/N$ from the 100,000-iteration simulation), the impact on FS link unavailability can be determined directly from the combined distribution. The convolution provides the correct answer to this question under the assumption that the two random variables (fading and interference) are independent. This independence is a conservative approximation. In fact, there is an inverse relationship between RLAN device activity and when multipath fading occurs. As multipath fading occurs between midnight and 8 am,⁴⁵ while RLAN usage will primarily be from 7pm to 10pm (for LPI and Standard Power devices) or during daylight (for VLPs). This inverse correlation means that the sum of interference and fading is statistically smaller than what is modeled.

Furthermore, for accuracy, the full I/N distribution is used in the analysis including all aggregate interference events.

In Step 1, results showed that the 10% unavailability target was met for 8 FS (out of 27) assuming the bare minimum calculated fade margin. The increase in unavailability for these 8 FS is shown in Figure 5-24. As indicated, these FS had less than 2.4% increase in unavailability.

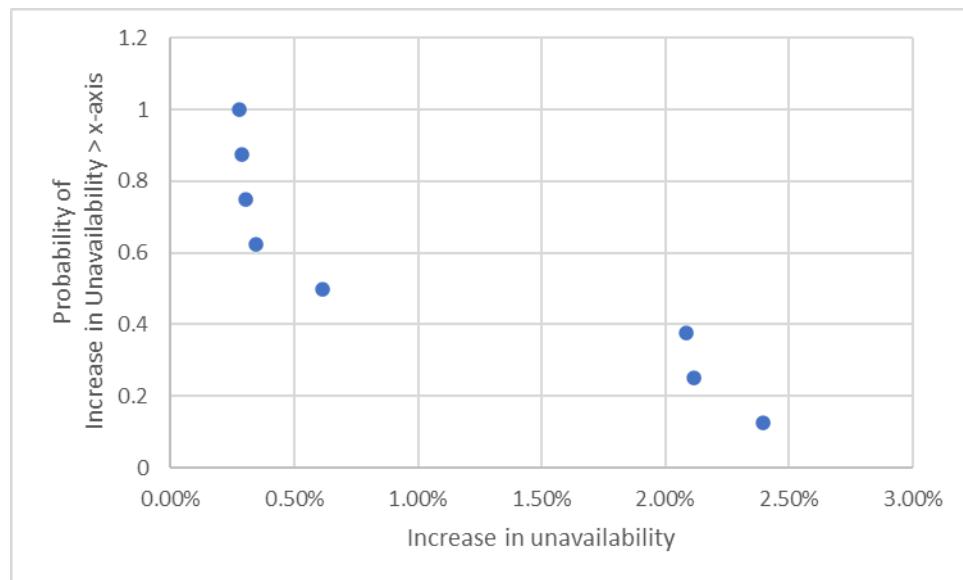


Figure 5-24 – Increase in unavailability for 8 FS that meet the 10% target.

⁴⁵ See NTIA Report 05-432.

The analysis in Step 1 assumes that each FS link has the exact margin to achieve the target availability. However, given that amplifiers and antennas only come in certain sizes, it is unlikely that these links achieve this margin exactly. In Step 2, the 19 links that did not meet the 10% unavailability target are examined more closely. As indicated below, after considering the actual FS link operating parameters at the links' modulations in Step 2, they all meet the 10% target.

These 19 FS all had very small p_0 values (2.3×10^{-6} to 0.007) that resulted in very low fade margins (5.3 to 12.5 dB), which made them sensitive to interference. Those with $< 0.001 p_0$ are also short-haul links (≤ 15.5 Km) which have higher link margins and can generally accept interfering signals 1-10 dB or more above long-haul performance requirements and not affect long-term performance.⁴⁶

Table 5-5 shows the link characteristics of these FS stations.

Table 5-5 - Link characteristics of the FS with Increase in Unavailability > 10% using theoretical link characteristics

FS ID	FS Tx EIRP (dBm)	FS Tx Power (Watt)	FS link distance (km)	Received C/N (dB) (Eqn. 5-4)	Multipath occurrence factor, p_0 (ITU-R P.530)
2	42.16	0.00	38.39	42.71	0.002
4	42.16	0.00	38.39	42.48	0.002
6	52.494	0.03	38.39	47.97	0.002
8	62.66	0.15	38.39	63.30	0.002
9	52.494	0.03	38.39	48.05	0.002
10	42.16	0.00	38.39	42.63	0.002
12	68.4	0.72	4.49	81.99	2.26E-06
14	61.4	1.00	15.48	63.70	0.001
17	74.2	1.07	52.28	69.05	0.007
23	69.96	1.68	4.49	82.15	2.26E-06
36	42.16	0.00	38.39	42.36	0.002
38	42.16	0.00	38.39	42.13	0.003
39	51.897	0.02	38.39	46.37	0.002
40	51.897	0.02	38.39	46.22	0.002
42	62.66	0.15	38.39	62.94	0.002
44	42.16	0.00	38.39	42.28	0.003
46	68.4	0.72	4.49	81.56	2.33E-06
48	61.4	1.00	15.48	63.26	0.001
57	70.66	1.68	4.49	81.72	2.33E-06

The FS data information was used to compute the C/N at the receiver, shown in Table 5-5, using Eqn. 5-4 below:

⁴⁶ National Telecommunications and Information Administration, *Interference Protection Criteria Phase 1 - Compilation from Existing Sources*, NTIA Report 05-432, 4-8, 4-9 (2005), https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/ipc_phase_1_report.pdf (“NTIA Report 05-432”).

$$\frac{C}{N} (\text{dB}) = \text{EIRP} (\text{dBW}) - \text{FSPL} (\text{dB}) - L_{\text{feed}} (\text{dB}) + G_R (\text{dBi}) - N (\text{dBW}) \quad (5-4)$$

where,

- EIPP (dBW) = FS EIRP from the FS data
- FSPL (dB) = $92.45 + 20*\log_{10}(\text{FS link distance [km]}) + 20*\log_{10}(\text{center frequency [GHz]})$
- L_{feed} = FS Rx Feederloss from the FS data
- G_R = FS Rx Gain (dBi) from the FS data
- N = Noise Power (dBW) = $-228.6 \text{ dB(W/K/Hz)} + 10*\log_{10}(T) + \text{Noise Figure} + 10*\log_{10}(B [\text{Hz}])$
- T = System temperature = 290 K
- Noise Figure = 4 dB from the FS data
- B = FS channel bandwidth (Hz)

The actual FS fade margin, F_a , is then computed as shown in Eqn. (5-5).

$$F_a (\text{dB}) = C/N (\text{dB}) - (\max) C/N_{\text{req}} (\text{dB}) \quad (5-5)$$

The modulations in the FS data for the 19 FS links were: Analog Modulation, 64QAM, 128QAM or 256QAM.

Table 5-6 shows C/Nreq values obtained from several manufacturers' datasheets. The 30 MHz channels have a range of values that indicate different coding and receiver performance. For the analysis, the maximum C/Nreq values are used (indicated in **bold**). This will provide the most conservative answer.

Note that the 19 FS have the following bandwidths for each modulation. For the FS bandwidths unavailable in manufacturers' datasheets, the closest lower bandwidth is chosen as indicated below for conservativeness.

- Analog Modulation: 11.8 and 24.3 MHz → 10 and 20 MHz
- 64-QAM: 7 and 24.3 MHz → 7 MHz
- 128-QAM: 35 MHz → 30 MHz
- 256-QAM: 25.8 MHz → 20 MHz

Furthermore, for Analog Modulation, the C/Nreq for 64-QAM modulation was chosen for conservativeness.

Table 5-6 - SNR required used for the 19 FS based on the link's modulation and bandwidth

Modulation	Bandwidth (MHz)	C/Nreq (dB)	Manufacturers
64-QAM	30	16.7 – 20.7	

128-QAM		19.7 – 24.2	SAF Integra, Redline RDL 5000, and ALFOplus ⁴⁷
64-QAM	7	22.5	SAF Integra
64-QAM	10	20.5	SAF Integra
64-QAM	20	17.0	Redline RDL 5000
256-QAM	20	23.5 (strongFEC ⁴⁸) 27.0 (weakFEC)	Redline RDL 5000

Table 5-7 summarizes the key performance parameters for each link including the Fade Margin (FM) at the 99.999% availability target, the received C/N (Eqn. 5-4), C/Nreq (from Table 5-11), and F_a (Eqn. 5-5). The actual link fade margin is then compared to the FM at 99.999% availability and the difference is the “Actual Margin Above FM” (column C5). Notice the calculated “Actual Margin above FM” is very high for these links (>10.95 dB).

Next, the additional margin to meet the 10% target is determined and is shown in column C6.

Finally, the “Actual Margin above FM” (C5) is compared against the “Increase in FS link margin to meet the 10% target” (C6). The results show that the actual operating parameters on these 19 links led to more than sufficient margin to meet the 10% target.

To further demonstrate the robustness of this analysis, 1% increase in unavailability was studied as a sensitivity analysis and shown in column C7. As indicated in (C6) and (C7), the overall interference risk from RLAN operations is so low that nearly the same margin is necessary to achieve both 10% and 1% increase in unavailability.

This shows that all the 27 FS links meet the 10% increase in unavailability target as well as the sensitivity analysis down to 1% increase in unavailability.

Table 5-7 - FS with Increase in Unavailability > 1% had “Actual Margin beyond FM” (C5) >> “Increase in FS Link Margin to meet 10% target (C6) and 1% sensitivity (C7)”

FS ID	FM (dB) @ 99.999%	Received C/N (dB) (Eqn. 5-4)	C/Nreq (dB)	F_a (dB) (Eqn. 5-5)	Actual Margin (dB) above FM	Increase in FS Link Margin (dB), x , to meet 10% target	Increase in FS Link Margin (dB), x , to meet 1% (sensitivity)
Column	C1	C2	C3	C4=C2- C3	C5=C4- C1	C6	C7
2	10.57	42.71	20.5	22.21	11.65	0.70	0.79
4	10.60	42.48	20.5	21.98	11.38	4.05	4.05
6	10.50	47.97	17	30.97	20.47	0.55	0.65
8	10.56	63.30	20.5	42.80	32.25	0.14	0.26

⁴⁷ See SAF Tehnika, *SAF Integra Datasheet*,

<https://www.ipssupplies.com/content/datasheets/Integra%20series%20DS%20v1.43.pdf>; Redline Communications, *RDL-5000 Datasheet*, <https://rdlcom.com/wp-content/uploads/Redline-DS-RDL-5000.pdf>; SIAE Microelettronica, *ALFOplus2 Datasheet*, available at <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecommunication-systems/microwave-product-portfolio/alfoplus2>.

⁴⁸ FEC = Forward Error Correction Coding

9	10.49	48.05	17	31.05	20.56	2.04	2.04
10	10.58	42.63	20.5	22.13	11.55	0.42	0.53
12	5.32	81.99	27	54.99	49.67	11.96	12.86
14	8.70	63.70	22.5	41.20	32.50	4.95	4.95
17	12.34	69.05	24.2	44.85	32.52	4.85	4.85
23	5.32	82.15	27	55.15	49.83	9.28	9.92
36	10.65	42.36	20.5	21.86	11.21	5.20	5.20
38	10.68	42.13	20.5	21.63	10.95	5.42	7.03
39	10.56	46.37	17	29.37	18.80	2.76	2.76
40	10.58	46.22	17	29.22	18.63	0.44	0.54
42	10.64	62.94	20.5	42.44	31.80	5.77	10.15
44	10.66	42.28	20.5	21.78	11.12	5.93	6.51
46	5.33	81.56	27	54.56	49.23	13.80	14.10
48	8.74	63.26	22.5	40.76	32.02	7.50	10.07
57	5.33	81.72	27	54.72	49.39	3.61	3.65
13	12.36	69.25	24.2	45.05	32.69	N/A ⁴⁹	0.03
18	12.36	71.41	24.2	47.21	34.84	N/A	0.03
22	12.35	71.21	24.2	47.01	34.67	N/A	0.02

5.2.5 FS Sharing Conclusions

To assess the interference impact from RLAN devices to FS stations, 100,000 Monte-Carlo simulation iterations were run for 27 FS in the vicinity of Mexico.

The simulation results indicated low average I/N > -6 dB and 0 dB occurrence probabilities of 0.209% and 0.035% respectively.

To accurately assess the impact of RLAN interference on FS performance, the increase in FS unavailability was computed for all 27 FS. The increase in FS unavailability analysis showed that using ITU derived fading distributions and considering the operating parameters of the FS, the increase in unavailability did not exceed the 10% target and the 1% sensitivity threshold for all 27 FS.

In conclusion, RLANs in the three device classes operating over a 20, 40, 80, or 160 MHz channel bandwidth do not cause harmful interference to an FS uplink.

⁴⁹ 10% availability was met for this FS.

**TELECOM
ADVISORY
SERVICES**



New York - Buenos Aires - Madrid - Bogotá

**ESTIMACIÓN DEL VALOR
ECONÓMICO DEL USO NO LICENCIADO DE
LA BANDA DE 6 GHz EN MÉXICO**

Enero 2021

Autores

- **Raúl Katz** – PhD, Administración de Empresas y Ciencias Políticas y MS, Tecnología y Políticas de Comunicaciones - *Massachusetts Institute of Technology*, Maestría y Licenciatura, Ciencias de la Comunicación, Universidad de Paris y Maestría, Ciencias Políticas – Universidad de Paris – Sorbona. El Dr. Katz es Director de Investigación de Estrategia Empresaria en el *Columbia Institute for Tele-Information* (Universidad de Columbia), Profesor Visitante de la Universidad de San Andrés (Argentina) y Presidente de *Telecom Advisory Services, LLC* (URL: www.teleadvs.com). Antes de fundar *Telecom Advisory Services*, él trabajó durante veinte años en *Booz Allen Hamilton*, donde se desempeñó como Líder de la Práctica de Telecomunicaciones en las Américas y miembro del equipo de dirección de la firma.
- **Fernando Callorda** – Maestría y Licenciatura, Ciencias Económicas - Universidad de San Andrés (Argentina). El Lic. Callorda se desempeña como Director de Proyectos en *Telecom Advisory Services*. Especializado en econometría de las telecomunicaciones, el Lic. Callorda lideró numerosos estudios de impacto de tecnologías digitales en los Estados Unidos, Europa, Asia y África, publicados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y periódicos especializados. Antes de incorporarse a *Telecom Advisory Services*, el Lic. Callorda se desempeñó como asesor económico en el Congreso Argentino y consultor en *Deloitte*. Asimismo, el Lic. Callorda es profesor de Economía Política en UNLAM (Argentina) e Investigador en la Red Nacional de Universidades Públicas (Argentina).

Telecom Advisory Services LLC (URL: www.teleadvs.com) es una firma de consultoría con personalidad jurídica registrada en el estado de Nueva York (EE. UU.) con presencia física en Nueva York, Madrid, Bogotá y Buenos Aires. Fundada en el 2006, la firma ofrece servicios de asesoría y consultoría a nivel internacional, especializándose en particular en el desarrollo de estrategias de negocios y políticas públicas en los sectores de telecomunicaciones y digital. Sus clientes incluyen operadores de telecomunicaciones, fabricantes de equipamiento electrónico, plataformas de Internet, desarrolladores de software, así como los gobiernos y reguladores de Argentina, Colombia, Ecuador, Costa Rica, México, y Perú. Asimismo, *Telecom Advisory Services* ha realizado numerosos estudios de impacto económico y planeamiento de tecnologías digitales para la GSMA, la NCTA (EE.UU.), *Cable Europe*, la CTIA (EE.UU.), y la Wi-Fi Alliance. En el ámbito de organizaciones internacionales, la firma ha trabajado con la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, la Corporación Andina de Fomento, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y el Foro Económico Mundial.

Este estudio fue comisionado por la Dynamic Spectrum Alliance y realizado en el periodo comprendido entre octubre de 2020 y enero de 2021; el mismo representa el punto de vista de los autores.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN

2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

- 2.1. El valor intrínseco del espectro no licenciado
- 2.2. La decisión de designar la banda de 6 GHz para uso no licenciado en otros países

3. METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL VALOR DE LA DESIGNACIÓN DE LA BANDA DE ESPECTRO DE 6 GHz PARA USO NO LICENCIADO

- 3.1. Aumento de la cobertura de banda ancha y mejoramiento de la asequibilidad
- 3.2. Aumento de la velocidad de banda ancha como resultado de la disminución de congestión de Wi-Fi
- 3.3. Despliegue acelerado del Internet de las Cosas
- 3.4. Reducción de costos de comunicaciones inalámbricas de empresas
- 3.5. Despliegue de soluciones de realidad aumentada y realidad virtual
- 3.6. Despliegue de Wi-Fi municipal
- 3.7. Desarrollo de puntos de acceso de Wi-Fi gratuito
- 3.8. Alineamiento de la designación de espectro con el modelo de economías avanzadas
- 3.9. Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular
- 3.10. Producción y adopción de equipamiento de Wi-Fi
- 3.11. Combinación del valor económico
- 3.12. Efecto adicional: despliegue de Wi-Fi en estadios

4. AUMENTO DE LA COBERTURA DE BANDA ANCHA Y MEJORAMIENTO DE LA ASEQUIBILIDAD

- 4.1. La situación actual en México
- 4.2. Aumento del excedente de consumidores de los abonados a ISP inalámbricos
- 4.3. Impacto en el PIB del aumento de la asequibilidad y penetración de banda ancha de abonados de ISP inalámbricos

5. AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA COMO CONSECUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN DE WI-FI

- 5.1. Velocidad actual de banda ancha en México y el peso de la congestión de Wi-Fi

- 5.2. Contribución al PIB como resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi
 - 5.3. Contribución al excedente del consumidor como resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi
- 6. DESPLIEGUE ACELERADO DEL INTERNET DE LAS COSAS**
 - 6.1. La importancia del Internet de las Cosas en México
 - 6.2. El excedente del productor de las firmas del ecosistema de Internet de las Cosas
 - 6.3. Derrame económico del Internet de las Cosas como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado en México
- 7. REDUCCIÓN DE COSTOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE EMPRESAS**
- 8. DESPLIEGUE DE SOLUCIONES DE REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL**
 - 8.1. Excedente del productor generado por la venta de soluciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada
 - 8.2. Derrame económico de la Realidad Virtual y Realidad Aumentada
- 9. ACELERAMIENTO EN EL DESPLIEGUE DE WI-FI MUNICIPAL**
 - 9.1. Impacto de las redes de Wi-Fi municipal en el PIB
 - 9.2. Contribución de las redes de Wi-Fi municipal al excedente del consumidor
- 10. DESARROLLO DE PUNTOS DE ACCESO DE WI-FI GRATUITO**
 - 10.1. Impacto de Wi-Fi gratuito en el PIB como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado
 - 10.2. Impacto de Wi-Fi gratuito en el excedente del consumidor
- 11. ALINEAMIENTO DE LA DESIGNACIÓN DE ESPECTRO DE 6 GHz CON EL MODELO DE ECONOMÍAS AVANZADAS**
- 12. AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENRUTAMIENTO DE TRÁFICO CELULAR**
- 13. PRODUCCIÓN Y ADOPCIÓN DE EQUIPAMIENTO DE WI-FI**
- 14. CONCLUSIÓN**

BIBLIOGRAFÍA

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo provisto por Luis Alberto Serna, Coordinador (WISP.MX), Michael Daum, Director - Política Tecnológica (Microsoft); Chuck Lukaszewki, Vicepresidente - Estrategia Inalámbrica y Estándares (HP Enterprise); Hassan Yaghoobi, Arquitecto Principal de Sistemas Inalámbricos – Estándares y Tecnología de Última Generación (Intel); Lester García, Líder de Política de Conectividad - Latam (Facebook); Chris Szymanski, Director - Mercadeo de Producto y Asuntos Gubernamentales (Broadcom); Alan Norman, Director - Políticas de Espectro (Facebook); Burhan Masood, Director Asociado - Línea de Producto (Broadcom); Carlos Rebellón, Director – Relaciones Gubernamentales, Américas (Intel), y Mary Brown, Director Senior – Relaciones Gubernamentales (Cisco)

Se agradece asimismo a ABI Research por haber otorgado permiso para usar su información y datos en este estudio.

RESUMEN EJECUTIVO

El 6 de noviembre el Instituto Federal de Telecomunicaciones de México abrió una Consulta Pública sobre el uso futuro de la banda de 6 GHz (entre 5925-7125 MHz).¹ El objetivo de la misma es “determinar los distintos usos que se le podrán dar a la banda o a segmentos específicos de ella en el futuro cercano”.

El propósito del siguiente estudio es estimar el valor económico asociado con la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado² en México. La metodología utilizada identifica diez fuentes de valor económico, estimándolas de manera independiente y sumándolas para proporcionar un valor total que incluye la contribución al Producto Interno Bruto (PIB), así como los excedentes del productor³ y del consumidor⁴ (ver cuadro A).

Cuadro A. Fuentes de Valor Económico de la Banda de 6 GHz en México

Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
Aumento de la cobertura y mejoramiento de la asequibilidad	Mejoramiento de la asequibilidad asociada con la provisión de servicio de banda ancha y aumento de la capacidad de compartición de líneas en el sector de WISP		Aumento de velocidad a abonados de WISP
Aumento de la velocidad de banda ancha mediante la reducción de la congestión de Wi-Fi	Beneficio resultado de la eliminación de cuellos de botellas en conexiones de alta velocidad a partir del aumento de velocidad de Wi-Fi		Excedente del consumidor resultado del aumento de velocidad de la banda ancha
Despliegue amplio de Internet de las Cosas	Derrame económico del Internet de las Cosas resultado de su despliegue en sectores de la economía mexicana (p.e., automovilista, alimenticia, logística, etc.)	Márgenes de empresas del ecosistema (hardware, software y servicios) involucradas en el despliegue de IoT	
Reducción de los costos de telecomunicaciones inalámbricas de empresas		Reducción de costos de empresas en el uso de telecomunicaciones inalámbricas	
Despliegue de soluciones de AR/VR	Derrame económico resultado del despliegue de AR/VR en la economía mexicana	Márgenes de empresas del ecosistema relacionado con la industria de AR/VR	

¹ Comunicado de Prensa 085/2020.

² Este estudio usa de manera indistinta los términos de “espectro no licenciado” y “espectro libre”.

³ El excedente del productor es la diferencia entre el precio de mercado de un bien y su costo de producción.

⁴ El excedente del consumidor es la diferencia entre la utilidad total que obtiene el consumidor de un bien o servicio y su precio de mercado.

Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
Despliegue de Wi-Fi municipal	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha		Excedente del consumidor derivado del acceso a banda ancha a mas alta velocidad
Despliegue de puntos de acceso de Wi-Fi gratuitos	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha		Excedente del consumidor derivado del acceso a banda ancha a más alta velocidad
Alineamiento de la designación de espectro con las decisiones de otros países	Oportunidad potencial relacionada con el desarrollo de la manufactura de equipamiento de Wi-Fi	Beneficio relacionado con las economías de escala resultantes del alineamiento de México con otras naciones avanzadas (por ejemplo, Estados Unidos y Corea del Sur)	
Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular		Reducción de la inversión de capital como resultado del enrutamiento de tráfico celular a puntos de acceso Wi-Fi	
Equipamiento de Wi-Fi		Márgenes de empresas por la producción de equipamiento Wi-Fi	Excedente del consumidor resultado del uso del equipamiento Wi-Fi

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

El valor económico acumulado entre el 2021 y 2030 resultante de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en México suma US\$ 150.27 mil millones, distribuidos en US\$ 71.96 mil millones de contribución al PIB, US\$ 56.18 mil millones en excedente del productor y US\$ 22.13 mil millones en excedente del consumidor (cuadro B).

Cuadro B. México: Valor Económico de la designación de 1200 MHz en la banda de 6 GHz (2021-2030) (en mil millones US\$)

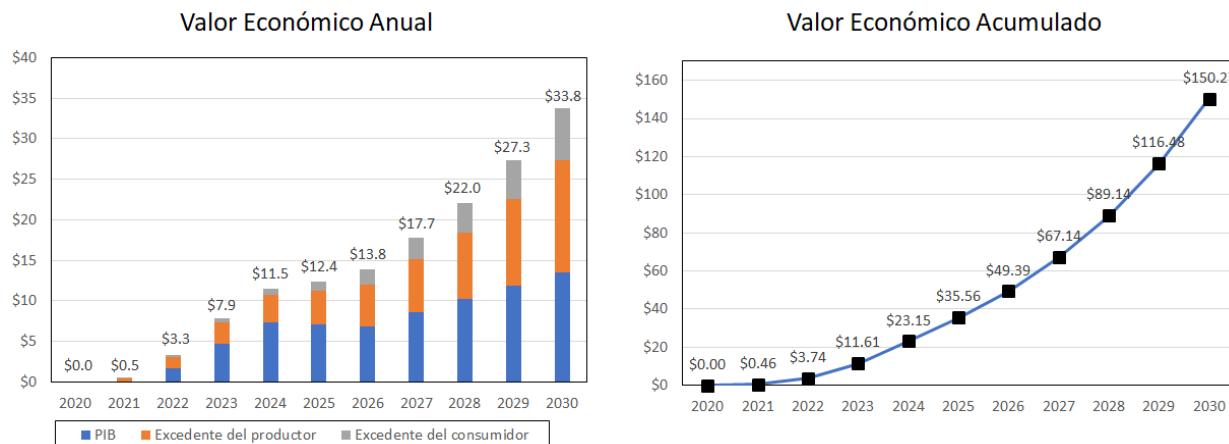
Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
Aumento de la cobertura y mejoramiento de la asequibilidad	\$ 4.71		\$ 0.06
Aumento de la velocidad de banda ancha mediante la reducción de la congestión de Wi-Fi	\$ 17.48		\$ 6.86
Despliegue amplio de Internet de las Cosas	\$ 13.76	\$ 16.64	
Reducción de los costos de telecomunicaciones inalámbricas de empresas		\$ 11.10	
Despliegue de soluciones de AR/VR	\$ 10.04	\$ 7.51	
Despliegue de Wi-Fi municipal	\$ 5.26		\$ 0.98
Despliegue de puntos de acceso de Wi-Fi gratuitos	\$ 20.71		\$ 2.90
Alineamiento de la designación de espectro con las decisiones de otros países		\$ 0.47	
Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular		\$ 1.69	
Equipamiento de Wi-Fi		\$ 18.77	\$ 11.33
TOTAL	\$ 71.96	\$ 56.18	\$ 22.13

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

El valor económico por año aumenta en el tiempo con un aceleramiento significativo hacia

el final del período considerado debido a la capacidad de apalancamiento del uso libre de la banda de 6 GHz (ver gráfico C).

Gráfico C. México: Valor Económico de la designación de 1200 MHz en la banda de 6 GHz



Fuente: análisis Telecom Advisory Services

Adicionalmente al valor estrictamente económico, es importante mencionar un aspecto importante a tener cuenta en la designación de la banda de 6 GHz para uso libre. La experiencia de los últimos meses en el que el mundo se enfrentó al COVID-19 ha demostrado la importancia crítica de Wi-Fi para apoyar la infraestructura capaz de mitigar los efectos económicos y sociales de la pandemia.⁵ El confinamiento en hogares ha puesto de manifiesto la importancia de la tecnología para apoyar la educación a distancia, el teletrabajo y hasta la telemedicina. En este contexto, el aumento exponencial del tráfico de las telecomunicaciones en el hogar ha impactado el uso de Wi-Fi. Por ejemplo, el porcentaje de tiempo que los usuarios de smartphone están conectados a Internet a través de Wi-Fi en México ha alcanzado el 64%.⁶ Esto ha puesto de manifiesto de manera más aguda la congestión experimentada por los enrutadores de Wi-Fi en el hogar, lo que requiere que estos tengan la capacidad de usar espectro en otras bandas no licenciadas como la de 6 GHz.⁷

Un segundo argumento para considerar es la contribución del uso libre de la banda de 6 GHz para reducir la brecha digital de México. La adopción de Internet en el país es estimada en 71.58%, mientras que la penetración de usuarios únicos de banda ancha móvil alcanza

⁵ Con respecto a la importancia de las telecomunicaciones para mitigar el impacto negativo de las pandemias, ver Katz, R.; Jung, J. and Callorda, F. (2020a). "Can digitization mitigate the economic damage of a pandemic? Evidence from SARS". *Telecommunications Policy* 44, 102044.

⁶ Khatri, H. and Fenwick, S. (2020). *Analyzing mobile experience during the coronavirus pandemic: Time on Wi-Fi*. Opensignal (March 30).

⁷ Para más referencia, consultar Katz, R.; Jung, J. and Callorda, F. (2020b). *COVID-19 and the economic value of Wi-Fi*. New York: Telecom Advisory Services. Retrieved at: https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/COVID-19_Economic_Value_Wi-Fi_202012.pdf

⁸ Extrapolación al 2020 de datos del ITU data.

59.42%⁹, y la banda ancha fija llega a 56% de hogares¹⁰. Como es de esperar, la población que no ha adoptado banda ancha está concentrada en los sectores más vulnerables de la población urbana y las zonas rurales. El uso de espectro no licenciado ya contribuye a la disminución de la brecha digital:

- Los proveedores de acceso inalámbrico a Internet (denominados WISP, por sus siglas en inglés) operan principalmente en zonas rurales sirviendo a 80,000 hogares¹¹;
- Los puntos de acceso gratuitos a Wi-Fi permiten a 800,000 mexicanos acceder a Internet;
- Los sitios públicos de Wi-Fi representan para muchos mexicanos la única manera para conectarse a Internet. Al 2020 se estima que existen unos 44,000 puntos de atención de Internet para Tod@s, donde principalmente se benefician comunidades con menos de 250 habitantes. Estos sitios de acceso son muy relevantes en México, ya que en el año 2019 más de 15,000,000 de mexicanos han accedido a un computador desde sitios públicos¹².

Todas estas áreas se beneficiarán inmediatamente de una designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado, aumentando la capacidad y velocidad de descarga en los puntos de acceso. En contrapartida, una designación del espectro de 6 GHz para uso de los operadores de IMT no resultará en ninguna contribución positiva a la reducción de la brecha digital. El acceso inalámbrico fijo de 5G (en inglés, *Fixed Wireless Access*) no tendrá impacto alguno tanto en las zonas rurales como en la provisión de servicio a la población vulnerable debido a los elevados costos de despliegue rural y a las tarifas del servicio. El despliegue de una red nacional 5G en México ha sido estimado a requerir una inversión de US\$ 37.41 mil millones, de los cuales US\$ 24.55 mil millones deberían ser destinados a zonas rurales.¹³ Considerando que la inversión de capital anual de operadores celulares mexicanos no excederá US\$ 2.70 mil millones para los próximos cinco años¹⁴, se requeriría un aumento de la inversión anual de más de 170% para alcanzar una cobertura rural, un objetivo imposible de realizar. A esta meta inalcanzable, se debe sumar la barrera de asequibilidad en el precio de acceso del servicio 5G. Si de reducir la brecha digital en México se trata, la designación de la banda de 6 GHz para uso libre es clave.

Como es fundamentado en este estudio, la designación de 1200 MHz en la banda de 6 GHz para uso no licenciado comienza a generar un beneficio económico desde el primer momento a partir de la resolución de la congestión de enrutadores de Wi-Fi en el mercado residencial

⁹ GSMA Intelligence (2020).

¹⁰ CGI.br/NIC.br, Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros - TIC Domicílios 2019

¹¹ Encuesta de Wisp.MX realizada en el marco de este estudio.

¹² INEGI. *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de TIC en Hogares* (ENDUTIH).

¹³ Metodología de estimación originalmente presentada en Katz, R. and Cabello, S. (2019). *US\$300 billion for Latin America's GDP by expanding mobile connectivity into 5G*. retrieved in:

<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/11/expansive-mobile-networks-to-drive-economic-growth-in-latam>. Inversión sin incluir costo de adquisición de espectro.

¹⁴ Fuente: GSMA Intelligence, promedio 2021-2025.

y del desarrollo y despliegue de múltiples casos de uso en el sector productivo. La alternativa – no innovar y esperar hasta que los operadores de telecomunicaciones inalámbricas (IMT) tengan necesidad de acceder a espectro adicional en esta banda – pospone la creación de valor económico con el consiguiente costo de oportunidad para la economía y sociedad mexicanas.

1. INTRODUCCIÓN

El Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones de México resolvió abrir una Consulta Pública abierta a la industria, la academia y la sociedad civil sobre el uso futuro de la banda de 6 GHz (entre 5925-7125 MHz).¹⁵ El objetivo de la misma es “determinar los distintos usos que se le podrán dar a la banda o a segmentos específicos de ella en el futuro cercano”, considerando nuevas tecnologías como Wi-Fi 6. El objetivo es ampliar y mejorar la conectividad de la población en general.

El propósito del siguiente estudio es estimar el valor económico asociado con la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en México. Para ello, se evaluará el impacto en la calidad del servicio, cobertura, y asequibilidad, así como en el despliegue de aplicaciones y casos de uso que puedan ser implementados en los mercados de consumidores individuales y empresas. En términos generales, la metodología empleada en este estudio es similar a la utilizada en las investigaciones realizadas en el caso de la decisión de la banda de 6 GHz en Estados Unidos¹⁶ y Brasil¹⁷, a partir de las cuales se identifican diferentes fuentes de valor económico, estimándolas de manera independiente y sumándolas para determinar un valor total que incluya la contribución al PIB, el excedente del productor y del consumidor.

El capítulo 2 presenta antecedentes y el marco teórico requerido para encuadrar el análisis. El capítulo 3 presenta las metodologías empleadas para calcular el valor económico resultante de la designación de la banda de 6 GHz para su uso no licenciado. A partir de ello, los capítulos 4 hasta 13 presentan los análisis y resultados de cada fuente de valor. El capítulo 14 presenta las conclusiones y la estimación agregada de valor económico asociado con esta propuesta.

¹⁵ Instituto Federal de las Telecomunicaciones. *Comunicado de Prensa 085/2020*.

¹⁶ Katz, R. (2020). *Assessing the economic value of unlicensed use in the 5.9 GHz and 6 GHz bands*. Washington, DC: Wi-Fi Forward. Retrieved in: <http://wififoward.org/wp-content/uploads/2020/04/5.9-6.0-FINAL-for-distribution.pdf>.

¹⁷ Katz, R. y Callorda, F. (2020). *Avaliação do valor econômico do uso não licenciado na faixa de 6 GHz no Brasil*. Washington, DC: Dynamic Spectrum Alliance (agosto). Retrieved in: <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2020/11/1-DSA-Valor-Económico-Uso-Nao-Licenciado-6-GHz-Brasil-1.pdf>

2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

2.1. El valor intrínseco del espectro no licenciado

El espectro radioeléctrico no licenciado (es decir, el espectro que no es designado para uso privado mediante el otorgamiento de una licencia) existe desde 1930, aunque fue en 1985 cuando la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos declaró formalmente la utilización libre para las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, y 5725-5850 MHz, las que se transformaron en plataformas clave para el despliegue de dispositivos que usan estándares como Bluetooth y Wi-Fi. En 2003, la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, reconociendo el valor creciente de la tecnología y las aplicaciones operando en bandas no licenciadas, decidió abrir más espectro para el uso libre. A partir de ese momento, la tecnología de Wi-Fi ha ocupado una posición importantísima en el ecosistema de comunicaciones inalámbricas. El éxito de Wi-Fi y Bluetooth llevó a que el regulador de Estados Unidos designase más bandas para uso no licenciado: a finales del 2008, aproximadamente 955 MHz fueron designados en las bandas de 900 MHz, 2.4 GHz, 5.2/5.3/5.8 GHz, y más de 60 GHz. En el 2014, la FCC designó la banda de 5.8 GHz y recientemente la extendió a la parte inferior (45 MHz) de la banda de 5.9 GHz. Finalmente, en el 2020, la Comisión Federal de Comunicaciones designó para uso no licenciado 1200 MHz en la banda de 6 GHz. La decisión de designar el uso libre de la banda de 6 GHz se ha extendido a numerosos países, incluyendo hasta el momento el Reino Unido, Corea del Sur, y Chile, mientras que otros países (Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, y la Unión Europea, entre otros) están estudiando el tema, esperándose una decisión próximamente.

México ya ha designado espectro para uso no licenciado en las bandas de 2.4 GHz, 5470-5600 MHz y 5650-5725 MHz. El llamado a Consulta Pública del 6 de noviembre tiene como objeto recabar propuestas para la banda que va de 5925 MHz a 7125 MHz, planteando como una opción el modelo de designación completa de los 1200 MHz (siguiendo los modelos estadounidense, coreano y chileno).

El modo más eficiente de administrar espectro ha sido debatido en los últimos sesenta años, sobre todo a partir del trabajo de Roland Coase (1959) sobre gestión de espectro. Un aspecto central de este debate se refiere a la porción del espectro para la cual no se otorgan licencias de uso exclusivo, sino que se la designa como de uso libre siempre y cuando los usuarios respetan ciertas reglas técnicas respecto a la interferencia. Los temas centrales se refieren a si el otorgamiento de licencias de uso exclusivo puede tener un impacto negativo en la innovación, o cuál es el impacto en los ingresos a las arcas del Estado de la designación de espectro no licenciado (en la medida en que no se realizan subastas de licencias). En este sentido, la investigación académica ha producido numerosas contribuciones en apoyo de la designación de espectro para libre (Milgrom et al, 2011; Carter, 2003; Cooper, 2011; Marcus et al, 2013; Crawford, 2011; Benkler, 2012; Calabrese, 2013). Si bien el debate ha puesto de manifiesto los efectos benéficos del espectro no licenciado - como ser el estímulo a la innovación, y la complementariedad de redes móviles – es solamente en los últimos años en los que la investigación se ha enfocado en medir el valor económico del mismo. Áreas

exploradas analíticamente incluyen los excedentes del productor y consumidor y la contribución al producto interno bruto (PIB).¹⁸

Parte de la dificultad en el análisis del valor económico de espectro libre reside en el hecho que, contrariamente al espectro licenciado, el cual es usado por unos pocos servicios homogéneos, las bandas de espectro no licenciado representan una plataforma para el despliegue de numerosos servicios y dispositivos heterogéneos. Adicionalmente, considerando la complementariedad entre aplicaciones que dependen de espectro licenciado y no licenciado, la estimación del valor económico de este último no es simple. En nuestro entender, a pesar de la complejidad analítica, el debate alrededor de la gestión de espectro requiere la producción de evidencia del impacto, basada esta en el cálculo riguroso del valor económico del espectro no licenciado.

En 2009, Richard Thanki produjo el primer análisis con el objeto de determinar el valor del espectro no licenciado. El autor estimó que el valor de espectro libre en tres grandes aplicaciones (Wi-Fi residencial, Wi-Fi en hospitales, y RFID en la industria de indumentaria) en los Estados Unidos representaban un rango de entre US\$ 16 mil millones y US\$ 36.8 mil millones. Al mismo tiempo, el investigador reconoció que estas estimaciones cubrían tan solo una fracción del valor económico total¹⁹ y que eran muy conservadoras. Dos años más tarde, Milgrom et al. (2011) reafirmaron los valores de Thanki, pero agregaron nuevas estimaciones en otras áreas y usos. Por ejemplo, los autores estimaron que el valor económico del iPad, la tableta de Apple cuyo funcionamiento estaba intrínsecamente ligado a la funcionalidad de Wi-Fi, debía ser incluido en la estimación de valor económico (US\$ 15 mil millones). Adicionalmente, los autores cuantificaron otros beneficios en Estados Unidos como el hecho de que Wi-Fi era una tecnología esencial para el enrutamiento de tráfico celular y, como consecuencia permitía a los operadores reducir su inversión de capital (en US\$ 25 mil millones). Otro beneficio incluía el ahorro para consumidores que no dependían de planes de datos de operadores móviles al usar Wi-Fi para una porción de su tráfico (US\$ 12 mil millones). Finalmente, los autores hicieron referencia a otros beneficios no cuantificados como el uso de Wi-Fi para aplicaciones en empresas y en el acceso inalámbrico para ISP. Un año más tarde, Thanki (2012) produjo una nueva investigación en la que refinó su estimación de Wi-Fi residencial y estimó otros beneficios del espectro no licenciado. De acuerdo con estos cálculos, el autor consideró que el excedente del consumidor anual de Wi-Fi residencial representaba un rango de entre US\$ 118 y US\$ 228 por hogar (o sea un total de US\$ 15.5 mil millones para Estados Unidos). Adicionalmente, Thanki estimó el excedente del productor ocasionado por el ahorro de capital para operadores celulares como resultado del enrutamiento de tráfico a puntos de acceso Wi-Fi (US\$ 8.5 mil millones en Estados Unidos). Finalmente, el autor consideró el valor generado por la reducción de precios y consiguiente mayor asequibilidad relacionada con el despliegue de ISP que dependen de Wi-Fi para la entrega de servicios de banda ancha (los denominados WISP). El mismo año en el

¹⁸ Este tipo de investigación se contrapone a la valoración de excedente del consumidor generado por el uso de espectro licenciado, como ha sido estudiado por Hazlett (2005) y Hausman (1997).

¹⁹ Thanki estimó que el beneficio de las tres aplicaciones estudiadas representaba tan solo 15% de los semiconductores usados para la fabricación de dispositivos operando en las bandas no licenciadas en los Estados Unidos en el 2014.

que Thanki produjo su segunda investigación, Cooper (2012) calculó el valor económico estimando el número de radio bases que los operadores celulares estadounidenses podrían eliminar como resultado del enrutamiento de tráfico a puntos de acceso Wi-Fi (130,000), lo que resultaría en un ahorro de US\$ 26 mil millones. En la misma tesis, el autor de este estudio desarrolló numerosos trabajos calculando el valor económico de espectro no licenciado en diferentes bandas en los Estados Unidos (Katz, 2014a, 2014b, 2018, 2020) y en otras economías avanzadas (Katz et al., 2018).

En resumen, la evidencia generada hasta el momento es suficientemente clara, fundamentando el valor de espectro libre como facilitador de numerosas aplicaciones servicios y dispositivos (ver ejemplos en el cuadro 2-1).

Cuadro 2-1. Espectro no licenciado: Normas y tecnologías complementarias facilitadas

Normas	Bandas de espectro	Rango geográfico	Tasa de transmisión	Dispositivos y aplicaciones
Wi-Fi (802.11b, 802.11ax)	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4 GHz • 3.6 GHz • 5 GHz • 6 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • interiores: 38 metros • exteriores: 125 metros 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta 1200 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadoras, impresoras, escáneres, tabletas • Smartphones • Dispositivos de AR/VR
Bluetooth (802.15.1)	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • Rangos reducidos en interiores 	<ul style="list-style-type: none"> • 1-3 Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Redes de PC • Escáneres de código • Terminales para el pago de tarjetas de crédito
ZigBee (802.15.4)	<ul style="list-style-type: none"> • 915 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 75 metros 	<ul style="list-style-type: none"> • 250 Kbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores inalámbricos • Medidores de electricidad • Sistemas de gestión de tráfico
Wireless HART (802.15.4)	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • interiores: 60 -100 metros • exteriores: 250 metros 	<ul style="list-style-type: none"> • 250 Kbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de equipamiento y procesos • Monitoreo ambiental, gestión de energía • Gestión de activos, mantenimiento predictivo, diagnóstico avanzado
Wireless HD	<ul style="list-style-type: none"> • 60 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 pies 	<ul style="list-style-type: none"> • 28 Gbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de electrónica de consumo de alta definición
WiGig (802.11ad)	<ul style="list-style-type: none"> • 60 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 -10 pies 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Gbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Smartphones, Tabletas • PCs & periféricos, TV & periféricos • Cámaras digitales, cámaras de video
RFID	<ul style="list-style-type: none"> • 50-500 KHz • 13.56 MHz • 0.9 to 2.5 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta 29 pies 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo lectura: 8.75 kbps • Lectura-Escritura activa: 3 kbps 	<ul style="list-style-type: none"> • Trazabilidad de activos • Trazabilidad de ganado, pagos de tarjeta de crédito • Sensores de peaje • Gestión de cadenas de suministro

Fuente: Compilado por Telecom Advisory Services

En resumen, de acuerdo con la investigación realizada a la fecha, el valor económico del espectro no licenciado puede ser categorizado en términos de cuatro dimensiones:

- **Complementariedad con tecnologías de banda ancha fija y móvil:** una tecnología complementaria es un recurso que, debido a sus características, compensa las limitaciones de otras. En el caso de la gestión de espectro, las bandas de espectro uso libre pueden aumentar la eficiencia de dispositivos que usan espectro licenciado. Por ejemplo, puntos de acceso Wi-Fi operando en bandas no licenciadas aumentan el valor de las redes celulares permitiendo a dispositivos móviles usar puntos de acceso gratuitos, con lo cual el usuario reduce su costo de acceso a Internet y aumenta la velocidad de descarga, en la medida de que los puntos de acceso Wi-Fi proporcionan una velocidad de acceso generalmente superior a aquella ofrecida por las redes celulares (aunque esta diferencia disminuye para las redes 5G).

Los operadores celulares pueden asimismo reducir su inversión de capital, complementando las redes celulares con puntos de acceso Wi-Fi, los cuales son considerablemente más económicos aun cuando se considera que estos requieren una mayor densidad de despliegue. Adicionalmente, los operadores celulares pueden ofrecer servicio con una más alta velocidad de acceso, evitando la congestión de radio bases.

- **Desarrollando tecnologías alternativas, y consecuentemente expandiendo las opciones para consumidores:** adicionalmente al complemento de redes celulares, el espectro no licenciado provee una plataforma para operar tecnologías que son sustitutas a aquellas que operan bajo espectro licenciado, con lo cual se expande el rango de opciones para los consumidores. Al limitar el poder y depender de espectro con bajo nivel de propagación, las bandas no licenciadas evitan interferencia, lo cual transforma en irrelevante el concepto de derecho de propiedad del espectro. De hecho, algunas de las innovaciones más importantes en comunicaciones inalámbricas están vinculadas a Wi-Fi. Este concepto es especialmente relevante en el caso de la banda de 6 GHz y el desarrollo de dispositivos de muy bajo poder (en inglés, *Very Low Power devices*).
- **Proveer un entorno para el desarrollo de modelos de negocio:** al otorgar a consumidores la opción de poder usar otros servicios, el espectro libre también representa un entorno para el desarrollo de nuevos modelos de negocio innovadores. Esta relación de causalidad entre espectro no licenciado e innovación se manifiesta a diferentes niveles. En primer lugar, las empresas que desarrollan nuevas aplicaciones en un ecosistema basado en espectro no licenciado no necesitan la aprobación de operadores celulares para lanzar un producto. Alternativamente, si una firma intenta desarrollar un producto para operar en una banda de espectro licenciado a ciertos operadores, esta puede enfrentarse a una barrera que los economistas denominan “fallos de coordinación” (Milgrom et al., 2011). Por ejemplo, si el producto requiere la aprobación y coordinación de múltiples propietarios de licencias, el innovador debe negociar con cada uno de ellos para evitar el problema de acceso restringido al mercado objetivo.

- **Expansión de acceso a servicios de comunicaciones:** adicionalmente al acceso a aplicaciones explicado arriba, las tecnologías que operan en espectro no licenciado pueden ayudar a resolver la falta de cobertura de servicio que determina parte de la brecha digital. Desarrollos tecnológicos en áreas como acceso dinámico a espectro y técnicas de geolocalización (Stevenson et al., 2009) han mejorado significativamente la calidad del servicio de comunicaciones inalámbricas basado en tecnologías que dependen de espectro libre, extendiendo el rango de cobertura geográfica de la norma 802.11, y proporcionando así acceso a un costo reducido en zonas rurales. Esta dimensión de valor económico es particularmente importante para México, como se demostrará en este estudio.

2.2. La decisión de designar la banda de 6 GHz para uso no licenciado en otros países

Como se mencionó anteriormente, el llamado a Consulta Pública del 6 de noviembre persigue recabar propuestas para la banda que va de 5925 MHz a 7125 MHz, evaluando particularmente un modelo de designación completa de los 1200 MHz (siguiendo los modelos estadounidense, coreano, y chileno). La siguiente sección presenta detalles de los modelos que han sido aprobados o están siendo considerados en otros países.

El modelo estadounidense

En octubre del 2018, la Comisión Federal de Comunicaciones lanzó una Consulta Pública (*Notice of Proposed Rulemaking*, en inglés) recomendando la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado. En particular, la Comisión solicitó comentarios para la designación de los 1200 MHz que componen la banda para ser usado por dispositivos no licenciados. En dicha consulta, la Comisión consideró dos clases de dispositivos:

- Puntos de acceso de poder estándar: puntos de acceso no licenciados serían autorizados en las sub-bandas de 5.925-6.425 GHz y 6.525-6.875 GHz para transmitir señales tanto al interior como al exterior de edificios, operando bajo un sistema de coordinación automática de frecuencias, con niveles de poder similares a los permitidos en la banda de 5 GHz.
- Dispositivos de bajo poder (restringidos a operar dentro de edificios): estos dispositivos operan con niveles de poder cuatro veces más bajos de la norma de Wi-Fi (o sea 250 milliwatts), lo que los excluye de la necesidad de coordinarse por el uso de frecuencia.

En abril del 2020, la Comisión votó unánimemente para permitir a estas dos clases de dispositivos operar en la banda de 6 GHz. La primera clase (Puntos de acceso de poder estándar) serían permitidos a operar en 850 MHz en las sub-bandas descritas arriba. Los dispositivos de bajo poder serían permitidos de operar en los 1200 MHz de la banda. Como resultado de esta medida, la capacidad espectral disponible para Wi-Fi se cuadruplicó, con lo cual la velocidad de transmisión sería mucho más elevada que la existente bajo la

designación de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Por ejemplo, un Smartphone usando un canal de 160 MHz bajo el estándar Wi-Fi 6E podría recibir una transmisión de entre 1 y 2 Gbps. Bajo esta configuración, los enrutadores Wi-Fi tendrían acceso a siete canales de 160 MHz.

Simultáneamente con la decisión de permitir dispositivos de poder estándar y de bajo poder, la Comisión propuso la creación de una tercera categoría de equipamiento – dispositivos de Muy Bajo Poder (en inglés, *Very Low Power*) – autorizado a operar en niveles 160 veces más bajos que dispositivos estándar. Estos podrían operar tanto al interior como al exterior de edificios en ciertas sub-bandas, y no requerirían coordinación de frecuencia. Los mismos podrían usar múltiples canales de 160 MHz con una latencia inferior al milisegundo. Esta categoría incluye auriculares y anteojos para realidad virtual y realidad aumentada, dispositivos para *streaming* de videos de ultra definición, conectividad de dispositivos requiriendo alta velocidades o dispositivos de entretenimiento en automóviles.²⁰ Esta última propuesta no ha sido todavía votada por la Comisión.

De manera integral, la decisión de la Comisión para autorizar el uso no licenciado de los 1200 MHz en la banda de 6 GHz fue demandada judicialmente por los operadores de telecomunicaciones, pero los tribunales denegaron la posibilidad de interponerse a la decisión.²¹

El modelo coreano

En junio de 2020, el Ministerio de Ciencias y TIC (*Ministry of Science and ICT*, en inglés) presentó una propuesta de “modificación de normas técnicas” para consulta pública.²² La decisión a ser tomada hacia finales del 2020 planteaba el uso al interior de edificios de la totalidad de la banda de 6 GHz – o sea 5,925-7,125 MHz –. El uso en exteriores sería autorizado en el 2022.²³ En octubre del 2020, el Ministerio anunció que había aprobado el uso de 1200 MHz de espectro en la banda de 6 GHz para uso libre. De acuerdo con las pruebas realizadas por el propio Ministerio, el uso de Wi-Fi en la banda de 6 GHz alcanzaría velocidades de 2.1 Gbps, lo que es cinco veces más rápido que la velocidad actual de Wi-Fi en Corea del Sur, que registra entre 400 y 600 Mbps.²⁴ Para el país, esta autorización es la primera expansión de espectro para Wi-Fi en los últimos dieciséis años.

El modelo de Brasil

En mayo del 2020, ANATEL, la agencia reguladora de telecomunicaciones de Brasil aprobó el uso no licenciado de espectro en la banda de 6 GHz.²⁵ En la decisión, el regulador estipuló

²⁰ FCC ex parte notification from Apple Inc., Broadcom Inc., Facebook Inc., Google LLC, Hewlett Packard Enterprise, Intel Corp., Marvell Semiconductor Inc., Microsoft Corporation, Qualcomm Incorporated (July 2, 2019).

²¹ Law 360 (2020). *DC Circuit won't block new FCC rules on 6 GHz for now* (October 1)

²² Hetting, C. (2020). “South Korea could become Asia's first 6 GHz nation”. *Wi-Fi News* (June, 27).

²³ Yonhap (2020). “Unlicensed frequency band to boost Wi-Fi speed, smart factory penetration: ministry”, *The Korea Herald*, (June, 27).

²⁴ Cho Mu-Hyun (2020). “South Korea makes 6 GHz band available for Wi-Fi”, *ZDNet* (October 16).

²⁵ ANATEL (2020). Analise No 29/2020/CB. Processo no 53500.012176/2019-58.

que se estaban evaluando dos opciones: (i) designar la banda entera (o sea 1200 MHz) para uso libre, o (ii) designar tan solo 500 MHz. En diciembre del mismo año, el regulador lanzó una consulta pública en la que se formalizaba la designación de la totalidad de la banda. Esta decisión fue votada unánimemente por todos los comisionados.

El modelo del Reino Unido

La agencia reguladora de las comunicaciones del Reino Unido, Ofcom, decidió designar 500 MHz de la banda de 6 GHz (5925-6425 MHz) para uso no licenciado en interiores, uso limitado al exterior, así como para el traspaso de tráfico inalámbrico.²⁶ Esta porción de la banda de 6 GHz es adyacente a la banda de 5 GHz, también de uso no licenciado, conteniendo características de propagación similares, con canales no superpuestos.

Ofcom estima que esta banda, combinada con las ya autorizadas en las frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, puede aceptar entre 200 y 400 dispositivos por punto de acceso Wi-Fi con una velocidad teórica máxima de 6.6 Gbps. En junio 2020, Ofcom tomó la decisión final para el uso del espectro por dispositivos de bajo poder en interiores y muy bajo poder al exterior.²⁷ La designación limitada a 500 MHz fue hecha para demostrar inicialmente como Wi-Fi puede beneficiarse de la parte baja de la banda, reservando la oportunidad futura de estudiar la posible designación de la porción restante.²⁸ De acuerdo con el regulador, “seguiremos investigando el uso de la porción alta de la banda de 6 GHz para determinar cuál será su utilización óptima”.²⁹

El modelo chileno

En octubre del 2020, la Subsecretaría de Telecomunicaciones resolvió autorizar el uso de equipos de alcance reducido en los 1200 MHz de la banda de 6 GHz.³⁰

El modelo europeo

En respuesta a un requerimiento de la Comisión Europea para investigar la designación de espectro entre 5,925 MHz y 6,425 MHz, la Conferencia Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicaciones (CEPT) emitió un informe técnico sobre la factibilidad de uso de Wi-Fi en la banda de 6 GHz.³¹ El propósito de la recomendación es desarrollar un abordaje armonizado para los 48 países integrantes de CEPT, lo que incluye a los 27 países de la Unión Europea, Suiza, Turquía y Rusia, entre otros. De acuerdo con la recomendación, enrutadores

²⁶ Blackman, J. (2020). “UK to release 6 GHz and 100 GHz spectrum for Wi-Fi in smart homes, offices, factories”. *Enterprise IoT insights* (January, 27).

²⁷ Ofcom (2020). *Statement: improving spectrum access for wi-fi – spectrum use in the 5 and 6 GHz bands* (July 24).

²⁸ Ebbecke, Ph. (2019). *Road to 6 GHz in Europe*. Presentation to WLPC Prague 2019

²⁹ Ofcom (2020). *Improving spectrum access for Wi-Fi*. London, p.21.

³⁰ Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de telecomunicaciones. *Modificación a la Resolución del 6 de Octubre de 2017*. Octubre 22, 2020.

³¹ Hetting, C. (2019). “Europe’s process to release 6 GHz spectrum to Wi-Fi on track, expert says”, *Wi-Fi Now* (June, 2).

de Wi-Fi deben tener acceso a tres canales de 160 Mbps. La justificación por la cual la CEPT sólo investigó la sub-banda entre 5,925 y 6,425 MHz se debió que los países europeos operan una cantidad de servicios críticos en la sub-banda alta (servicio fijos punto-a-punto, comunicaciones espaciales, sistemas inteligentes de gestión de tráfico y control de trenes, y algunos sitios de radio astronomía). Se espera que la designación de la porción inferior de la banda sea formalizada en enero de 2021.³²

* * * *

Como se pudo demostrar en este capítulo, el análisis de la experiencia internacional a la fecha indica que la designación de la banda de 6 GHz para uso libre se encuentra en un estado de transición. Los reguladores de telecomunicaciones de diferentes países ya están tomando decisiones en base a consultas públicas sobre el uso futuro de la banda.

³² Hetting, C. (2020). "EU and CEPT countries 'highly likely' to release 6 GHz to Wi-Fi in early 2021, expert says". *Wi-Fi Now* (October 21).

3. METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL VALOR DE DESIGNACIÓN DE LA BANDA DE ESPECTRO DE 6 GHz PARA USO LIBRE

El propósito de este estudio es generar un análisis del valor económico a ser generado por la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en México. El abordaje usado para medir el valor de espectro no licenciado se enfoca en primer lugar en el crecimiento económico a ser generado a partir de la creación de canales de espectro adicionales en la banda de 6 GHz. Al incluir una medición de la contribución al producto bruto, se sigue el ejemplo propugnado en Greenstein et al. (2010) y otras investigaciones económicas enfocadas en la estimación del valor económico de nuevos bienes. En este sentido, la medición en términos de la contribución directa al producto bruto es hecha considerando tan solo el efecto adicional resultante de la designación de espectro en este caso, dejando de lado tendencias endógenas de crecimiento económico.

Adicionalmente a la contribución al PIB, se incluye en este análisis la medición del excedente económico generado por la adopción de tecnologías operando en bandas no licenciadas. La premisa de este análisis es que la designación de espectro para su uso libre genera un desplazamiento tanto en las curvas de oferta y demanda como resultado de cambios en la función de producción de servicios (costos, inversión), así como en la voluntad de pago por parte de los usuarios. Por el lado de la oferta, la metodología mide los cambios en el valor de insumos en la producción de comunicaciones inalámbricas. El ejemplo más claro es la contribución de Wi-Fi a la reducción de capital de inversión y gastos de operadores celulares, aun en el contexto del creciente tráfico. Desde el punto de vista de la teoría económica, la industria celular puede así aumentar su producto, generando un incremento en el beneficio marginal en exceso del costo marginal. Este efecto conlleva una modificación en la curva de la oferta a raíz de la modificación de costos de producción. El concepto de excedente del productor es complementado con la estimación del excedente del consumidor. En este último caso, el valor económico está determinado por la utilidad de la tecnología (por ejemplo, una mayor velocidad de acceso a Internet, o la posibilidad de adquisición de nuevos dispositivos), medida esta en términos de la voluntad de pago, en relación con el precio de adquisición del servicio.

A nivel agregado, la metodología usada en este estudio es similar a la que fue implementada en estudios anteriores por el autor³³, de acuerdo con la cual las diferentes fuentes de valor son estimadas independientemente y luego sumadas en un valor único (lo que permite sumar el impacto en el PIB, con excedentes del productor y consumidor³⁴). En estos

³³ Katz, R. (2014a). *Assessment of the economic value of unlicensed spectrum in the United States*. New York: Telecom Advisory Services. Katz, R. (2014b). *Assessment of the future economic value of unlicensed spectrum in the United States*. New York: Telecom Advisory Services. Katz, R. (2018). *A 2017 assessment of the current and future economic value of unlicensed spectrum*. Washington, DC: Wi-Fi Forward. Katz, R. (2018). *The global economic value of Wi-Fi 2018-2023*. New York: Telecom Advisory Services. Katz, R. (2020). *Assessing the economic value of unlicensed use in the 5.9 GHz and 6 GHz bands*. Washington, DC: Wi-Fi Forward.

³⁴ Consideramos que sumar la contribución al PIB y excedente del productor generado por la venta de equipamiento es razonable dado que el impacto en el PIB en nuestros modelos es atribuido fundamentalmente al aumento histórico de la velocidad de descarga de banda ancha y no al excedente del productor determinado por ventas de equipamiento generadas por una nueva designación de espectro.

términos, se identifican todas las fuentes de valor económico, estimándose su impacto, para luego agregarlas. De acuerdo con ello, la dimensión de impacto varía por fuente de valor (ver cuadro 3-1).

Cuadro 3-1. Fuentes de Valor Económico de la Banda de 6 GHz en México

Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
Aumento de la cobertura y mejoramiento de la asequibilidad	Mejoramiento de la asequibilidad asociada con la provisión de servicio de banda ancha y aumento de la capacidad de compartición de líneas en el sector de WISP		Aumento de velocidad a abonados de WISP
Aumento de la velocidad de banda ancha mediante la reducción de la congestión de Wi-Fi	Beneficio resultado de la eliminación de cuellos de botellas en conexiones de alta velocidad a partir del aumento de velocidad de Wi-Fi		Excedente del consumidor resultado del aumento de velocidad de la banda ancha
Despliegue amplio de Internet de las Cosas	Derrame económico del Internet de las Cosas resultado de su despliegue en sectores de la economía mexicana (p.e., automovilista, alimenticia, logística, etc.)	Márgenes de empresas del ecosistema (hardware, software y servicios) involucradas en el despliegue de IoT	
Reducción de los costos de telecomunicaciones inalámbricas de empresas		Reducción de costos de empresas en el uso de telecomunicaciones inalámbricas	
Despliegue de soluciones de AR/VR	Derrame económico resultado del despliegue de AR/VR en la economía mexicana	Márgenes de empresas del ecosistema relacionado con la industria de AR/VR	
Despliegue de Wi-Fi municipal	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha		Excedente del consumidor derivado del acceso a banda ancha a mas alta velocidad
Despliegue de puntos de acceso de Wi-Fi gratuitos	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha		Excedente del consumidor derivado del acceso a banda ancha a más alta velocidad
Alineamiento de la designación de espectro con las decisiones de otros países	Oportunidad potencial relacionada con el desarrollo de la manufactura de equipamiento de Wi-Fi	Beneficio relacionado con las economías de escala resultantes del alineamiento de México con otras naciones avanzadas (por ejemplo Estados Unidos y Corea del Sur)	
Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular		Reducción de la inversión de capital como resultado del enrutamiento de tráfico celular a puntos de acceso Wi-Fi	
Equipamiento de Wi-Fi		Márgenes de empresas por la producción de equipamiento Wi-Fi	Excedente del consumidor resultado del uso del equipamiento Wi-Fi

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

A continuación, se detallan las metodologías a ser usadas para cada una de las fuentes de valor.

3.1. Aumento de la cobertura de banda ancha y mejoramiento de la asequibilidad

Este análisis está enfocado en la estimación del impacto de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en la industria de proveedores de acceso inalámbrico a Internet (denominados WISP, por sus siglas en inglés) en México. Si bien contabilizando 58,300 líneas a la fecha³⁵, los WISP representan un contribuyente importante para disminuir la brecha digital. La adopción de Internet en México es estimada en 71.58%³⁶, mientras que la penetración de usuarios únicos de banda ancha móvil alcanza 59.42%³⁷, y la adopción de banda ancha fija llega a 56% de hogares³⁸. Como es de esperar, la población que no ha adoptado banda ancha está concentrada en los sectores más vulnerables de la población urbana y las zonas rurales.

Como se demostrará en el capítulo 4 de este documento, los WISP tienden a enfocarse en los sectores más vulnerables de la población y una parte importante de su despliegue se ubica en municipios rurales. Es por ello que nuestra metodología apunta a estimar como los WISP se podrían beneficiar accediendo a la banda de 6 GHz. Como antecedente, corresponde mencionar que tanto las asociaciones de WISP en los Estados Unidos y en Brasil han sido proponentes muy importantes de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre.³⁹

Para reiterar, la arquitectura de un operador WISP está compuesta de redes de soporte (en inglés, *backhaul*) basadas en fibra óptica o microondas, las que vinculan el punto de presencia de Internet a puntos de acceso locales. Cada punto de acceso depende de tecnología Wi-Fi para ofrecer servicio de banda ancha a usuarios finales (ver figura 3-1).

³⁵ El IFT en el comunicado de prensa 22/2020 indica que las conexiones fijas inalámbricas representan el 0.2% del total de conexiones de banda ancha fija lo que representa 44,800 conexiones. A ese valor se le añadió un 30% adicional de conexiones como resultado de entrevistas realizadas que indican la existencia de ISP no registrados en el IFT que están brindando conexiones por servicio inalámbrico.

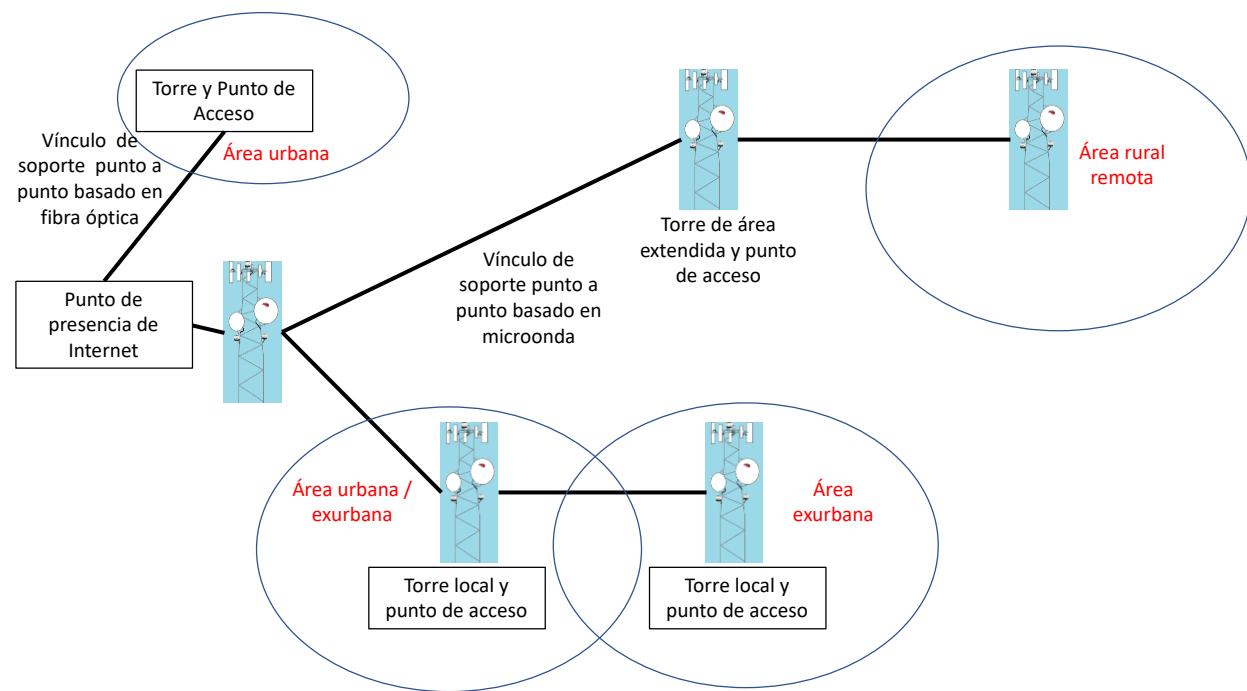
³⁶ Extrapolación al 2020 de datos del ITU data.

³⁷ GSMA Intelligence (2020).

³⁸ CGI.br/NIC.br, Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros - TIC Domicílios 2019

³⁹ WISPA (2020). *Letter to the FCC Commissioners* (March 5).

Figura 3-1. Arquitectura de Red de WISP

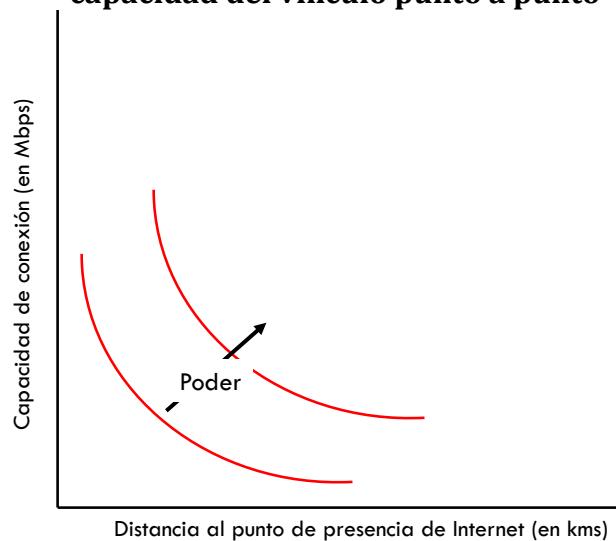


Fuente: Telecom Advisory Services

El acceso a espectro libre en la banda de 6 GHz representa una contribución económica importante al modelo operativo de un WISP en cuatro aspectos:

- **Ampliación de capacidad de las redes de soporte de microondas lo que permite al WISP aumentar su cobertura:** el vínculo entre puntos de acceso es provisto generalmente por tecnología de microondas, la cual bajo condiciones espectrales actuales, presentan congestión y probabilidad de interferencia. En la actualidad, la mayor parte de WISP mexicanos depende de espectro no licenciado operando en las bandas de 2.4 y 5.0 GHz. Al trasladar vínculos de redes de soporte a la banda de 6 GHz sin limitación de poder, los WISP pueden extender su cobertura en áreas más remotas. Un beneficio significativo podría ser, así, la posibilidad de reducir la brecha digital en zonas rurales. En la actualidad, la cobertura de 4G alcanza a 85% de la población mexicana, dejando así 19,300,000 habitantes no servidos por la banda ancha móvil. Como es lógico, la distancia que podría extender la cobertura de WISP es función de la pérdida de poder de señal (*path loss*, en inglés) y tiene un impacto en la velocidad de banda ancha con la cual puede proveerse el servicio. Es así como, cuanto más elevado es el poder de la señal disponible, menor será la pérdida de calidad (ver gráfico conceptual 3-1).

Grafico 3-1. Impacto de la distancia de al punto de presencia de Internet y la capacidad del vínculo punto a punto



Nota: Esta relación asume una pérdida de poder en espacio libre sin obstrucciones físicas.
Fuente: Telecom Advisory Services

Al extender los vínculos punto a punto de la red de soporte como resultado de la disponibilidad de espectro en la banda de 6 GHz, diferentes WISP pueden operar en áreas comunes sin riesgo de interferencia, o sirviendo a comunidades específicas.

- **Aumento de la velocidad a los abonados actuales:** el beneficio para los abonados de WISP se incrementa a partir de la designación de la banda de 6 GHz para espectro libre en la medida de que esta incrementa el desempeño del punto de acceso, con el consiguiente aumento de velocidad de descarga. Adicionalmente, el aumento de capacidad permite una mayor eficiencia en la compartición de líneas entre abonados, una característica importante en los usuarios de WISP, como se verá en el capítulo 4.
- **Aumento de cobertura por punto de acceso:** cuando depende de las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz el rango de cobertura geográfica de WISP oscila entre 3.5 kms en áreas urbanas y 12 kms. en áreas rurales. Como es de esperar, el radio de cobertura es función de la frecuencia y el poder de la señal (cuanto más alta es la frecuencia más alta es la perdida de “path loss”, con lo cual esta debe ser compensada por un aumento de poder de la señal). Para aumentar la cobertura bajo condiciones de poder estándar, un aumento de la misma podría alcanzarse mediante la consolidación de canales, una característica disponible en la banda de 6 GHz.
- **Más alta capacidad por punto de acceso:** en términos generales, un WISP tiene la capacidad de servir 50 abonados por canal de 20 MHz. El uso de la parte inferior de la banda de 6 GHz permitirá a estos operadores aumentar el número de abonados servidos por punto de acceso, particularmente en las áreas cercanas a la antena. El regulador británico Ofcom estima que la acumulación de espectro en las bandas de

2.4 GHz, 5.8 GHz y 6 GHz permitirá aumentar el número de usuarios por punto de acceso hasta por lo menos 200.

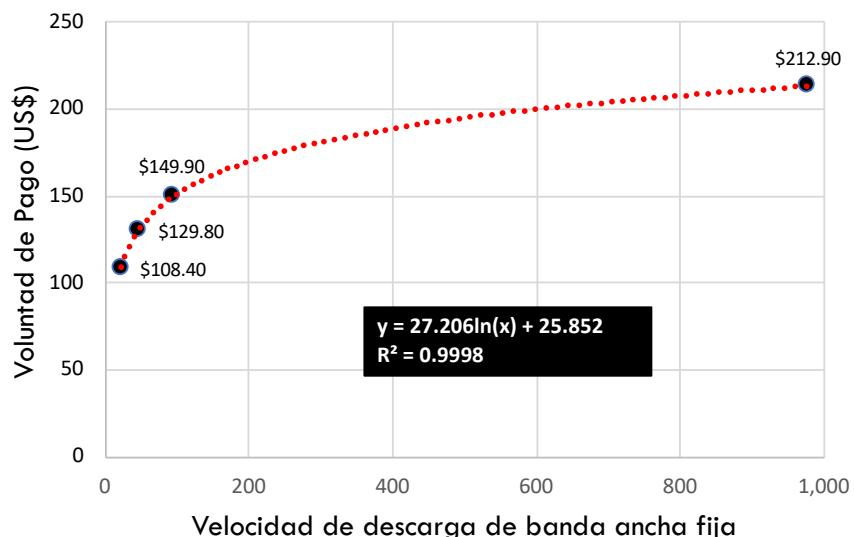
Contribución al excedente del consumidor como resultado del aumento de la velocidad de banda ancha

El excedente de consumidor es definido como el valor recibido por la adquisición de un bien pagando un precio inferior al valor atribuido. Inicialmente, Rosston et al. (2010) demostró que, adicionalmente a los beneficios que reciben los usuarios generados por la adopción de banda ancha (acceso rápido a grandes cantidades de información, aprendizaje a distancia, servicios de telemedicina, acceso a portales de entretenimiento, y el ahorro potencial por comercio electrónico), deben considerarse las preferencias de consumidores y beneficios recibidos por las características del servicio, incluyendo velocidad de acceso y confiabilidad.

La mayor parte de los estudios de excedente del consumidor resultantes de una mayor velocidad de banda ancha están basados en investigación de campo, donde los usuarios estipulan cuánto estarían dispuestos a pagar por el servicio (Savage et al. (2004); Greenstein and McDewitt (2011); Liu et al. (2017). De hecho, la totalidad de los estudios de excedente del consumidor se focalizan en el análisis de cuál es el comportamiento de usuarios en relación con diferentes precios del servicio en función de su consumo en el mercado estadounidense. Por ejemplo, Nevo et al. (2015) estudiaron el uso hora a hora de 55,000 usuarios de Internet en reacción a diferentes niveles de precio. Los autores concluyeron determinando que el excedente de consumidores es heterogéneo. Usuarios están dispuestos a pagar entre US\$ 0 y US\$ 5 por mes por aumento de 1 Mbps de velocidad, con un promedio de US\$ 2.⁴⁰ Adicionalmente, el estudio estableció que, dado el aumento en la disponibilidad de contenido y aplicaciones, los usuarios incrementan su volumen de uso, lo que implica mayor ahorro de tiempo y una más grande voluntad de pago por velocidad. Sin embargo, los resultados también pudieron establecer que el aumento de la voluntad de pago a más altas velocidades disminuye alcanzando aproximadamente US\$ 0.11 por Mbps. Esta conclusión también fue confirmada en un estudio reciente de Liu et al. (2017), quienes realizaron dos encuestas nacionales de usuarios de banda ancha para medir cambios en la voluntad de pago resultante de modificaciones en el precio, límites en la descarga de datos y velocidad. De manera coincidente, los autores determinaron que la voluntad de pago del servicio de banda ancha en función de la velocidad del servicio presenta una función cóncava, con menor valor asignado con velocidades superiores a 100 Mbps (ver Gráfico 3-1).

⁴⁰ La heterogeneidad en voluntad de pago también fue mencionada por Rosston et al. (2010).

Gráfico 3-2. Función logarítmica de relación entre la velocidad de banda ancha y excedente del consumidor



Nota: Basado en datos de tabla VII y tabla VI de Nevo et al., 2016

Fuentes: Nevo et al. (2016); análisis Telecom Advisory Services

Como se explica en el estudio de Nevo et al (2016), los usuarios estadounidenses están dispuestos a pagar alrededor de US\$ 2.34 por Mbps adicional (para un total de US\$14) por mes para aumentar la velocidad de banda ancha de 10 Mbps a 25 Mbps, y US\$ 0.02 por Mbps adicional (o US\$ 19) para aumentar de 100 Mbps a 1000 Mbps. Para adaptar la curva desarrollada en base a investigación de campo en Estados Unidos a México, aplicamos el factor de conversión de paridad de poder de compra publicado por el Bando Mundial, que al 2020 era de 0.49 para México. Este valor fue usado para modificar los resultados de la curva presentada arriba y proyectar el excedente del consumidor relacionado con el aumento de la velocidad de conexión a partir de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre.

Aumento de cobertura por punto de acceso permitirá estabilizar precios reales de servicio y aumentar la asequibilidad

La designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado permitirá a los WISP de México incrementar su base de abonados dentro de la misma área de cobertura.⁴¹ Como se mencionó arriba, esta medida permitirá a los operadores aumentar el número de dispositivos y la velocidad del servicio entregado, lo que generará múltiples efectos positivos simultáneos. Por ejemplo, la designación temporal de espectro a los WISP de Estados Unidos por la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos para hacer frente a la emergencia del COVID-19 permitió a estos aumentar su base de abonados entre 20% y 30%.

⁴¹ Basado en el supuesto de que las reglas técnicas para puntos de acceso de energía estándar operados por WISP en 6 GHz son similares a las reglas técnicas (por ejemplo, límite de potencia radiada, densidad espectral de potencia radiada, etc.) establecidas para el punto de acceso operado por WISP en las Banda de 2.4 GHz y 5 GHz.

Reconociendo que existen economías de escala en los servicios de telecomunicaciones, un aumento en la base de abonados permitirá a operadores reducir sus costos de servicio por abonado. Considerando un escenario conservador asumido en nuestro estudio, los precios no cambiarían en un contexto de crecimiento económico (medido este en PIB per cápita). Como consecuencia, la asequibilidad del servicio de banda ancha ofrecido por los WISP se acrecentaría, facilitando el acceso a aquella población que indica que no puede adquirirlo debido a una barrera económica. Una encuesta realizada por la Asociación Mexicana de Internet (AMIPCI) indica que en el 2016 una de las principales barreras para acceder a internet en el hogar son los costos elevados (lo que afecta al 31% de los hogares que no adoptan internet en México). Por ende, al aumentar la asequibilidad, la penetración de banda ancha aumentaría.

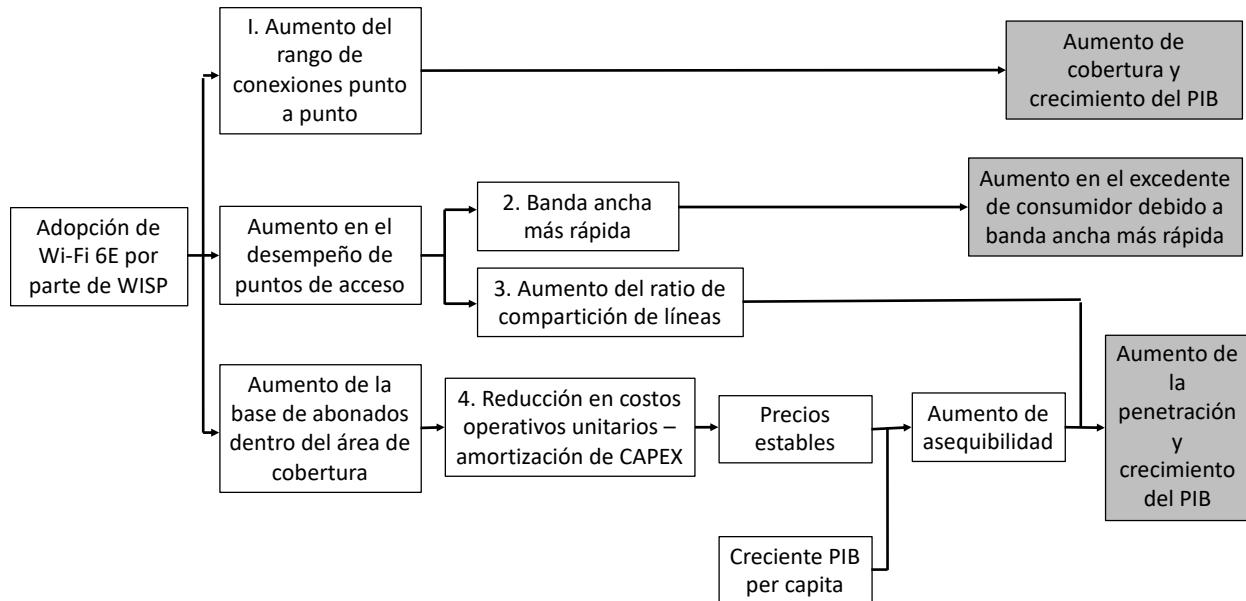
Alta capacidad por punto de acceso

Como se menciona arriba, un efecto de segundo orden en la adopción de banda ancha ofrecida por los WISP se genera al aumentar la capacidad de compartición de líneas como resultado del incremento de capacidad por punto de acceso. Este fenómeno es común entre la población de menores recursos. Una encuesta realizada por la asociación de WISP de México (Wisp.Mx) en el 2020 entre sus miembros, indica que se estima que un 18.66% de sus abonados comparten conexión con sus vecinos. El aumento de asequibilidad combinado con el incremento de capacidad de compartición de líneas resultará en un aumento de las conexiones de banda ancha. De acuerdo con modelos desarrollados por los autores de este estudio para la Unión Internacional de Telecomunicaciones, un aumento del 10 por ciento en penetración de banda ancha fija en América Latina y el Caribe resulta en un crecimiento de 1.5745 por ciento del PIB.⁴²

La combinación de todos estos efectos ejerce un impacto importante en el desempeño de los WISP y su consiguiente impacto socio-económico (ver figura 3-2).

⁴² Katz, R. and Callorda, F. (2018). *The economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation: Econometric modelling for the Americas*. Geneva: International Telecommunications Union, p. 10

Figura 3-2. Impacto económico de la banda de 6 GHz en el desempeño de WISP



Fuente: Telecom Advisory Services

En términos empíricos, el impacto económico de la designación de espectro de 6 GHz en los WISP es especificado de la siguiente manera:

$$\text{Efecto económico de la banda de 6 GHz en los WISP} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

Donde,

- a₁ es el aumento de cobertura geográfica debido a la extensión y mejoramiento de las redes de soporte (impacto en PIB)
- a₂ Incremento del excedente de consumidor debido al mejoramiento (impacto en el excedente del consumidor)
- a₃ Aumento de la cobertura por punto de acceso (impacto en el PIB)
- a₄ Incremento en la tasa de compartición por línea (impacto en el PIB)

3.2. Aumento de la velocidad de banda ancha como resultado de la disminución de congestión de Wi-Fi

El valor económico asociado con la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado reduce la congestión del enrutador de Wi-Fi residencial, aumentando su capacidad, con un efecto neto de aceleramiento de la velocidad de banda ancha. Este efecto no se generaliza en todas las líneas fijas de banda ancha, sino tan solo en aquellas de alta capacidad, manifestándose en la velocidad recibida por cada dispositivo conectado a Internet. El aumento en velocidad de acceso a Internet se efectiviza con dos tipos de impacto económico: un crecimiento en el PIB (efecto conocido en la investigación académica como el "retorno a

la velocidad”), y un aumento en el excedente del consumidor. La cadena de causalidad transitiva puede ser desagregada en tres efectos:

- Al eliminar la congestión en el enrutador de Wi-Fi, la velocidad de acceso aumenta para cada dispositivo conectado;
- El aumento de la velocidad para aquellos abonados a líneas de banda ancha de alta velocidad contribuye al crecimiento del PIB;
- El incremento de la velocidad de banda ancha aumenta la voluntad de pago de usuarios de banda ancha de alta velocidad.

Cuando un usuario accede a Internet, la velocidad de acceso a dispositivos es una función del desempeño de la red fija y/o inalámbrica y la capacidad del enrutador. El resultado neto es diferente, dependiendo del plan de banda ancha. Por ejemplo, si un usuario adquiere una línea de banda ancha de 20 Mbps, el enrutador de Wi-Fi no se transforma en cuello de botella. Un enrutador de doble banda entrega velocidades pico de 1.2 Gbps en 2.4 GHz, 4.8 Gbps en una de las radios de 5 GHz, y 4.8 Gbps en la otra. De esta manera, basado en la designación de espectro libre en espectro de 2.4 GHz y 5 GHz, el desempeño del enrutador es estimado a 266.50 Mbps (basado en el supuesto de división del tráfico entre la banda de 2.4 GHz (a 173 Mbps) y la banda de 5 GHz (a 360 Mbps)). Esto no significa, sin embargo, que cada dispositivo reciba la velocidad total.

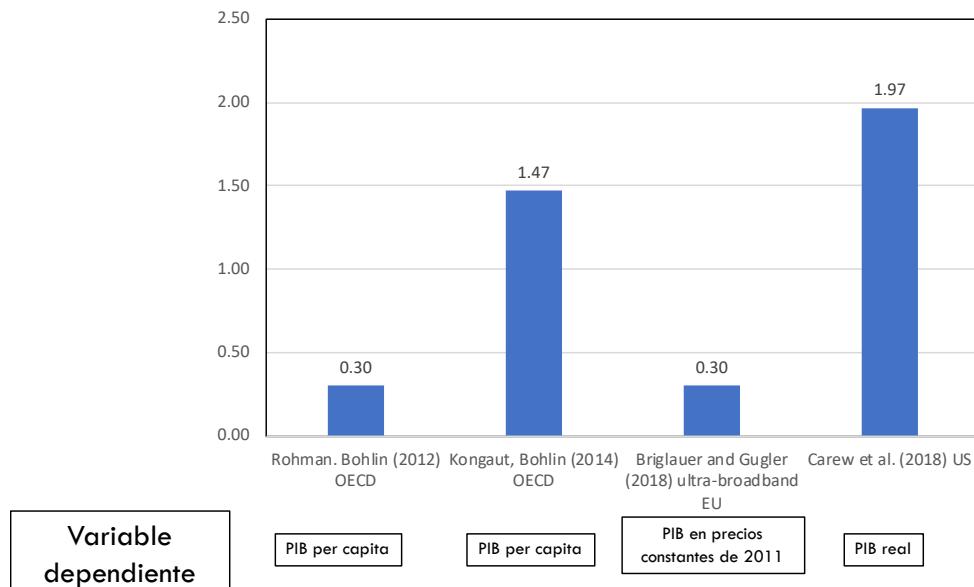
A partir del uso de múltiples bandas y senderos espaciales (*spatial streams*, en inglés), los enrutadores en la actualidad tienen una capacidad en exceso de aquella que puede ser entregada a cada dispositivo. Por ejemplo, si bien un equipo de alta gama en la norma 802.11ax puede, teóricamente, acomodar un tráfico de 4.8 Gbps, cada dispositivo recibe 200 Mbps.⁴³ En este contexto, si el abonado a servicio de banda ancha fija adquiere un plan de 150 Mbps, el enrutador deviene un punto de congestión en la red, y la experiencia del usuario no será equivalente a la velocidad de la red fija.

La investigación en la contribución de la velocidad de banda ancha ha generado un volumen importante de evidencia empírica, fundamentando en que el acceso a internet a altas velocidades conlleva un impacto positivo en el producto bruto. Esta relación está basada en tres tipos de efectos. En primer lugar, banda ancha con altas velocidades contribuye al mejoramiento de la productividad laboral como resultado de una mayor eficiencia en los procesos de negocio. Por ejemplo, el mercadeo de sobredimensionamiento (*overstock*, en inglés) de inventarios de productos o la optimización de cadenas de suministro son dos de los procesos que se benefician de la adopción de redes de banda ancha ultra-rápidas. Segundo, el servicio rápido de banda ancha influye positivamente en la tasa de desarrollo de nuevos productos y el lanzamiento de nuevos modelos de negocio. Tercero, el incremento de velocidad de banda ancha genera una serie de externalidades resultantes de la restructuración de cadenas productivas (en otras palabras, redes con velocidades más

⁴³ Estimación proporcionada por Broadcom. Esto se refiere al rendimiento recibido por cada dispositivo de usuario (PC, tableta, etc.) dentro de las instalaciones del usuario.

rápidas permiten a empresas tercerizar operaciones sin riesgo de disrupción o descentralizar funciones hacia áreas geográficas con costos de insumo inferiores). La compilación de la evidencia de investigación generada hasta el momento generada por cuatro estudios econométricos⁴⁴ confirma la existencia de estos efectos (ver Gráfico 3-3).

Gráfico 3-3. Estudios midiendo el impacto del PIB en la velocidad de banda ancha (impacto de 100% del aumento de la velocidad en el PIB) (%)



Fuente: Compilación de Telecom Advisory Services

Como se observa en el Gráfico 3-3, si bien los cuatro estudios coinciden en establecer que la velocidad de banda ancha ejerce un impacto en el producto bruto, el rango del efecto varía; un aumento del 100% de la velocidad de banda ancha genera una contribución al producto bruto de entre 0.30% y 1.97%. Parte de la diferencia en las estimaciones es explicada por el uso de modelos diferentes. Por ejemplo, Carew et al (2018) no incluyen la adopción de banda ancha como variable independiente, lo que significa que el impacto de la velocidad en el PIB está sobre-dimensionada por la penetración de banda ancha. En otros casos, la diferencia entre estudios es explicada por el momento en el que los mismos fueron realizados. Por ejemplo, Kongaut, Bohlin (2014) se basaron en un panel de datos entre el 2008 y el 2012, mientras que las series históricas de Rohman, Bohlin (2012) culminan en el 2010, ambos momentos en los que la velocidad promedio de banda ancha registraba 8.3 Mbps, lo que determina un impacto más alto que en el estudio de Briglauer y Gugler (2018). Aun así, se observa que la evidencia de un efecto positivo de la velocidad de banda ancha en el crecimiento económico es consistente.

⁴⁴ Hemos seleccionado solo cuatro estudios para revisar, aunque la investigación ha producido muchos más (ver por ejemplo, Ford, G. (2018). *Is Faster Better? Quantifying the Relationship between Broadband Speed and Economic Growth*. Phoenix Center Policy Bulletin No. 44. Grimes, A., Ren, C., and Stevens, P. (2009). *The need for speed: Impacts of Internet Connectivity on Firm Productivity*. MOTU Working Paper 09-15. Mack-Smith, D. (2006). *Next Generation Broadband in Scotland*. Edinburgh: SQW Limited).

3.3. Despliegue acelerado del Internet de las Cosas

La relevancia económica del Internet de las Cosas ya ha sido establecida en numerosos estudios. IDC estima que el mercado mundial de soluciones de Internet de las Cosas (IoT, por las siglas en inglés) es aproximadamente US\$ 1.7 trillones y que en México el mismo en 2021 alcanza US\$ 3.04 mil millones⁴⁵. Más allá de la importancia atribuida por los gobiernos, numerosos actores del ecosistema de IoT han planteado que su impacto económico solo puede ser alcanzado si un número de barreras son superadas. Estas incluyen, entre otras, el rediseño de procesos de negocio, y el desarrollo de estándares y normas de interoperabilidad.⁴⁶ La disponibilidad de espectro radioeléctrico también representa uno de los obstáculos a superar. Si bien el despliegue de sistemas de IoT en México ha estado creciendo en los últimos años, el desarrollo de redes de gran escala no ha sido alcanzado debido al riesgo de congestión de los puntos de acceso de Wi-Fi. La designación de 1200 MHz en la banda de 6 GHz para el uso libre contribuirá a aumentar la disponibilidad de espectro para acelerar el desarrollo de IoT.

El valor económico asociado con el mayor despliegue de IoT en México está determinado por dos fuentes: (i) el desarrollo de empresas mexicanas dentro del ecosistema (proveedores de sensores y equipamiento, desarrollo de software e integradores de sistemas) que generan un margen sobre sus ventas, equivalente al excedente del productor, y (ii) el derrame (spillover) de IoT en la productividad del sistema económico, el cual está naturalmente concentrado en sectores de uso intensivo como la logística, la explotación de recursos naturales, y la salud.

En lo referente a la primera fuente de valor económico, es importante distinguir dentro del ecosistema a las firmas involucradas en la manufactura de equipamiento versus los desarrolladores de software y los proveedores de servicios en la medida de que la importancia de cada sub-sector en México varía y que los márgenes de cada uno tienden a ser distintos (ver cuadro 3-2).

Cuadro 3-2. Ecosistema de Internet de las Cosas

Categorías	Componentes	Tipo de empresas
Hardware	Sensores/ semiconductores	Fabricantes de sensores y componentes computarizados
	Dispositivos miniaturizados	Proveedores especializados de sensores de menor escala
	Conectividad	Fabricantes de equipamiento
Software	Apps	Software de conectividad
	Proveedores de servicios de la nube	Software provisto por operadores de servicios en la nube
	Proveedores de la plataforma	Nuevos sistemas operativos
	Carriers	Operadores de telecomunicaciones proveyendo soluciones basadas en la nube
Servicios	Integración de sistemas	Integración de dispositivos y componentes en una única plataforma
	Analíticos	Proveedores de almacenamiento de datos y herramientas analíticas
	Servicios de TI	Proveedores de plataforma
	Seguridad	Desarrolladores de protocolos de seguridad y tecnologías

Fuente: Telecom Advisory Services

⁴⁵ Estimación de Frost y Sullivan para México al 2021.

⁴⁶ CompTIA (2016). *Sizing up the Internet of Things*.

En lo que se refiere a la segunda fuente de valor, los casos de uso asociados con el IoT (como el mantenimiento predictivo, la trazabilidad de activos físicos, la gestión de demanda en redes de distribución eléctrica inteligentes, y la coordinación del tráfico terrestre, entre otros) tienen un impacto en el crecimiento del producto bruto.

3.4. Reducción de costos de comunicaciones inalámbricas de empresas

El aumento de la capacidad de canales de espectro permite un despliegue significativo de conectividad inalámbrica en edificios de empresas, fábricas y sitios productivos. Esto permite a establecimientos productivos utilizar la infraestructura de Wi-Fi y generar una reducción en el gasto por el uso de comunicaciones celulares.

Cuando la banda de 6 GHz es autorizada para uso libre y se suma a las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, el espectro combinado será capaz de proveer ocho canales de 160 MHz o tres de 320 MHz. El primer efecto asociado a este despliegue es la provisión de servicio de comunicaciones inalámbricas más rápido en interiores. Adicionalmente, los nuevos canales facilitarán el despliegue de nuevas aplicaciones y casos de uso con impacto en la productividad. Finalmente, el espectro adicional permitirá conectar un número mayor de dispositivos de diverso tipo. Por ejemplo, ciertas soluciones de Wi-Fi 6E pueden acomodar hasta 1,500 dispositivos, lo que las posiciona como una infraestructura ideal para aplicaciones de empresas.

3.5. Despliegue de soluciones de realidad aumentada y realidad virtual

Las soluciones de realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) ya están siendo usadas en múltiples aplicaciones, tanto en la industria de juegos y entretenimiento, como en la capacitación y simulación de trabajadores, sobre todo en el sector de salud. Otras áreas de aplicación incluyen la educación y cultura, los deportes, la transmisión de eventos en vivo, la publicidad, la arquitectura y las artes. Por el otro lado, la realidad aumentada (AR, por sus siglas en inglés) tiene un rango de aplicaciones ilimitado en sectores como el comercio, aplicaciones técnicas, procesos productivos, y educación. Las tecnologías de VR y AR sirven al mercado de consumidores individuales y a usuarios profesionales, tanto en el sector público como en el privado.

El mercado de soluciones de AR y VR se está desarrollando a ritmo acelerado, con efectos similares a los detallados para IoT arriba. La designación de la banda de 6 GHz para uso libre tendrá un impacto fundamental en el despliegue de aplicaciones y el crecimiento del ecosistema de empresas involucradas en el desarrollo de las mismas. La banda de 6 GHz, sobre todo para dispositivos de muy bajo poder, es un componente esencial de este desarrollo. Como se menciona arriba, la designación de la banda para uso no licenciado permite entregar hasta siete canales de 160 MHz o dos de 320 MHz, los cuales permiten aumentar exponencialmente la base de usuarios de aplicaciones o la introducción de soluciones que dependen de dispositivos de muy bajo poder.

El desarrollo y difusión de aplicaciones de AR/VR en el sector productivo está generado por un ecosistema de empresas involucradas en el desarrollo de software y contenidos, así como en la manufactura de equipamiento. Los márgenes de estas empresas representan el excedente del productor.

Por otro lado, como en el caso de IoT, la adopción de soluciones de AR/VR por empresas mexicanas conllevará un impacto en la productividad, contribuyendo de esta manera al crecimiento del PIB. El impacto se materializa en una mayor eficiencia en la capacitación, así como el aceleramiento en el diseño y desarrollo de nuevos productos. Por ejemplo, las empresas del sector automovilístico ya están incorporando VR en los procesos de desarrollo de productos para reducir el tiempo requerido entre diseño inicial y modelización física. De manera similar, los anteojos de AR permiten a empleados de almacenes proveer información de partes y repuestos a ingenieros y técnicos involucrados en tareas de reparación. De la misma manera, soluciones de AR/VR pueden ser usadas en la promoción y venta de productos en la distribución minorista.

3.6. Despliegue de Wi-Fi municipal

El despliegue de sitios Wi-Fi para el acceso de ciudadanos operando en alcaldías representa una valiosa contribución a la población que carece de recursos para adquirir servicio de banda ancha. Al 2020 se estima que existen en México aproximadamente 44,000 puntos de atención de Internet para Tod@s, donde principalmente se benefician comunidades con menos de 250 habitantes. De esta manera, la población que no posee servicio de banda ancha en el hogar puede acceder a Internet en edificios públicos. Estos sitios de acceso son muy relevantes en México, ya que en el año 2019 más de 15,000,000 de mexicanos han accedido a computador desde estos sitios públicos⁴⁷.

Sin embargo, los puntos de acceso público de Wi-Fi que dependen solamente de espectro en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz están sujetos a la erosión en la calidad del servicio así como a la falta de capacidad para servir a una gran base de usuarios. Es por ello que los sitios municipales de Wi-Fi son una aplicación que presenta una necesidad crítica para acceder a mayor espectro y acomodar el crecimiento en el número de usuarios, así como para resolver problemas de interferencia de dispositivos operando en frecuencias adyacentes. Por ejemplo, la banda de 2.4 GHz tiende a ser usada también por un número de dispositivos operando en estándares como Bluetooth y Zigbee, los cuales crean una interferencia importante con el servicio de Wi-Fi.

El análisis del beneficio económico de la designación de la banda de 6 GHz para los sitios de alcaldías está guiado por la posibilidad de aumentar la velocidad del acceso (con el consiguiente impacto en el excedente del consumidor), así como proveer acceso a Internet a un mayor porcentaje de población vulnerable que no puede adquirirlo en el mercado (impactando así el PIB).

3.7. Desarrollo de puntos de acceso de Wi-Fi gratuito

⁴⁷ INEGI. *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de TIC en Hogares (ENDUTIH)*.

Más allá de los sitios municipales de Wi-Fi, los sitios gratuitos representan una tecnología apropiada para acceder a Internet para usuarios individuales. En el 2020, México registra 1,800,000 sitios Wi-Fi gratuitos desplegados de la siguiente manera (ver Cuadro 3-3).

Cuadro 3-3. México: Número de sitios gratuitos de Wi-Fi (2020)

Ciudad	Número
Ciudad de México	529,000
Iztapalapa	414,000
Ecatepec de Morelos	154,000
Guadalajara	109,000
Puebla	53,000
Ciudad Juárez	54,000
Monterrey	109,148
Mérida	18,906
Cancún	35,138
Querétaro	31,909
Oaxaca	8,931
Tijuana	65,021
León	24,942
Otras	192,858
Total	1,799,853

Fuente: Wiman (2020).

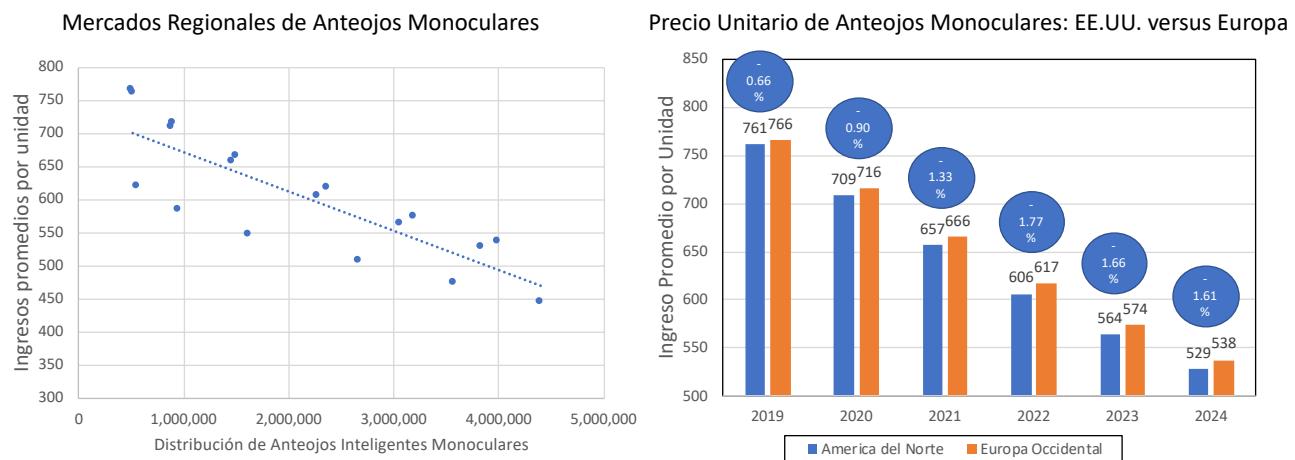
El valor económico de la designación de la banda de 6 GHz en el caso de sitios gratuitos debe ser estimado de la misma manera que en el caso de los sitios de alcaldías. Es decir, los sitios gratuitos con acceso al espectro en la banda de 6 GHz serán capaces de aumentar la velocidad en el acceso (con la consecuente implicancia en términos de aumento del excedente del consumidor) y proveer acceso a la población que no cuenta con servicio de banda ancha.

3.8. Alineamiento de la designación de espectro con el modelo de economías avanzadas

Al designar 1200 MHz en la banda de 6 GHz para uso libre, México podrá no solo aliviar la presión resultante en las redes de Wi-Fi como resultado del crecimiento explosivo del tráfico en estas redes, sino que también estará tomando una decisión en lo referente al costo de insumos para las empresas del país y para la política industrial en el terreno tecnológico.

Una comparación del precio de venta unitario promedio de equipamiento de AR/VR indica que América del Norte (principalmente los Estados Unidos) poseen una ventaja económica (precios unitarios más bajos) sobre el continente Europeo. Esta ventaja está probablemente determinada por economías de escala, aunque no se debería excluir un posible impacto impositivo (ver gráfico 3-4).

Gráfico 3-4. Ejemplo de Equipamiento AR/VR: Economía de la producción (*)



(*) Este cuadro presenta un ejemplo de precios de un segmento del mercado de equipamiento de AR/VR – anteojos inteligentes monoculars – con lo cual no presenta una evaluación del mercado en su conjunto.

Notas: 1) Cuadro en la izquierda presenta datos para América del Norte, Europa Occidental y Asia-Pacífico

2) El precio unitario del cuadro de la derecha ha sido calculado por *Telecom Advisory Services* dividiendo la proyección del mercado por el volumen de ventas (ambos datos provistos por ABI Research)

Fuentes: *ABI Research; análisis Telecom Advisory Services*

Como se indica en el gráfico de la izquierda, el precio de la producción de equipamiento de equipamiento de AR/VR (ejemplificado por anteojos monoculars) está, como es de esperar, guiado por economías de escala. A mayor volumen distribuido en un mercado, menores los costos por unidad. Como resultado, el gráfico de la derecha presenta la ventaja en precios de América del Norte (altamente concentrada en los Estados Unidos). Consecuentemente, tendría sentido para México tomar una decisión en términos de la banda de 6 GHz que esté alineada con la decisión de Estados Unidos de acordar la totalidad de la banda para uso no licenciado. Esto permitirá a empresas mexicanas beneficiarse de un menor costo para la adquisición de un insumo tecnológico en caso de que este sea importado.

El alineamiento con Estados Unidos en la decisión espectral en la banda de 6 GHz tendría un impacto adicional en términos de política industrial. El mercado mexicano de equipamiento y servicios en dos sectores impactados por la decisión de designación de espectro de 6 GHz – AVR/VR e IoT – es muy importante, sumando US\$ 9.43 mil millones en 2020 y alcanzando US\$ 15.36 mil millones en 2025 (ver cuadro 3-4).

Cuadro 3-4. México: Ventas en mercados impactados por la designación de espectro en la banda de 6 GHz (en mil millones US\$) (2020-25)

Mercado	Categorías	2020	2025
Realidad aumentada/Realidad virtual	Hardware	\$ 0.03	\$ 0.38
	Software, aplicaciones y contenidos	\$ 0.10	\$ 1.60
	Subtotal	\$ 0.13	\$ 1.98
Internet de las Cosas	Hardware	\$ 1.05	\$ 2.26
	Software y servicios	\$ 1.34	\$ 2.89
	Subtotal	\$ 2.39	\$ 5.15
Dispositivos dependiendo de acceso a Wi-Fi	Dispositivos del hogar	\$ 5.93	\$ 7.07
	Dispositivos conectados a Wi-Fi	\$ 0.44	\$ 0.40
	Puntos de acceso de empresas y controladores	\$ 0.54	\$ 0.76
	Subtotal	\$ 6.91	\$ 8.23
Total		\$ 9.43	\$ 15.36

Nota: ABI Research provee una estimación del mercado de AR/VR hasta el 2024 para América Latina. La porción designada para México es calculada prorrataeando el mercado latinoamericano proyectado por ABI Research por el PIB mexicano como porcentaje del latinoamericano. La estimación para 2025 extrae la tasa de crecimiento para 2024.

Fuentes: ABI Research; Frost & Sullivan; análisis Telecom Advisory Services

Considerando estas condiciones atractivas de la demanda interna, la decisión a ser adoptada en términos de la designación de la banda de 6 GHz (es decir, designar 1200 MHz) para uso libre podría ubicar a México en una posición privilegiada para satisfacer tanto la demanda interna, beneficiándose de las economías de escala existentes en Estados Unidos y Corea, así como encarar la posibilidad de desarrollar una industria orientada a la exportación.

3.9. Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular

Esta fuente de valor económico, basado en la complementariedad entre Wi-Fi y las redes celulares fue inicialmente puntualizada por Milgrom et al. (2011) y Cooper (2012), y estimada en nuestros estudios anteriores (Katz, 2014a, 2014b, 2018a). Como fuera estipulado en nuestros estudios, el valor del enrutamiento a Wi-Fi del tráfico celular está determinado por la reducción del tráfico en espectro licenciado para los operadores celulares, con lo cual se reduce tanto la inversión en equipamiento como la necesidad de adquirir más espectro (Bazelon, 2008). En este sentido, Wi-Fi se posiciona como una tecnología complementaria compensando las limitaciones de las redes celulares. Desde el punto de vista de la gestión de espectro, las bandas de espectro libre aumentan la eficacia y el poder de dispositivos que operan en las redes celulares. Por ejemplo, puntos de acceso Wi-Fi operando en bandas no licenciadas permiten a los dispositivos inalámbricos conectarse a estos sitios, reduciendo el costo de acceso a banda ancha y aumentando la velocidad de acceso a Internet.

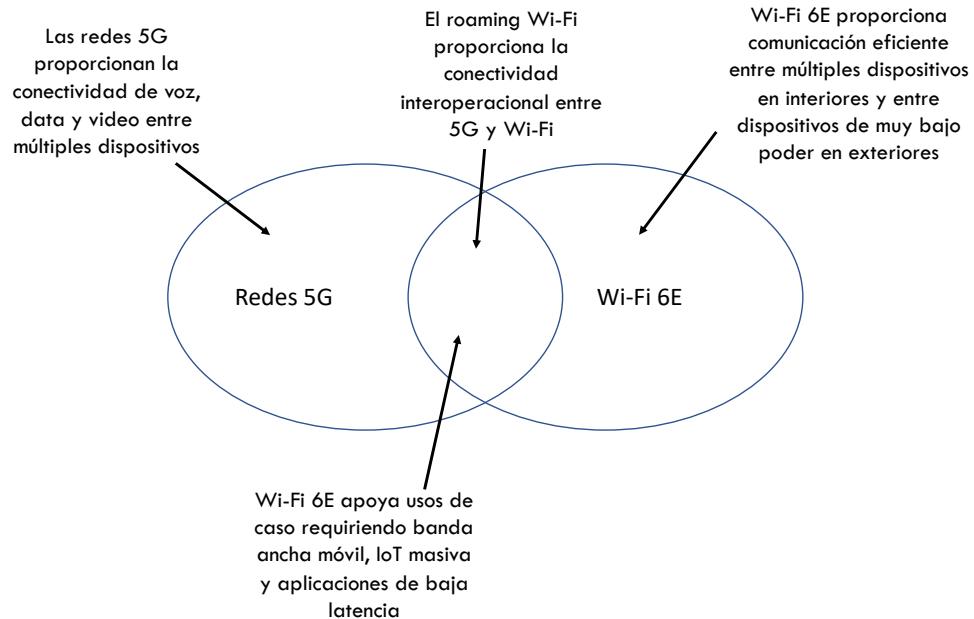
Desde una perspectiva del operador de redes celulares, Wi-Fi permite reducir la inversión de capital y los costos operativos para acomodar el tráfico de datos. Reconociendo este beneficio, operadores de telecomunicaciones mexicanos ya han desplegado sitios Wi-Fi para enrutar una porción de su tráfico⁴⁸. El cálculo del ahorro de los operadores celulares está

⁴⁸ Telmex. WiFi Móvil en Infinitum. En: <https://telmex.com/web/hogar/wifi-movil>

basado en la premisa de que, bajo el escenario contra-factual de no existencia de bandas de espectro no licenciado, los operadores deberán desplegar infraestructura de radio bases adicionales. Así, el cálculo del valor económico está basado en la porción del capital de inversión (a los que se suma los gastos de operación y mantenimiento) que los operadores celulares pueden eliminar enrutando parte del tráfico a las redes Wi-Fi.

Si bien esta fuente de valor económico ya fue identificada y analizada en el caso de redes 3G y 4G, la complementariedad existe aún entre Wi-Fi 6E y redes 5G. Para comenzar, los dispositivos de acceso como smartphones y sensores de IoT estarán equipados con semiconductores en ambas tecnologías para permitir a usuarios optimizar el uso de infraestructura. Este es un factor crítico no sólo en términos de gestión del tráfico en entornos de alta densidad como complejos habitacionales u hospitales, sino también para conectarse a cámaras de seguridad, terminales de punto de venta, sensores ambientales, y otros dispositivos de IoT. La complementariedad también se presentará en hogares y empresas, aunque esto ya ha sido considerado en las generaciones tecnológicas precedentes. La complementariedad entre Wi-Fi 6E y las redes 5G es descrita conceptualmente en la figura 3-3.

Figura 3-3. Complementariedad de Wi-Fi6 y 5G NR-U



Fuente: Adaptado de Suarez, M. (2020). Unlicensed spectrum access in the 6 GHz band. Presentación a ANATEL

De acuerdo con este esquema, basado en la complementariedad entre la tecnología Wi-Fi 6E y las redes 5G, la porción de tráfico enrutado a los sitios de Wi-Fi se incrementará sustancialmente en el momento de migración de las redes celulares a 5G. Esto es así porque las aplicaciones de alto uso de capacidad son principalmente semi-nomádicas y usadas típicamente en interiores como el hogar y establecimientos industriales. Cisco proyecta que

en el 2022, 54% del tráfico móvil latinoamericano será enrutado a redes Wi-Fi.⁴⁹ Esta proyección puede ser conservadora. En la última semana de marzo, 2020, 64% del tiempo de conexión de usuarios de smartphones en México estaba siendo transportado por sitios Wi-Fi.⁵⁰ Esto es razonable considerando la densidad de sitios Wi-Fi en México: 7,070,000 puntos de accesos públicos⁵¹, de los cuales 1,800,000 son gratuitos. Cisco estima que hacia 2023, el número de puntos de acceso Wi-Fi en México alcanzará 16,600,000.⁵²

En consecuencia, el valor económico de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre estará guiado no solo por la habilidad de reducir la inversión en 5G mediante el enrutamiento de tráfico a Wi-Fi, sino también en la posibilidad de evitar el riesgo de congestión por el uso en interiores de aplicaciones de alto requerimiento de banda.

3.10. Producción y adopción de equipamiento de Wi-Fi

Esta fuente de valor se basa inicialmente en que los consumidores reciben un excedente económico al adquirir dispositivos Wi-Fi a un precio más bajo que su disposición a pagar por ellos. El valor se calcula en función de los dispositivos que se pueden adquirir en la banda de 6 GHz. Los productos de este ecosistema incluyen una gama completa de productos electrónicos de consumo (ver cuadro 3-5).

Cuadro 3-5. Productos residenciales habilitados para Wi-Fi

Segmento de Mercado	Producto
Consumidores	<ul style="list-style-type: none"> • Altavoces inalámbricos • Sistemas de seguridad para el hogar • Dispositivos domésticos • Puntos de acceso • Adaptadores externos • Enrutadores • Gateways

Source: Telecom Advisory Services

La ausencia de datos sobre la voluntad de pago para cada equipo hace que sea muy difícil estimar de manera confiable el excedente del consumidor. Para superar esta limitación, una posible aproximación es asumir que el excedente del consumidor sería igual al excedente del productor (ver Milgrom et al., 2011). Por lo tanto, calculamos el margen del productor en

⁴⁹ Esta proyección incluye el tráfico de dispositivos bi-modales como smartphones, y el enrutamiento de tráfico móvil en puntos de acceso Wi-Fi. *Cisco 2017-2022 VNI Report*.

⁵⁰ Khatri, H. and Fenwick, S. (2020). *Analyzing mobile experience during the coronavirus pandemic: Time on Wi-Fi*. Opensignal (March 30).

⁵¹ Proyección de CISCO VNI al 2020

⁵² Estimación de CISCO VNI al 2023.

función de las ventas totales de equipos residenciales habilitados para Wi-Fi en la banda de 6 GHz en México y atribuimos ese valor al excedente del consumidor⁵³.

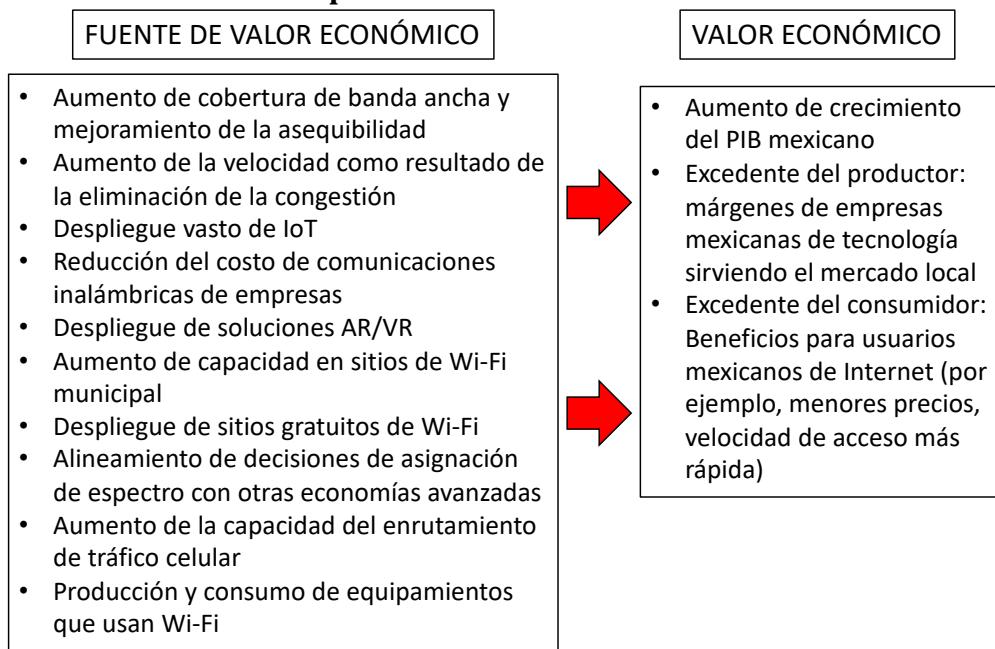
En todos los casos para diferenciar el valor correspondiente a la banda de 6 GHz, del valor que corresponde a las otras bandas de uso de Wi-Fi, seguiremos las previsiones proporcionadas por IDC sobre la evolución de los envíos de dispositivos de consumo 802.11ax para la banda de 6 GHz.

Al mismo tiempo que se considera un excedente del consumidor por el consumo de equipamiento Wi-Fi, por el otro lado también se tiene un excedente del productor por la fabricación de esos mismos productos. La metodología para ambos casos es la misma, pero al estimar el excedente del consumidor se consideran los bienes que se consumen localmente en México sin importar su origen, mientras que al medir el excedente del productor se miden los bienes fabricados en México, sin importar el país en el que se consume el bien.

3.11. Combinación del valor económico

Combinando todas las premisas detalladas en el curso del capítulo 3, el abordaje a ser seguido para estimar el valor económico que conlleva la designación de espectro en la banda de 6 GHz al uso no licenciado en México implicara la cuantificación de los efectos sintetizados en la figura 3-4.

Figura 3-4. Abordaje utilizado para estimar el valor económico de la designación de espectro de 6 GHz en México



Fuente: Telecom Advisory Services

⁵³ Para el excedente del consumidor consideramos todas las ventas de productos con Wi-Fi 6 en el país, sin importar el lugar de producción del equipamiento.

Un punto final para considerar: consideramos que la combinación del excedente del productor y la contribución al PIB en el caso de la venta de equipamiento es correcta en la medida de que la contribución al PIB calculada en nuestros modelos está basada en series históricas a partir del aumento de velocidad de la banda ancha como resultado de Wi-Fi, y no a partir de la venta de equipamiento resultante de la designación de espectro de uso libre.

3.12. Efecto adicional: despliegue de Wi-Fi en estadios

Adicionalmente a las fuentes de valor a ser cuantificadas, es importante mencionar un efecto importante para el país. En el 2026, México, junto con Estados Unidos y Canadá, será uno de los países organizadores de la Copa Mundial de Fútbol. Este evento involucra la necesidad de desarrollar la infraestructura de telecomunicaciones de estadios para apoyar a espectadores. Wi-Fi representa un componente esencial para el despliegue de servicios de comunicaciones en estadios. Las aplicaciones para espectadores basadas en Wi-Fi incluyen acomodamiento, conexión a redes sociales, órdenes para consumo de alimentos y bebidas, acceso a repetición de eventos, y envío de fotos y videos, entre otros.

La designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado resultaría en varios efectos positivos en términos del apoyo a espectadores del evento. Por ejemplo, los enrutadores de Wi-Fi adaptados al uso de esta banda están más preparados para acomodar el tráfico de datos en estadios (aproximadamente dos veces más que la configuración actual debido al aumento de capacidad por canal de 20 MHz a 40 MHz). Adicionalmente, cada enrutador de tráfico es capaz de aceptar un mayor número de espectadores (de 60 por punto de acceso a 150) con lo cual el costo para equipar un estadio con esta infraestructura disminuiría.⁵⁴

⁵⁴ Si bien este efecto no es incluido en la cuantificación final de valor económico, su importancia requiere una referencia.

4. AUMENTO DE LA COBERTURA DE BANDA ANCHA Y MEJORAMIENTO DE LA ASEQUIBILIDAD

Las últimas estadísticas para México indican una penetración de banda ancha fija en el 2019 de 55% (equivaliendo a 19,350,000 conexiones para 35,350,000 hogares).⁵⁵ Basado en el crecimiento histórico del número de abonados a banda ancha fija⁵⁶, se espera que la penetración al 2030 alcance al 60% de los hogares mexicanos. Esto implica que la brecha digital seguirá existiendo en el futuro, especialmente dada la dificultad de atender las zonas rurales del país. En este contexto, complementando a los operadores de telecomunicaciones de banda ancha fija y móvil, los ISP inalámbricos (WISP) pueden desempeñar un papel fundamental a la hora de abordar la brecha de oferta y demanda de banda ancha. La designación de la banda de 6 GHZ para uso no licenciado contribuirá a que los WISP ayuden a reducir la brecha digital.

4.1. La situación actual en México

El sector de operadores que proveen acceso inalámbrico a Internet en México está en pleno desarrollo. La asociación de WISP de México (Wisp.Mx) nuclea a la fecha 200 adherentes, aunque se estima que el número total de operadores que incluye los no registrados en el IFT alcanza los 1,000. En base a los últimos datos publicados por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), a Junio de 2019 los WISP representaban un 0.2% del total de conexiones de banda ancha fija (ver cuadro 4-1).

Cuadro 4-1. México: Distribución de conexiones de banda ancha fija

	Líneas	%
Cable	7,411,000	38.3%
DSL	7,178,850	37.1%
Fibra	4,238,000	21.9%
Fijo inalámbrico	38,710	0.2%
Satélite	19,350	0.1%
Otras	464,400	2.4%

Fuente: IFT con datos de la OCDE, a junio de 2019, y de los operadores de telecomunicaciones de México

Considerando únicamente la información del IFT se observa que al 2019 existían 38,710 conexiones WISP en México. Sin embargo, a partir de entrevistas realizadas en el país se estima que el número real de conexiones WISP es al menos un 30% superior debido a la existencia de ISP inalámbricos no registrados. Considerando a los WISP no registrados, el número total de conexiones por esta tecnología en México era de 50,323 en el 2019, alcanzando 58,311 en el 2020. De acuerdo con una encuesta realizada por los autores de este estudio entre los miembros de la asociación de WISP de México realizada en Noviembre de

⁵⁵ IFT para conexiones de banda ancha fija, INEGI para número de hogares

⁵⁶ Se asume una tasa de crecimiento positiva pero decreciente en el número de conexiones de banda ancha fija en base a lo observado en el período 2016-2019. A partir del 2025 se asume que la tasa de crecimiento se estabiliza en el 3% anual.

2020, a la cual han respondido operadores que controlan más del 37% de ese mercado, se pueden resumir las siguientes características (ver cuadro 4-2).

Cuadro 4-2. Características de los WISP mexicanos

	Promedio
Crecimiento en número de abonados esperado en los próximos 5 años	375%
Porcentaje de los abonados que corresponden a zonas rurales	63.23%
ARPU (Pesos Mexicanos)	\$ 375
Velocidad Promedio de descarga	9.97 Mbps
Abonados que posee otra alternativa para acceder a banda ancha	35.24%
Tasa de compartición de la señal de Wi-Fi	18.66%

Fuente: Encuesta de Wisp.Mx realizada en Noviembre 2020 a ISP Inalámbricos que en su conjunto agrupan 21,572 conexiones (37% del mercado estimado)

Los WISP operan principalmente en zonas rurales (63% del total de clientes), sirviendo a una población que, por lo general, no dispone de una oferta alternativa de banda ancha a través de redes fijas (aproximadamente el 65% de los clientes de los WISP no tienen una oferta alternativa de acceso al servicio a través de operadores de banda ancha fija). Esto refuerza la importancia de estos operadores para cerrar la brecha digital en zonas rurales donde no existe otro tipo de oferta comercial de servicio de banda ancha.

Los WISP también indican que tienen un potencial importante de expansión en el futuro, considerando que pueden ampliar significativamente su base de clientes en los próximos 5 años ayudando a cerrar la brecha digital existente en México. Este efecto también es posible dado que los WISP brindan servicio de banda ancha con un ARPU de \$375 pesos mexicanos⁵⁷, lo que representa un 2.27% del ingreso medio de una familia mexicana.⁵⁸ Como es de esperar, el ARPU de cliente empresariales y de consumidores residenciales en zonas metropolitanas es significativamente más elevado, mientras que las conexiones rurales generan un ARPU cercano a \$ 300 pesos mexicanos.

La velocidad promedio de descarga promedio de los WISP es de 9.97 Mbps, o sea 60% inferior a la velocidad promedio de las conexiones de banda ancha fija en México. Este promedio refleja una parte importante de conexiones ofrecidas en el mercado de empresas y usuarios comunitarios, dado que la velocidad a usuarios residenciales es significativamente menor. Por ejemplo, en zonas rurales, la velocidad de conexión promedio es de 3 Mbps. Esta velocidad puede mejorar sustancialmente a partir de la designación de la banda de 6 GHz como espectro de uso libre.

⁵⁷ En algunos WISP con cobertura principalmente rural el ARPU disminuye a \$300 pesos mexicanos.

⁵⁸ Se considera el ingreso medio de una familia mexicana en base a datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) que indica que el ingreso promedio de las familias mexicanas al 2019 era de \$16,537 pesos mexicanos.

Por último, también puede observarse entre los WISP que existe una alta tasa de compartición de la conexión de los usuarios con sus vecinos, aunque la misma es inferior a la de Brasil, donde los WISP tienen una presencia importante en barrios de alta densidad poblacional. En el caso de México donde el despliegue de los WISP es principalmente rural, esta tasa de compartición es de 18.66% de los abonados al servicio.⁵⁹

En base a esta información se ha realizado una proyección del crecimiento esperado de las conexiones WISP en caso de que se libere por completo la banda de 6 GHz y les permita ampliar su despliegue rural y así cerrar la brecha digital. Para esta estimación, se asume que los usuarios WISP pasarán del 0.2% del total de conexiones de banda ancha en el 2019 al 0.6% del total de conexiones de banda ancha al 2030. Cabe destacar que este incremento, es conservador ya que es aún menor que el proyectado por los operadores inalámbricos para los próximos 5 años (ver cuadro 4-3)

Cuadro 4-3. México: Usuarios WISP (2020-2030)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Abonados WISP	58,311	67,240	77,200	88,289	100,615	114,518	130,342	148,353	168,853	192,186	218,742
Tasa de compartición del servicio	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%	18.66%
Total usuarios WISP	69,192	79,787	91,606	104,763	119,389	135,887	154,664	176,036	200,361	228,047	259,560

Fuente: Encuesta de WISP.Mx; Análisis Telecom Advisory Services

4.2. Aumento del excedente de consumidores de los abonados a ISP inalámbricos

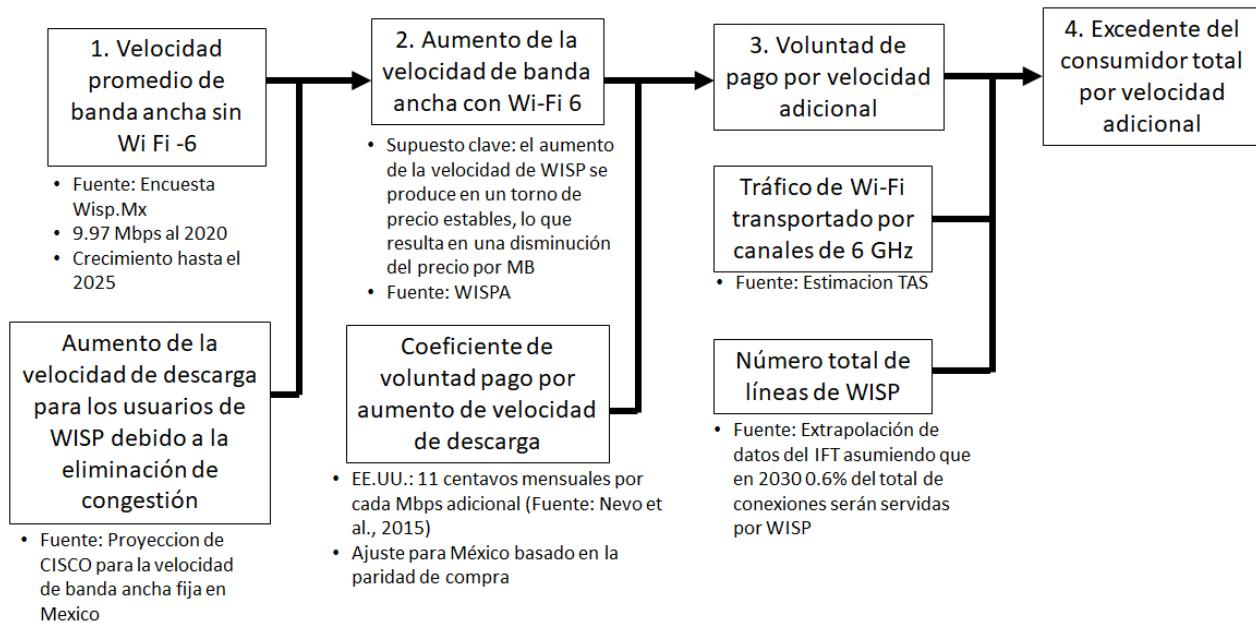
Como se indicó en la Figura 3-1 del capítulo 3, la designación de la banda de 6 GHz para uso libre tendrá un impacto en dos áreas de valor económico de los WISP: (i) el creciente excedente de los consumidores existentes como resultado de un servicio de banda ancha más rápido; (ii) una mejora en la asequibilidad y en la cobertura, lo que traerá una mayor penetración del servicio, impactando positivamente el PIB (al que debe sumarse el volumen representado por las ventas adicionales de estos operadores). A continuación se presentan los detalles de cada impacto.

Aumento del excedente de consumidor debido al incremento de desempeño de puntos de acceso

Cuando los WISP tengan la oportunidad de acceder al espectro en la banda de 6 GHz, el excedente del consumidor para sus abonados se generará mediante una mejora en la velocidad de la banda ancha, ya que con base en esta medida se elimina la congestión de los puntos de acceso Wi-Fi. En términos del análisis, la mayor velocidad de las líneas afectadas por la migración de tecnología se multiplica por la disposición a pagar por esta mayor velocidad (Ver Figura 4-1).

⁵⁹ Es importante mencionar, en este contexto, que los ISP inalámbricos de Mexico ofrecen servicios a comunidades y complejos edilicios donde una línea de 50 Mbps es adquirida por la comunidad y asignada a cada miembro de la misma.

Figura 4-1. Metodología para estimar el excedente del consumidor como resultado del aumento de velocidad en las conexiones de WISP



Fuente: Telecom Advisory Services

El punto de partida de esta estimación requiere calcular la diferencia en la velocidad de banda ancha entre la actual de las líneas de WISP (9.97 Mbps reportada en la encuesta mencionada arriba) y la resultante una vez que los WISP puedan acceder al espectro de 6 GHz. La multiplicación del aumento de velocidad por el coeficiente de voluntad de pago para la velocidad de banda ancha incremental (ajustado por la paridad de poder de compra de México) produce una mejora del excedente del consumidor por abonado. Finalmente, el incremento en la voluntad de pago es multiplicado por el número de líneas WISP (ver cuadro 4-4).

Cuadro 4-4. Excedente del consumidor debido al aumento de la velocidad del usuario de WISP (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Velocidad promedio de los WISP con la banda de 6 GHz	12	14	17	20	23	27	32	38	45	54
(2) Velocidad promedio de los WISP sin la banda de 6 GHz ed	12	14	17	20	23	23	23	23	23	23
(3) VDP por la velocidad de descarga con la banda de 6 GHz (US\$)	\$47	\$50	\$54	\$58	\$61	\$64	\$66	\$69	\$71	\$74
(4) VDP por la velocidad de descarga sin la banda de 6 GHz (US\$)	\$47	\$50	\$54	\$58	\$61	\$61	\$61	\$61	\$61	\$61
(5) Excedente del consumidor adicional mensual (US\$)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3	\$5	\$8	\$10	\$13

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(6) Excedente del consumidor adicional anual (US\$)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$30	\$61	\$91	\$121	\$151
(7) Conexiones WISP	67,240	77,200	88,289	100,615	114,518	130,342	148,353	168,853	192,186	218,742
(8) Tráfico por la banda de 6 GHz	0.00%	10.00%	20.00%	30.00%	40.00%	50.00%	60.00%	65.00%	70.00%	75.00%
(9) Impacto (US\$ millones)	0	0	0	0	0	2	5	10	16	25

Fuente: análisis Telecom Advisory Services.

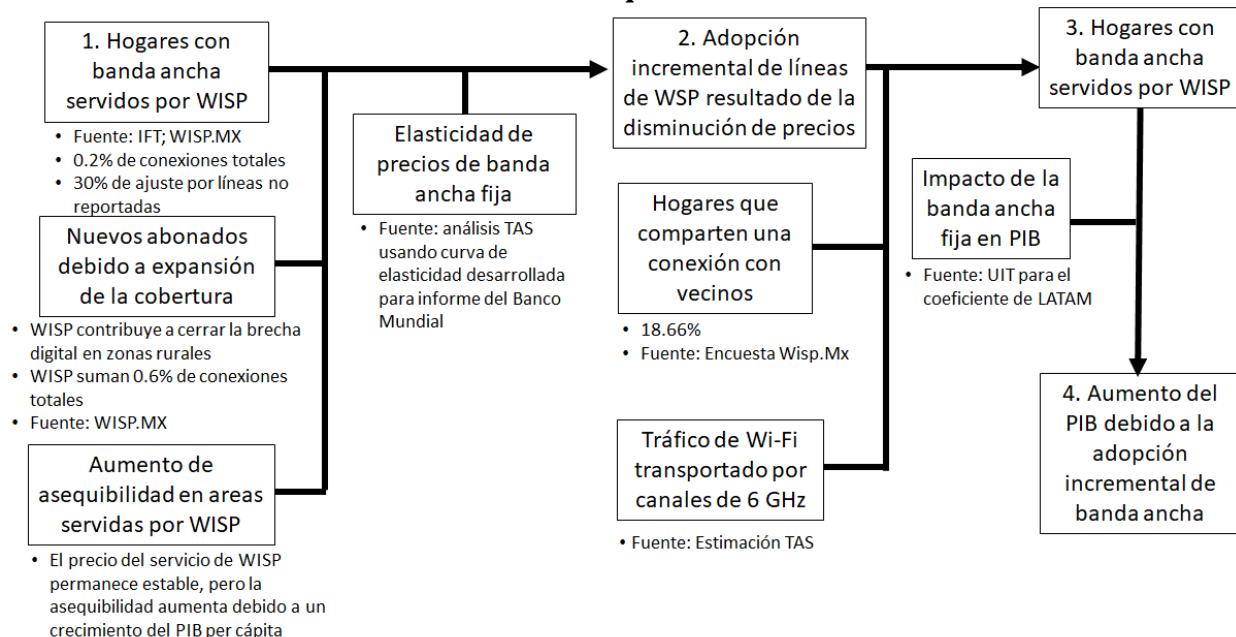
El impacto total acumulado del excedente del consumidor entre 2021-2030 resultante del aumento de la velocidad de banda ancha al reducir la congestión de Wi-Fi para los usuarios de WISP asciende a US\$ 58 millones.

4.3. Impacto en el PIB del aumento de la asequibilidad y penetración de banda ancha de abonados de ISP inalámbricos

El objetivo en este caso es estimar el impacto en el PIB del cambio en la asequibilidad de la banda ancha y la mayor cobertura del servicio, con la consiguiente mayor penetración de la banda ancha dentro del universo de los abonados de WISP. Para comenzar, la designación de 6 GHz al uso no licenciado aumentará el número de hogares que reciben servicio por punto de acceso WISP. En consecuencia, dadas las economías de escala convencionales en telecomunicaciones, el costo unitario para atender a un mayor número de abonados desde un solo punto disminuye. Adicionalmente, esta reducción podría ser parcialmente neutralizada por la amortización de capital de inversión para migrar el equipamiento electrónico al nuevo estándar⁶⁰. Con propósito conservador, asumimos que los precios del servicio de banda ancha de los WISP mexicanos no cambiarían respecto de los niveles actuales. Sin embargo, considerando que el PIB per cápita aumentará en el futuro (según el pronóstico del FMI), la asequibilidad general del servicio a precios reales será mayor. Esto permitirá a los consumidores que han argumentado que los precios representaban una barrera para la adopción adquirir un servicio de banda ancha. Por otra parte, el mayor rendimiento de Wi-Fi 6 permitirá un aumento de la cobertura del servicio, lo que generará a su vez un mayor número de líneas que debería sumarse a los nuevos adoptantes. Una mayor penetración de la banda ancha tendrá, a su vez, un impacto en el PIB mexicano. La Figura 4-2 presenta la metodología seguida para desarrollar esta estimación.

⁶⁰ Como nota al margen, la experiencia de los WISP de los Estados Unidos indica que, si el espectro designado es adyacente a las bandas de 5 GHz originalmente utilizadas, el equipo SDR existente se puede convertir para su uso en la nueva banda y se puede ajustar para trabajar en al menos la banda inferior de 6 GHz. Por supuesto, el uso del equipo actual puede estar sujeto a estándares y protocolos, así como a un AFC que puede no ser posible con el espectro de 6 GHz. Su designación "internacional" también puede afectar la disponibilidad de uso.

Figura 4-2. Metodología para estimar el impacto en el PIB como resultado del aumento de la asequibilidad de WISP



Fuente: *Telecom Advisory Services*

El punto de partida en esta estimación es el incremento en el número de subscriptores WISP por un aumento de la cobertura y expansión del servicio, que, de acuerdo con el crecimiento histórico, alcanzará a 160,431 nuevos abonados al 2030. De esa expansión se considera que al 2030 sólo un 75% estarán usando la banda de 6 GHz, por lo que en total el aumento de suscriptores por una mayor cobertura con banda de 6 GHz llega a 120,324 (principalmente en zonas rurales)⁶¹.

Al mismo tiempo, asumiendo precios estables y una mejora en el PIB de México en el orden del 3.21% anual proyectada por el FMI, se genera una mejora en la asequibilidad del servicio, afectando principalmente zonas urbanas y suburbanas. Esta situación aumentará la base de nuevos abonados en 20,768 al 2030, los que una vez multiplicados por la tasa de compartición del servicio (18.66%), alcanzan a 24,643 nuevos subscriptores WISP. Sumando todos los impactos mencionados, se obtiene que como consecuencia de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre en México, los WISP podrán adicionar 144,966 nuevos hogares conectados al 2030, lo cual contribuirá a cerrar la brecha digital mexicana.

⁶¹ Dado que estos nuevos subscriptores se encuentran principalmente en zonas rurales, se asume de modo conservador que los mismos no comparten el servicio con sus vecinos.

Cuadro 4-5. México: Nuevos suscriptores por aumento de cobertura y mayor asequibilidad (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Aumento de suscriptores por mayor cobertura	8,929	18,889	29,978	42,304	56,207	72,031	90,042	110,542	133,875	160,431
(2) Tráfico por la banda de 6Ghz	0.00%	10.00%	20.00%	30.00%	40.00%	50.00%	60.00%	65.00%	70.00%	75.00%
(3) Aumento de suscriptores por la cobertura con banda de 6 GHz	0	1,889	5,996	12,691	22,483	36,016	54,025	71,852	93,712	120,324
(4) Crecimiento del PIB	4.03%	3.50%	3.39%	3.26%	3.21%	3.21%	3.21%	3.21%	3.21%	3.21%
(5) Incremento de subscriptores por mejora en asequibilidad	0	1,063	2,355	3,872	5,799	8,250	11,268	13,894	17,030	20,768
(6) Tasa de compartición	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%
(7) Incremento de subscriptores por mejora en asequibilidad considerando compartición	0	1,262	2,794	4,594	6,881	9,790	13,371	16,487	20,208	24,643
(8) Total nuevos suscriptores	0	3,151	8,790	17,285	29,364	45,805	67,396	88,339	113,920	144,966

Fuente: análisis Telecom Advisory Services.

La combinación de ambos efectos resulta en un aumento en la penetración de la banda ancha debido exclusivamente al efecto de 6 GHz en los WISP mexicanos, alcanzando 0.31% en el 2030. Basado en el coeficiente de impacto de la banda ancha fija sobre el PIB calculado por los autores en una investigación para la Unión Internacional de Telecomunicaciones⁶², el impacto total en el PIB es estimado (ver cuadro 4-6).

Cuadro 4-6. México: Contribución al PIB de nuevas líneas de WISP

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Aumento en la penetración de banda ancha	0.00%	0.01%	0.02%	0.04%	0.07%	0.11%	0.16%	0.20%	0.25%	0.31%
(2) Impacto de la banda ancha fija en el PIB	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%	15.75%
(3) Incremento en el PIB por el incremento de la banda ancha (%)	0.000%	0.002%	0.006%	0.012%	0.019%	0.029%	0.041%	0.053%	0.066%	0.081%
(4) Impacto en el PIB (US\$ millones)	\$0	\$26	\$73	\$145	\$250	\$395	\$588	\$781	\$1,021	\$1,317

Fuente: análisis Telecom Advisory.

En resumen, el impacto total acumulado en el PIB como resultado de la mayor penetración de los WISP entre el 2021 y el 2030 en México es de US\$ 4.60 mil millones.

4.4. Ingresos adicionales de los WISP Mexicanos

Otra fuente de incremento al PIB mexicano se produce debido a los ingresos adicionales de los WISP como resultado de las nuevas líneas desplegadas por el acceso al espectro de 6 GHz. En particular, estos ingresos adicionales surgen de multiplicar el incremento en el número

⁶² Katz, R. and Callorda, F. (2018). *The economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation: Econometric modelling for the Americas*. Geneva: International Telecommunication Union, p. 10

de suscriptores (Cuadro 4-5) por el ARPU de los WISP que se asume, de manera conservadora, estable en \$375 pesos mexicanos (ver cuadro 4-7).

Cuadro 4-7. México: Contribución al PIB de nuevas líneas de WISP

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Total nuevos suscriptores	0	3,151	8,790	17,285	29,364	45,805	67,396	88,339	113,920	144,966
(2) Ingreso anual promedio de los WISP	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223	\$223
(3) Ingresos adicionales (US\$ millones)	\$0	\$1	\$2	\$4	\$7	\$10	\$15	\$20	\$25	\$32

Fuente: análisis Telecom Advisory.

En resumen, el impacto total acumulado en el PIB como resultado del aumento en el ingreso de los WISP entre el 2021 y el 2030 en México es de US\$ 116 millones.

5. AUMENTO DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA COMO CONSECUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN DE WI-FI

Como en el caso de los WISP, el aumento en la velocidad promedio resultante de la designación de espectro libre para la banda de 6 GHz genera valor para todos los hogares mexicanos que tienen una conexión de banda ancha fija de alta velocidad y un enrutador Wi-Fi, resultando en una contribución al PIB y un aumento del excedente del consumidor.

5.1. Velocidad actual de banda ancha en México y el peso de la congestión de Wi-Fi

El Instituto Federal de Telecomunicaciones reporta a Diciembre de 2019 que un 3.85% de las conexiones de banda ancha presentan una velocidad de descarga en exceso a los 100 Mbps. Este valor presenta una tendencia creciente en el último año ya que a Diciembre 2018, sólo un 2.01% del total de conexiones de banda ancha tenían una velocidad superior a los 100 Mbps. Este aumento en líneas de alta velocidad también es consistente con los planes ofertados por el principal proveedor de banda ancha fija del país, donde tres de estos presentan velocidades iguales o superiores a los 150 Mbps (ver cuadro 5-1).

Cuadro 5-1. México: Planes de banda ancha del principal operador

Operador	Características	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Telmex	Velocidad final	20	30	150	200
	Velocidad primeros 3 meses	30	150	150	200
	Precio (\$ mexicanos)	\$ 349	\$ 399	\$ 549	\$ 899

Fuente: Compilado por Telecom Advisory Services del sitio web del operador

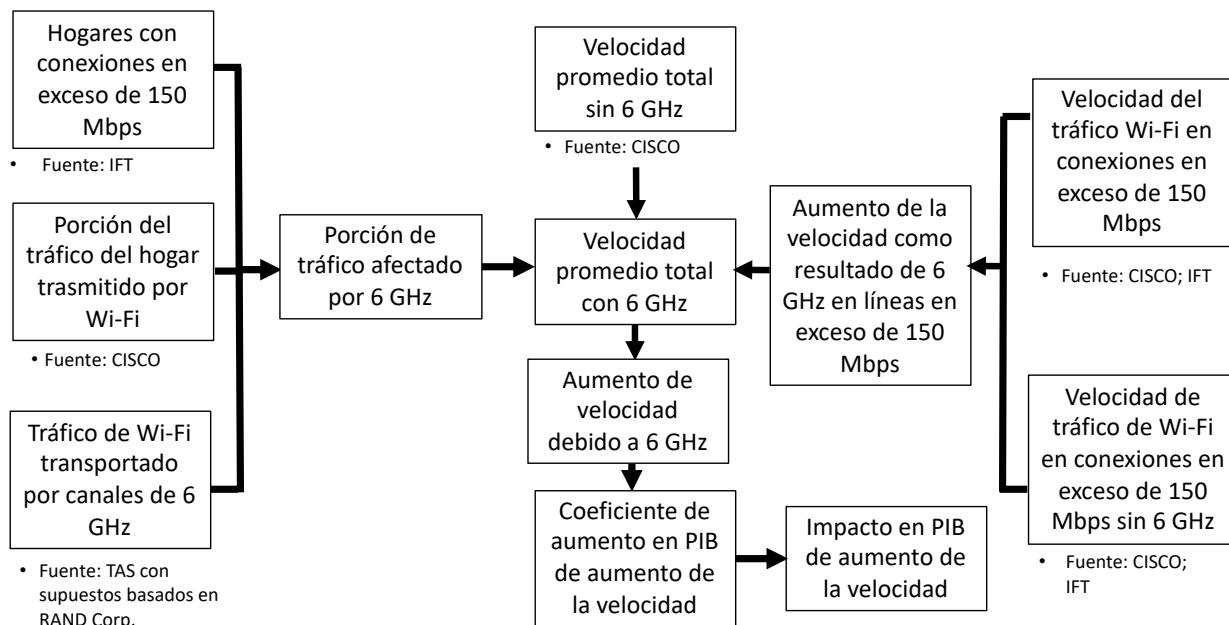
Como se explica en el capítulo 3, si un hogar adquiere una línea de banda ancha fija de 150 Mbps o más, el enrutador se convierte en un cuello de botella y la velocidad experimentada a nivel del dispositivo del usuario será muy inferior a la que ofrece la red fija. Si bien, dada la revisión de estadísticas, la cantidad de líneas en México que experimentan un posible cuello de botella a nivel del enrutador es baja, una proyección para los próximos cinco años indica que para 2025 esta aumentará a 1,329,949 líneas (o el 5.50% de 24,190,893 líneas totales). Dado el aumento en la velocidad de descarga de las líneas de banda ancha fija, si el rendimiento de Wi-Fi no se mejora abriendo espectro adicional para su uso, el enrutador residencial se convierte en un cuello de botella de la red y la velocidad experimentada por el usuario no será equivalente a la entregada por las redes fijas. Alternativamente, si se aumenta el espectro designado para Wi-Fi, la velocidad recibida por el dispositivo residencial incrementará con el consiguiente efecto económico.

5.2. Contribución al PIB como resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi

El objetivo en este caso es estimar el impacto en el PIB de cambios futuros en la velocidad de banda ancha para aquellos hogares que experimentan un cuello de botella en el enrutador de Wi-Fi (nos referimos a hogares que adquieren un plan de banda ancha en exceso de 150 Mbps). Como se explicó en el capítulo 3, a pesar de que esta es la velocidad que llega al hogar, los usuarios dentro del mismo experimentan una degradación en el desempeño del servicio

como consecuencia de la limitación en espectro utilizado por el enrutador. La figura 5-1 presenta la metodología seguida para desarrollar la estimación.

Figura 5-1. Metodología de estimación de impacto en el PIB como resultado de la eliminación de la congestión de Wi-Fi



Fuente: Telecom Advisory Services

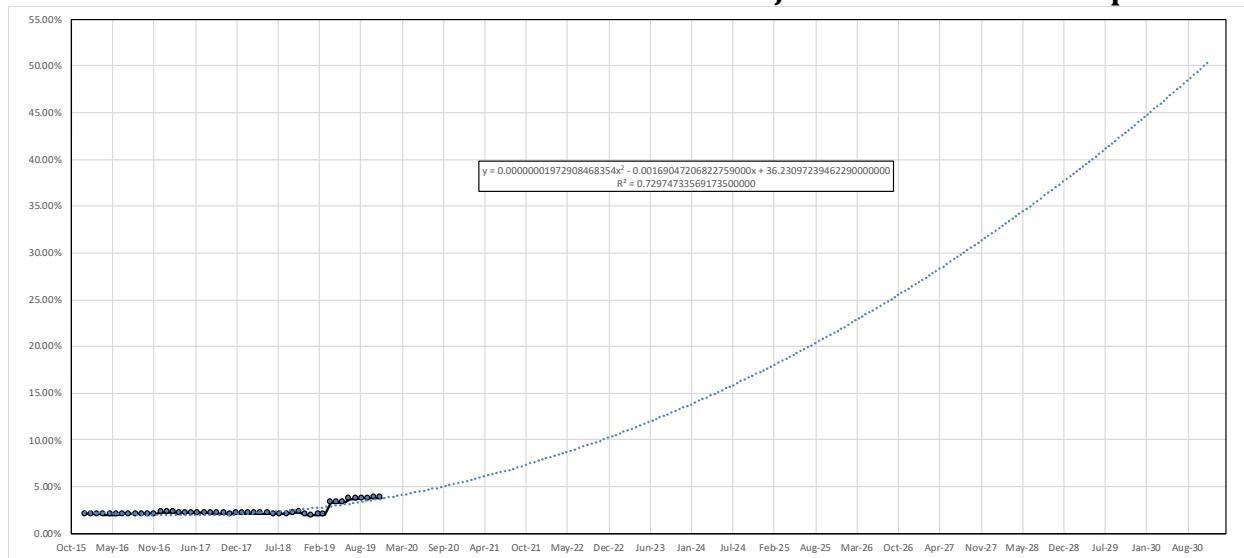
El punto de partida es estimar el número de hogares en México que poseen en la actualidad una conexión en exceso de 150 Mbps que están experimentando una congestión en el enrutador de Wi-Fi que depende exclusivamente de espectro en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Basado en el uso de ambas bandas, un enrutador bi-banda entrega una velocidad promedio de 266.50 Mbps, calculada a partir de una compartición similar entre tráfico en 2.4 GHz (a 173 Mbps) y 5 GHz (a 360 Mbps).⁶³ La designación de espectro libre para la banda de 6 GHz aumenta la capacidad promedio del enrutador, reduciendo la congestión, con lo cual se incrementa la velocidad de banda ancha registrada en el dispositivo del usuario.⁶⁴

Consideramos, de manera conservadora, que solamente los abonados a líneas en exceso de 150 Mbps experimentan congestión a nivel del enrutador. Cuando se proyectan los datos del IFT para diciembre de 2019 (3.85%) hacia el 2030, estos alcanzan 25.39% (ver gráfico 5-1).

⁶³Ver estudio de Carew et al. (2018), table 5.2, p. 22, Scenario 1.

⁶⁴ Una aclaración importante por hacer es que, si bien este análisis es hecho para la capacidad total de un enrutador, la variable fundamental a monitorear es el desempeño de la velocidad recibida por el usuario único, la cual es inferior a 468 Mbps. A partir del uso de múltiples bandas y senderos espaciales (*spatial streams*), los enrutadores en la actualidad tienen una capacidad de entrega de velocidades en exceso de la velocidad que entregan a cada dispositivo. Por ejemplo, un enrutador de alta gama 802.11ax puede, teóricamente, entregar velocidades de hasta 4.8 Gbps. Al incorporar 1,200 MHz en la banda de 6 GHz se aumenta la velocidad entregada a cada dispositivo; la misma puede ser más alta que la capacidad total del enrutador.

Gráfico 5-1. México. Líneas de banda ancha fija en exceso de 100 Mbps



Fuente: IFT; análisis Telecom Advisory Services

Para realizar el análisis de congestión, dado que las estadísticas del IFT reportan las líneas en exceso de 100 Mbps, se transforma la proyección a líneas en exceso de 150 Mbps.

Por otra parte, corresponde sustraer al tráfico que transita por estas conexiones la porción del mismo que es transmitido por cableado de ethernet. Este porcentaje alcanza 38% en el 2021 disminuyendo a 28% en el 2030. Finalmente, se asume que en 2022, 6.67% del tráfico de Wi-Fi transita por la banda de 6 GHz, alcanzando 50% en el 2030 (ver cuadro 5-2).

Cuadro 5-2. México: Estimación de conexiones de banda ancha fija afectadas por la decisión de 6 GHz (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Hogares que tienen conexiones en exceso de 150 Mbps (%)	3.35%	3.79%	4.29%	4.86%	5.50%	7.89%	11.07%	15.00%	19.74%	25.39%
(2) Porción del tráfico del hogar que va en las redes de Wi Fi (%)	61.95%	63.16%	64.35%	65.53%	66.68%	67.82%	68.94%	70.03%	71.10%	72.15%
(3) Trafico transportado por el canal de 6 GHz (%)	0.00%	6.67%	13.33%	20.00%	26.67%	33.33%	40.00%	43.33%	46.67%	50.00%
(4) Porción del tráfico afectado por la banda de 6 GHz (%)	0.00%	0.16%	0.37%	0.64%	0.98%	1.78%	3.05%	4.55%	6.55%	9.16%

Fuentes: IFT; Cisco Virtual Networking Index. Análisis Telecom Advisory Services

La designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado tendrá un impacto en la velocidad de Wi-Fi, alcanzando a 200 Mbps en el 2021 y 650 Mbps en el 2030 (ver cuadro 5-3).

Cuadro 5-3. México: Estimación de conexiones de banda ancha fija afectada por la decisión de 6 GHz decisión

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(5) Velocidad de tráfico Wi-Fi en conexiones de más de 150 Mbps (sin 6 GHz) (Mbps)	150	150	150	150	150	150	150	150.	150	150
(6) Velocidad de tráfico Wi-Fi en conexiones de más de 150 Mbps (con 6 GHz) (Mbps)	350	400	450	500	550	570	590	610.	630.	650
(7) Aumento de velocidad debido a 6 GHz (Mbps)	200	250	300	350	400	420	440	460	480.	500

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

Habiendo eliminado el cuello de botella, la proyección de la velocidad media de banda ancha fija en el hogar crece sin obstáculos. Esto resulta en un aumento del 2.00% en el 2022, alcanzando a 40.77% en el 2030.

Cuadro 5-4. México: Aumento de velocidad de banda ancha resultado de la designación de 6 GHz para uso no licenciado

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(8) Velocidad promedio sin 6 GHz (Mbps)	24.87	29.56	35.14	41.79	49.72	59.18	70.46	83.94	100.02	119.24
(9) Velocidad promedio con 6 GHz (Mbps)	24.87	30.15	36.66	44.70	54.61	68.29	86.32	107.88	134.74	167.85
(10) Aumento de velocidad	0.00%	2.00%	4.35%	6.98%	9.84%	15.40%	22.50%	28.52%	34.71%	40.77%

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

Este aumento es usado para calcular el impacto en el PIB. El coeficiente de impacto económico del aumento de velocidad ha sido calculado mediante un modelo econométrico basado en series históricas para 49 países con velocidades promedio superiores a 40 Mbps entre 2008 y 2019.⁶⁵ Los datos incluyen 575 observaciones para datos trimestrales de:

- Velocidad promedio de banda ancha fija⁶⁶ (fuente: Speedtest Global Index)
- Producto Interno Bruto (en precios corrientes US\$) (fuente: IMF)⁶⁷
- Población (fuente: Fondo Monetario Internacional)
- Adopción de banda ancha fija (fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones)
- Controles por país y trimestres

El modelo incluye:

⁶⁵ De los 176 países de los cuales Speedtest publica datos de velocidad de banda ancha, se pueden usar tan solo series de tiempo para 159. De estos, se corre un modelo solamente para los países que presentan una velocidad promedio de 40 Mbps en cualquier punto de la serie.

⁶⁶ El panel de datos de Speedtest Global Index cubre 159 países.

⁶⁷ El modelo usa PIB a precios corrientes en US\$ porque el propósito es medir el impacto del PIB en US\$, sin considerar el efecto de normalización de la paridad de compra.

- Un control por el trimestre de PIB anterior, para aislar efectos inerciales de crecimiento económico
- Velocidad de descarga rezagada por cuatro trimestres (1 año) para evitar efecto de causalidad revertida
- Cambios en tasa de empleo para controlar el efecto en el PIB de la evolución del mercado laboral
- Tasa de inversión del país (% del PIB) rezagado de cuatro trimestres (1 año) para controlar por efecto de inversión en el PIB
- Tasa de penetración de banda ancha fija para separar el efecto de adopción de banda ancha del efecto de velocidad

$$\ln GDP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it-1} + \beta_2 \ln Download\ Speed_{it-4} + \beta_3 \ln Employment_{it} + \beta_4 \ln Investment\ Rate_{it} + \beta_5 \ln Fixed\ Broadband\ Adoption_{it} + \delta Country_i + \vartheta Time_t + \mu_{it}$$

Consideramos que la inclusión de la tasa de inversión como porcentaje del PIB rezagada por cuatro trimestres y la penetración de banda ancha, así como la especificación del modelo corrido sobre un panel global ayuda a corregir cualquier sesgo ocasionado por una variable omitida. Por ejemplo, la inclusión de la adopción de banda ancha fija, la cual es correlacionada con la velocidad de banda ancha, permite capturar una porción del impacto en el PIB que podría ser incorrectamente atribuido a la velocidad. De acuerdo con estos conceptos, el modelo permite determinar que cada aumento del 100% de la velocidad de banda ancha fija genera un 0.73% de crecimiento en el PIB (ver Cuadro 5-5).

Cuadro 5-5. Impacto de la velocidad de descarga de banda ancha fija en PIB

Impacto en el PIB	Velocidad de descarga para conexiones de más de 40 Mbps
Ln Velocidad de descarga t-4	0.00730 (0.00211) ***
Ln Empleo t	0.00458 (0.00165) ***
Ln Inversión t-4	-0.00085 (0.00481)
Control por adopción de banda ancha fija	0.00284 (0.00414)
Control por crecimiento del PIB en periodo previo	0.99454 *** (0.00168)
Efectos fijos por país	Yes
Efectos fijos por trimestre	Yes
Número de países	49
Observaciones	575
R-Cuadrado	0.9438

***, **, * Significancia al 1%, 5% y 10% valor crítico respectivamente.

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

Al aplicar el coeficiente de impacto en el PIB de 0.73% por cada aumento del 100% de la velocidad, se estima el impacto económico resultante del aumento de velocidad en la residencia como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado⁶⁸.

Cuadro 5-6. México: Estimación del impacto económico resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(11) Impacto de la velocidad en el PIB	0.26%	0.26%	0.26%	0.73%	0.73%	0.73%	0.73%	0.73%	0.73%	0.73%
(12) Impacto en el PIB (%)	0.00%	0.01%	0.01%	0.05%	0.07%	0.11%	0.16%	0.21%	0.25%	0.30%
(13) PIB México (mil millones US\$)	\$1,095	\$1,146	\$1,198	\$1,251	\$1,306	\$1,363	\$1,423	\$1,485	\$1,550	\$1,618
(14) Impacto (mil millones US\$)	\$0	\$61	\$137	\$637	\$938	\$1,532	\$2,337	\$3,092	\$3,928	\$4,815

Fuentes: IFT; Cisco Virtual Networking Index; análisis Telecom Advisory Services

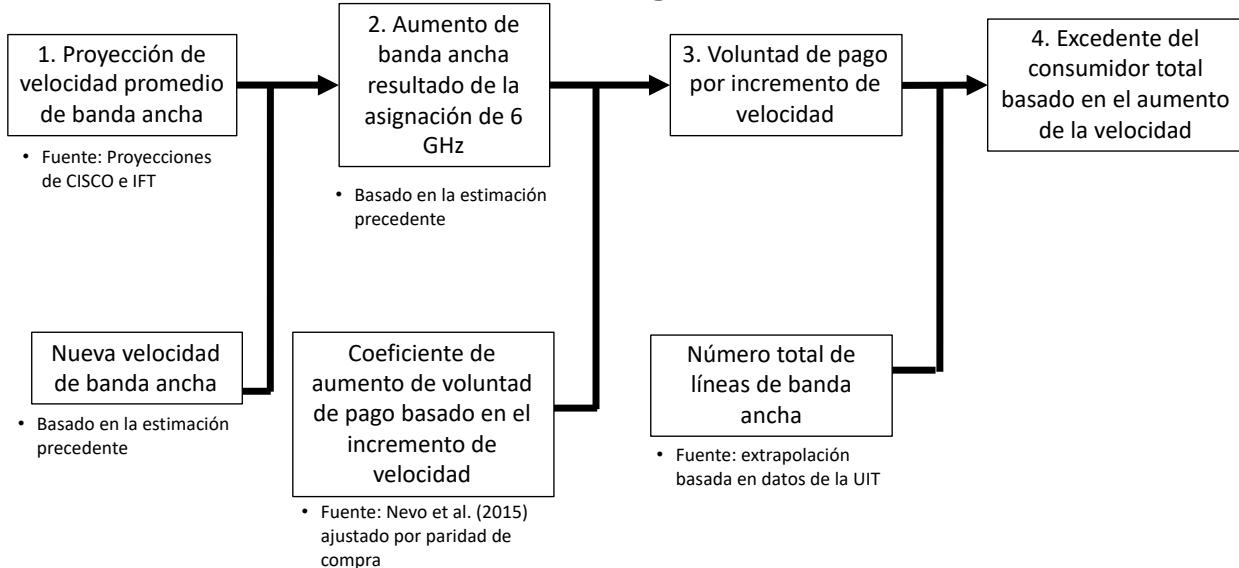
La contribución acumulada al PIB entre el 2021 y 2030 como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado alcanzará US\$ 17.48 mil millones.

5.3. Contribución al excedente del consumidor como resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi

Como se demostró en la sección precedente, la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado tendrá un efecto positivo neto en términos de la capacidad de enrutadores de Wi-Fi y, consecuentemente, en la velocidad promedio de banda ancha. Para reiterar, el excedente del consumidor a estimar en este caso no es parte de la contribución al PIB pero puede ser considerado como parte del valor económico. El objetivo en este caso es estimar el aumento en la voluntad de pago de consumidores como consecuencia del aceleramiento de la velocidad promedio de banda ancha. El abordaje metodológico depende de la misma estimación presentada arriba en términos del aumento de velocidad de Wi-Fi pero la considera como resultado del aumento de velocidad de banda ancha inalámbrica y el consiguiente impacto en la voluntad de pago (ver Figura 5-2).

⁶⁸ Es importante señalar que, si bien el coeficiente de adopción de banda ancha fija no es estadísticamente significativo, esto se debe a que los países incluidos en la muestra tienen una penetración de banda ancha fija extremadamente alta; para estos países, el impacto económico principal no está en la adopción (por ejemplo, los que adoptan tarde tendrán menor impacto) sino en la velocidad.

Figura 5-2. Metodología para estimar el excedente del consumidor resultado de la reducción de la congestión de Wi-Fi



Fuente: Telecom Advisory Services

Como fuera calculado en el caso del impacto en el PIB, la velocidad promedio esperada en 2030 como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre alcanzará 167.85 Mbps. El paso siguiente es estimar la voluntad de pago de consumidores por la velocidad adicional generada por la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado. Considerando la falta de datos sobre voluntad de pago por velocidad de banda ancha para México, el siguiente análisis utiliza información generada en el estudio de Nevo et al. (2016) para Estados Unidos.⁶⁹ Este estudio presenta evidencia empírica de la voluntad de pago de usuarios de banda ancha en bandas de aumento de 1 Mbps desde cercanas a cero hasta US\$ 5.00. Las bandas están determinadas por la heterogeneidad en voluntad de pago, aunque el valor promedio es de US\$ 2.02, y la mediana US\$ 2.48. Adicionalmente, el estudio indica que altas velocidades de banda ancha generan un excedente. Sin embargo, debido a una disminución en el valor marginal de velocidad, cuando se alcanzan velocidades de más de 10 veces aquellas ofrecidas en un plan típico de banda ancha, el excedente crece tan solo 1.5 veces.⁷⁰ Los datos presentados el estudio de Nevo et al. (2016) permiten generar una curva logarítmica que detalla la relación entre voluntad de pago y velocidad de banda ancha (ver Gráfico 3-2 en el capítulo 3).

De acuerdo con los datos de dicho gráfico, un aumento de la velocidad de 92.50 Mbps a 977.90 Mbps (diez veces) aumenta la voluntad de pago de US\$149.90 a US\$212.90 (casi 1.5

⁶⁹ Nevo, A., Turner, J., and Williams, J. (Mar. 2016). "Usage-based pricing and demand for residential broadband", *Econometrica*, vol. 84, No.2, p. 441-443.

⁷⁰ Este valor es consistente con la evidencia proporcionada en Liu et al. (2017), quienes encontraron que la forma de valoración de los hogares de la velocidad de banda ancha es cóncava. "Los hogares están dispuestos a pagar alrededor de \$ 2.34 por Mbps (\$14 total) mensualmente para aumentar el ancho de banda de 4 Mbps a 10 Mbps, \$ 1.57 por Mbps (\$ 24) para aumentar de 10 a 25 Mbps, y solo \$ 0.02 por Mbps (\$ 19) para aumentar de 100 Mbps a 1000 Mbps".

veces). El coeficiente calculado en la ecuación del gráfico 3-2 es usado para estimar el valor económico a ser estimado por la mayor velocidad de banda resultante de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre. Para ello, la diferencia entre la velocidad de banda ancha promedio resultante de la designación de la banda de 6 GHz y la actual (en términos de su incremento anual – valor contra fáctico) es multiplicada por el coeficiente de la curva logarítmica presentado en el gráfico 3-2. Adicionalmente, la curva es ajustada mediante la tasa de paridad de poder de compra de México, para considerar la diferencia de precios entre Estados Unidos y México. Por otro lado, se proyecta un incremento en los hogares conectados a banda ancha fija en México, considerando la tasa de crecimiento de conexiones en exceso de 100 Mbps reportada por el IFT entre el 2016 y el 2019. De acuerdo con estos dos supuestos, se estima que el excedente del consumidor será de US\$ 68 millones en el 2022 (ver resultados y cálculos en el cuadro 5-7).

Cuadro 5-7. México: Excedente del consumidor resultado de la designación de espectro de 6 GHz para uso no licenciado (2022)

	Data	Fuente
(1) Velocidad de descarga promedio de banda ancha fija (en dispositivo)	29.56	Análisis de retorno a la velocidad
(3) Nueva velocidad de descarga promedio de banda ancha fija	30.15	Análisis de retorno a la velocidad
(4) VDP de velocidad promedio de banda ancha	US\$ 60.88	Ecuación en gráfico 3-2
(5) Nueva VDP para velocidad de banda ancha promedio	US\$ 61.16	Ecuación en gráfico 3-2
(6) Excedente del consumidor mensual adicional	US\$ 0.28	(4 – 3)
(7) Excedente del consumidor adicional anual	US\$ 3.34	(5) * 12
(8) Hogares con banda ancha fija y Wi-Fi (Millones)	20.465	Estimación usando datos históricos de IFT
(9) Impacto (US\$ Millones)	\$ 68	(7) *(8)

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

Como en el caso de retorno a la velocidad analizado arriba, el excedente del consumidor anual por velocidad de Wi-Fi más rápida estará determinado por las mismas tendencias después del 2023. Estas tendencias conllevarán una contribución anual resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso libre (ver cuadro 5-8)

Cuadro 5-8. Excedente del consumidor resultado de la designación de espectro de 6 GHz para uso no licenciado (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Velocidad de descarga promedio (Mbps)	24.87	29.56	35.14	41.79	49.72	59.18	70.46	83.94	100.02	119.24
(2) Velocidad de descarga promedio con 6 GHz (Mbps)	24.87	30.15	36.66	44.70	54.61	68.29	86.32	107.88	134.74	167.85
(3) VDP mensual para velocidad de descarga promedio	\$57.20	\$60.88	\$64.71	\$68.69	\$72.81	\$75.43	\$78.04	\$80.67	\$83.30	\$85.93
(4) VDP mensual para velocidad de descarga promedio con 6 GHz	\$57.20	\$61.16	\$65.32	\$69.68	\$74.22	\$77.57	\$81.09	\$84.43	\$87.76	\$91.06
(5) Excedente del consumidor anual adicional por 6 GHz	\$0.00	\$3.34	\$7.33	\$11.88	\$16.88	\$25.76	\$36.52	\$45.15	\$53.60	\$61.52
(6) Conexiones de banda ancha fija (millones)	19.273	20.465	21.635	22.747	23.885	24.917	25.664	26.434	27.227	28.044
(7) Impacto (US\$ millones)	\$0	\$68	\$159	\$270	\$403	\$642	\$937	\$1,193	\$1,459	\$1,725

Fuentes: Cisco; Nevo et al. (2016); análisis Telecom Advisory Services

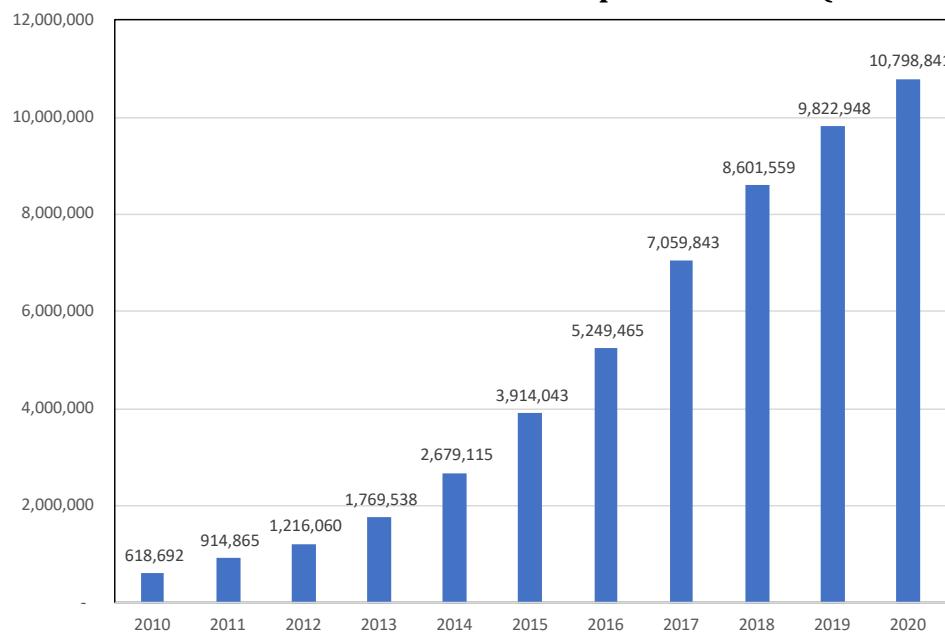
El aumento de excedente del consumidor promedio por hogar evoluciona de US\$ 3.34 en el 2022 a US\$ 61.52 en 2030 (los hogares con cuello de botella en el enrutador de Wi-Fi presentan un aumento más alto que los hogares sin limitación, que presentan US\$ 0); este es el valor multiplicado por el número total de conexiones en el hogar con Wi-Fi. El excedente del consumidor total asociado con la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado alcanzará un valor acumulado entre el 2021 y el 2030 de US\$ 6.86 mil millones.

6. DESPLIEGUE ACCELERADO DEL INTERNET DE LAS COSAS

6.1. La importancia del Internet de las Cosas en México

Considerando, como fuera mencionado en el capítulo 3, que sistemas de IoT ya han sido desplegados en México en los últimos años, el valor económico a ser estimado a partir de un aceleramiento del ritmo de desarrollo resultado de la designación adicional de espectro no licenciado requiere excluir de nuestra proyección el impacto económico de IoT basado en la tendencia natural de crecimiento registrada en el pasado. Esta última estimación es hecha a partir de la extrapolación de la tendencia histórica de la tasa de adopción de M2M (el único indicador disponible para medir la penetración de IoT), la cual ha alcanzado 8.50% por habitantes (estimada a partir de una base instalada de 10,798,841) en el 2020 (ver Gráfico 6-1).

Gráfico 6-1. México: Base instalada de dispositivos M2M (2010-2020)



Fuente: GSMA Intelligence

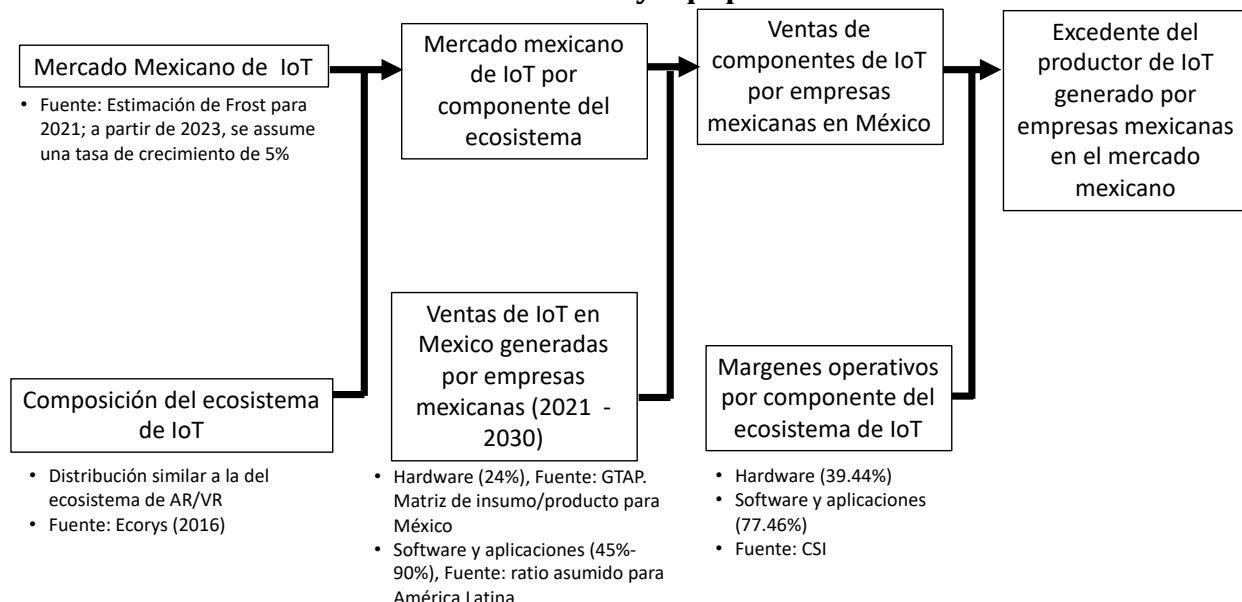
Reflejando el nivel de penetración de dispositivos, el mercado mexicano de IoT en el 2020 es estimado en US\$ 2.39 mil millones.⁷¹ Como se detalló en el capítulo 3, el aceleramiento en el despliegue de IoT al designar espectro en la banda de 6 GHz para uso no licenciado se generarán dos efectos económicos: (i) un incremento del excedente del productor (es decir márgenes) de empresas mexicanas participantes del ecosistema de IoT, y (ii) el derrame de IoT en la eficiencia del sistema productivo mexicano.

6.2. El excedente del productor de las firmas del ecosistema de Internet de las Cosas

⁷¹ Frost & Sullivan (2018). *Mexican Industrial Internet of Things Market Forecast to 2022*. Retrieved in: <https://store.frost.com/mexican-industrial-internet-of-things-market-forecast-to-2022.html>.

El objetivo en este caso es calcular el impacto que la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado podría tener en el aceleramiento de la tasa de despliegue de IoT en México, con el consiguiente impacto en el excedente del productor (es decir márgenes operativos) para los proveedores mexicanos de hardware, software y servicios de integración de sistemas (ver figura 6-1).

Figura 6-1. Metodología para estimar el excedente del productor para proveedores mexicanos de sistemas y equipamiento de IoT



Fuente: *Telecom Advisory Services*

Para estimar el excedente del productor se comienza estimando el mercado mexicano de IoT, desagregándolo por componentes del ecosistema. El punto de partida es la estimación de Frost & Sullivan para el 2021, sobre la cual se asume una tasa de crecimiento del 5% hasta el 2030. El mercado total es desagregado en términos de los componentes del ecosistema a partir de las estimaciones también provistas por Frost & Sullivan para el mercado mexicano (ver cuadro 6-1).

Cuadro 6-1. México: Mercado de Internet de las cosas (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Mercado IoT en México	\$3.04	\$3.77	\$4.67	\$4.90	\$5.15	\$5.41	\$5.68	\$5.96	\$6.26	\$6.57
(2) Mercado hardware IoT en México	\$1.33	\$1.65	\$2.05	\$2.15	\$2.26	\$2.37	\$2.49	\$2.62	\$2.75	\$2.89
(3) Mercado software y servicios en México	\$1.70	\$2.11	\$2.62	\$2.75	\$2.89	\$3.03	\$3.19	\$3.34	\$3.51	\$3.69

Fuentes: *Frost & Sullivan (2018); análisis Telecom Advisory Services*

Sobre esta base, se estima la porción del mercado servido por empresas mexicanas. La cuota del segmento de hardware es estimada a partir de la proporción de manufactura local del sector de equipamiento electrónico presentada en la matriz de insumo/producto para México, la que es calculada con datos del *General Trade Accounting Project* (GTAP). La cuota

del segmento de software e integración de sistemas es asumida con un valor inicial de 45%, incrementándose hasta alcanzar 90% al final del periodo, indicando una creciente importancia de la industria de servicios digitales en el país (ver cuadro 6-2).

Cuadro 6-2. México: Mercado de Internet de las Cosas por componentes del ecosistema (2020-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hardware	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%	24.4%
Software e integración de sistemas	45.0%	50.0%	55.0%	60.0%	65.0%	70.0%	75.0%	80.0%	85.0%	90.0%

Fuentes: GTAP (2020); análisis Telecom Advisory Services

Basándonos en los márgenes operativos estimados a nivel internacional para cada proveedor de componente (calculados por CSI Markets, 2020), se estima el excedente productor para empresas mexicanas de IoT (ver cuadro 6-3).

Cuadro 6-3. México: Excedente del productor para empresas mexicanas de IoT (en mil millones US\$) (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hardware	\$0.13	\$0.16	\$0.20	\$0.21	\$0.22	\$0.23	\$0.24	\$0.25	\$0.26	\$0.28
Software e integración de sistemas	\$0.59	\$0.82	\$1.12	\$1.28	\$1.45	\$1.64	\$1.85	\$2.07	\$2.31	\$2.57
Total	\$0.72	\$0.98	\$1.31	\$1.49	\$1.67	\$1.87	\$2.09	\$2.32	\$2.57	\$2.85

Fuentes: CSI Markets (2020); análisis Telecom Advisory Services

Es así como el valor del excedente del productor generado por las ventas de empresas mexicanas presentes en el mercado de IoT local alcanza US\$ 2.85 mil millones en 2030. Considerando que el mercado de IoT ya ha estado desarrollándose con anterioridad a la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado, se debe discriminar del valor total la porción que debe ser atribuida al crecimiento histórico del mercado (es decir, restar del valor total de la proyección la porción relacionada con el crecimiento histórico de IoT en México). El punto inicial es considerar que si la banda de 6 GHz no es designada para uso no licenciado (caso contra fáctico), el mercado de IoT para México, tal como se deduce de la proyección de dispositivos M2M de *GSMA Intelligence* comienza a declinar a partir del 2022. Por lo tanto, para estimar el estímulo de la banda de 6 GHz para que crezca el mercado se extrapola hacia el futuro la tasa de crecimiento decreciente de dispositivos que *GSMA Intelligence* proyecta entre el 2020 y el 2021. Esto determina que el excedente del productor en el mercado de IoT asociado a la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado en México será de US\$ 454 millones en el 2022, alcanzando \$2.85 mil millones (o sea la totalidad del excedente) en el 2030 (ver cuadro 6-4).

Cuadro 6-4. México: Excedente del productor para empresas mexicanas de IoT (en mil millones US\$) (2021-2030)

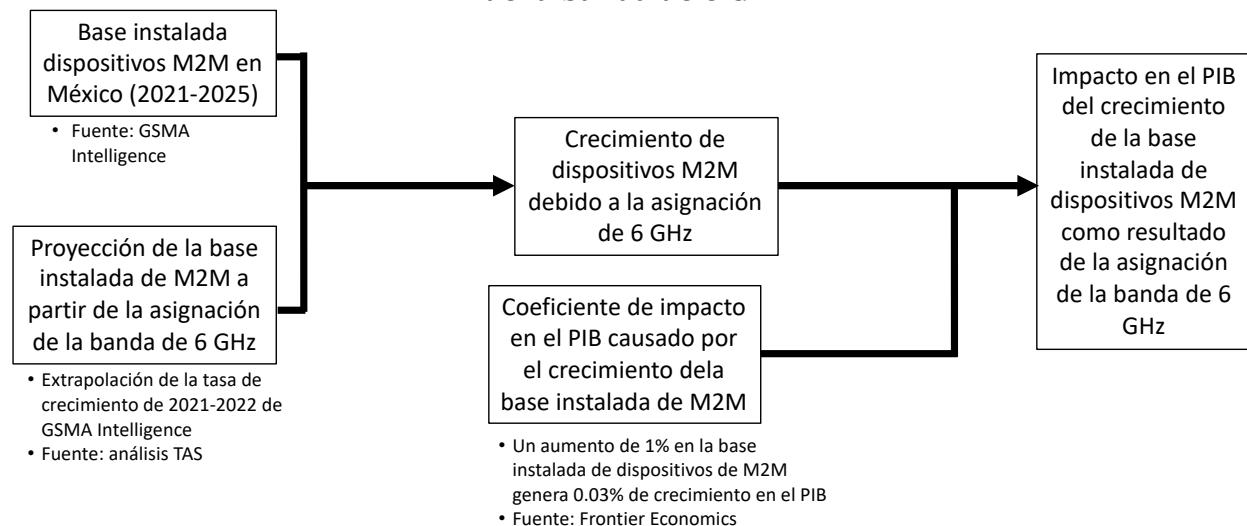
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Excedente total	\$0.72	\$0.98	\$1.31	\$1.49	\$1.67	\$1.87	\$2.09	\$2.32	\$2.57	\$2.85
No atribuible a la banda de 6 GHz	\$0.72	\$0.52	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Atribuible a la banda de 6 GHz	\$0	\$0.46	\$1.31	\$1.49	\$1.67	\$1.87	\$2.09	\$2.32	\$2.57	\$2.85

Fuentes: CSI Markets (2020); análisis Telecom Advisory Services

6.3. Derrame económico del Internet de las Cosas como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado en México

Como se explica en el capítulo 3, el IoT contribuye al crecimiento del PIB a partir de la adopción de múltiples casos de uso que mejoran la eficiencia en procesos como mantenimiento preventivo y monitoreo de la producción. Para estimar el impacto de IoT usamos el coeficiente de impacto desarrollado en base a una simple función de producción que estima que un aumento del 10% en conexiones de M2M conlleva un aumento anual del PIB de entre 0.3% y 0.9% dependiendo del nivel de adopción de IoT en la producción.⁷² Al mismo tiempo, considerando que el IoT ha estado desarrollándose en México con anterioridad a la posible designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado, es necesario restar a su impacto agregado en el PIB, la porción atribuible al crecimiento histórico (ver figura 6-2).

Figura 6-2. Metodología para estimar el derrame económico de IoT bajo el estímulo de la banda de 6 GHz



Fuente: Telecom Advisory Services

Como en el caso anterior, nuestro punto de partida es la proyección de *GSMA Intelligence* para el número de dispositivos M2M en México, la que se extiende hasta el 2025. Nuevamente, como se detalla en la sección anterior, se asume que de acuerdo con el efecto de estímulo de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado, la base instalada de dispositivos M2M continuará creciendo hasta el 2030, aunque a una tasa decreciente basada en la extrapolación de la tasa entre el 2021 y 2022. Esto permite calcular el número de terminales M2M cuyo despliegue puede ser directamente atribuible a la designación de la banda de 6 GHz. A este valor se aplica el coeficiente de impacto en el PIB (asumiéndose un punto intermedio de impacto del 3%), con lo cual se estima el efecto de derrame en la economía mexicana (ver cuadro 6-5)

⁷² Ver Frontier Economics (2018). *The economic impact of IoT: putting numbers on a revolutionary technology.*

Cuadro 6-5. México: Derrame de IoT atribuible a la designación de la banda 6 GHz para uso no licenciado (en US\$ mil millones) (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Terminales M2M	11,610,297	11,963,389	11,459,439	10,494,131	9,973,463	9,973,463	9,973,463	9,973,463	9,973,463	9,973,463
(2) Crecimiento sin efecto de 6 GHz (%)	7.51%	3.04%	-4.21%	-8.42%	-4.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
(3) Crecimiento con efecto de 6 GHz (%)	7.51%	5.68%	4.30%	3.25%	2.46%	1.86%	1.41%	1.06%	0.80%	0.61%
(4) Coeficiente de impacto de 1% del crecimiento de M2M en el PIB	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
(5) Impacto en el PIB (%)	0.00%	0.08%	0.26%	0.35%	0.22%	0.06%	0.04%	0.03%	0.02%	0.02%
(6) México PIB mil millones US\$	\$1,095	\$1,146	\$1,198	\$1,251	\$1,306	\$1,363	\$1,423	\$1,485	\$1,550	\$1,618
(7) Impacto en el PIB (mil millones US\$)	\$0	\$0.91	\$3.06	\$4.38	\$2.91	\$0.76	\$0.60	\$0.47	\$0.37	\$0.30

Fuentes: GSMA Intelligence; Frontier Economics; análisis Telecom Advisory Services

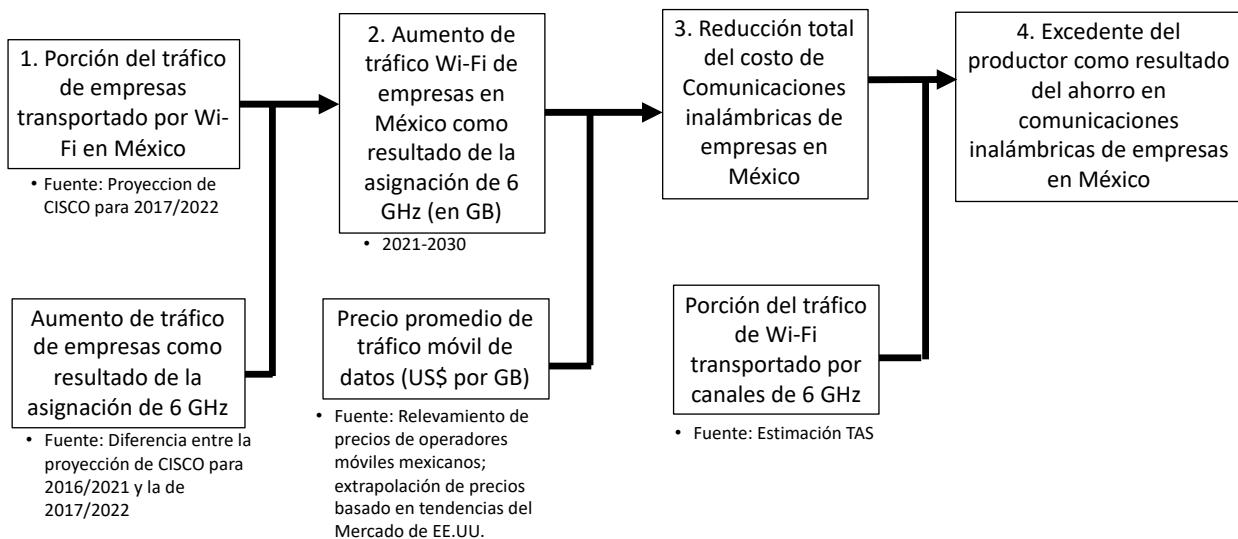
De acuerdo con la sumatoria de la línea 7, el impacto acumulado del estímulo en el despliegue de dispositivos M2M como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado, la contribución al PIB como fruto del derrame económico suma US\$ 13.76 mil millones.

7. REDUCCIÓN DE COSTOS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DE EMPRESAS

Como se detalló en el capítulo 3, el despliegue de aplicaciones en empresas basadas en IoT y AR/VR (analizados en el capítulo siguiente) entre otras genera un crecimiento exponencial en el tráfico de datos que van a estar procesados por dispositivos operando en espectro no licenciado en las bandas de 2.4 GHz, 5 GHz y 6 GHz. En condiciones normales, las redes Wi-Fi de empresas operan canales de entre 20 y 40 MHz debido a limitaciones en la designación de espectro no licenciado y restricciones en dispositivos. En realidad, Wi-Fi requiere como mínimo canales de 80 MHz para entregar capacidades de 1 GB, lo que da un indicio de las limitaciones de espectro bajo las condiciones actuales. Es por ello que la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado es fundamental para ser usada por empresas. El impacto en el PIB de esta medida ya ha sido analizado en el capítulo 6 para IoT y será analizado en el capítulo 8 para AR/VR.

Aun así, la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado conlleva otro efecto económico en la medida de que permite a empresas reducir su gasto en comunicaciones inalámbricas y consecuentemente mejorar sus márgenes. La metodología usada para medir este beneficio al excedente de productores se basa en calcular el caso contra fáctico, estimándose el costo a ser afrontado por empresas si estas debiesen pagar por comunicaciones celulares para transportar el tráfico que puede ser canalizado por el espectro de 6 GHz. Para ello, se calcula el costo de comunicaciones celulares promediando el “precio por GB” de los planes celulares más económicos (para el servicio equivalente a velocidades de 4G) ofrecidos por operadores en México (ver figura 7-1).

Figura 7-1. Metodología para estimar el ahorro en costos de comunicación inalámbrica de empresas



Fuente: Telecom Advisory Services

En el 2017, el Visual Networking Index de Cisco proyectó que el tráfico total para empresas en México alcanzará 9.98 mil millones de GB en el 2023, de los cuales 43.47% será transmitido en redes Wi-Fi. En el 2018, una proyección actualizada de Cisco contabilizando la explosión de aplicaciones de IoT y AR/VR, entre otros factores, reestimó el tráfico de empresas mexicanas en el 2023 a 12.11 mil millones de GB, con una tasa de enrutamiento de Wi-Fi de 53%⁷³ (ver cuadro 7-1).

Cuadro 7-1. México: Tráfico Inalámbrico de Empresas ('000'000) (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Tráfico total de Internet (Gb) (2016-21)	6,480	8,042	9,979	12,384	15,368	19,070	23,665	29,367	36,443	45,224
(2) Porción del tráfico de Internet transmitido por Wi-Fi	46.00%	44.72%	43.47%	42.25%	41.07%	39.92%	38.81%	37.73%	36.67%	35.65%
(3) Tráfico total de Wi-Fi (2016-21)	2,981	3,596	4,338	5,232	6,312	7,614	9,184	11,079	13,364	16,121
(4) Tráfico total de Internet (Gb) (2017-22)	7,293	9,399	12,115	15,615	20,126	25,941	33,435	43,095	55,545	71,592
(5) Porción del tráfico de Internet transmitido por Wi-Fi	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%	53.00%
(3) Tráfico total de Wi-Fi (2017-22)	3,865	4,982	6,421	8,276	10,667	13,749	17,721	22,840	29,439	37,944

Fuente: Cisco Visual Networking Index (2017), (2019)

Cada proyección es convertida a valores en dólares estadounidenses basados en el precio promedio por GB calculado en base a los planes más económicos relevados en el mercado mexicano⁷⁴ (ver cuadro 7-2).

Cuadro 7-2. México: Costo del tráfico inalámbrico de empresas (2021-2030) (en US\$ '000'000)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(4) Precio promedio por GB	\$2.76	\$2.49	\$2.24	\$2.02	\$1.82	\$1.63	\$1.47	\$1.33	\$1.19	\$1.07
(5) Valor del tráfico (2016-21)	\$8,238	\$8,947	\$9,717	\$10,553	\$11,461	\$12,447	\$13,518	\$14,681	\$15,944	\$17,316
(6) Valor del tráfico (2017-22)	\$10,681	\$12,395	\$14,384	\$16,691	\$19,369	\$22,476	\$26,082	\$30,266	\$35,122	\$40,757
(7) Impacto económico (Mil millones US\$)	\$2,443	\$3,448	\$4,665	\$6,138	\$7,908	\$10,029	\$12,564	\$15,585	\$19,178	\$23,440

Fuentes: Operadores de banda ancha móvil de México; análisis Telecom Advisory Services

⁷³ La proyección actualizada de Cisco incluye entre sus supuestos el despliegue de Wi-Fi 6.

⁷⁴ Para el análisis se consideró el plan Telcel Max Sin Límite 9000 de América Móvil con un precio por GB de US\$ 3.61; el plan 26 GB de AT&T con un precio por GB de US\$ 1.89 y el plan de Movistar 6GB con un precio por GB de US\$ 2.34. A estos precios se le aplicó un coeficiente de crecimiento anual de 0.8994. Los precios considerados son conservadores, ya que los publicados por Alliance for Affordable Internet en su reporte del 2019 para México, indica un precio por GB de entre US\$ 2.62 a los US\$ 8.41.

Se asume que parte del crecimiento del impacto económico presentado en el cuadro 7-2 es ocasionado por el crecimiento “natural” (lo que significa una extrapolación de la tasa de crecimiento histórico del valor económico asociado al crecimiento de tráfico de Wi-Fi) mientras que el remanente está ocasionado por el aumento del tráfico de Wi-Fi estimulado por la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado (ver cuadro 7-3).

Cuadro 7-3. México: Tráfico inalámbrico de empresas: Crecimiento generado por despliegue de Wi-Fi (2021-2030) (en US\$ '000'000)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(8) Diferencia debida al crecimiento natural	\$2,289	\$3,077	\$4,164	\$5,477	\$7,056	\$8,948	\$11,210	\$13,905	\$17,110	\$20,913
(9) Impacto económico de 6 GHz	\$0	\$372	\$503	\$662	\$853	\$1,081	\$1,354	\$1,680	\$2,067	\$2,527

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

La sumatoria del valor económico resultante del ahorro para empresas ocasionado por el uso de Wi-Fi en la banda de 6 GHz entre el 2021 y 2030 es de US\$11.10 mil millones.

8. DESPLIEGUE DE SOLUCIONES DE REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL

La oferta de soluciones de AR/VR se está desarrollando rápidamente a partir de la introducción de múltiples aplicaciones en diferentes sectores (ver cuadro 8-1).

Cuadro 8-1. Ejemplos de aplicaciones de AR/VR

Sector	Actividad	Casos de Uso	Ejemplo
Salud	Diagnóstico	La realidad aumentada tiene el potencial de ayudar a los pacientes antes de que se les diagnostique Alzheimer o demencia.	Altoida, es una empresa que desarrolla herramientas de realidad virtual y aumentada para predecir la aparición de enfermedades mentales en pacientes mayores, específicamente enfermedades neurodegenerativas ⁷⁵
	Procedimientos quirúrgicos	Plataformas que combinan tecnologías de visualización con una nueva clase de robots operativos para soportar intervenciones quirúrgicas remotas	Medivis, una empresa especializada en paquetes de realidad aumentada en el ámbito de la atención médica ofrece una herramienta de visualización holográfica de realidad aumentada que guía la navegación quirúrgica, lo que puede disminuir las complicaciones y mejorar los resultados del paciente, al tiempo que reduce los costos quirúrgicos ⁷⁶ .
	Capacitación en procedimientos de emergencia	Dado que las emergencias pediátricas son raras, los médicos tienen poca experiencia en capacitación para ayudar a los niños en emergencias y las simulaciones tradicionales basadas en maniquíes son costosas.	La realidad virtual ayuda a los médicos del Children's Hospital Los Ángeles a estar mejor preparados para situaciones de la vida real al ayudar a los médicos a conocer sus brechas de conocimiento. El programa también se ha ampliado a otros 11 sitios, incluidos los sistemas de salud Johns Hopkins y la Universidad de Stanford ⁷⁷ .
Comercio minorista	Involucramiento de clientes	Brindar a los clientes cobertura Wi-Fi en todo el centro comercial, combinada con contenido de participación de los clientes como parte de las campañas de marketing ⁷⁸ .	Los comerciantes minoristas están experimentando con el despliegue de plataformas de análisis basados en Wi-Fi implementados en instalaciones físicas.
Petróleo y gas	Mantenimiento	Las empresas petroleras han adoptado auriculares y gafas de realidad aumentada, que superponen imágenes digitales sobre lo que ve el usuario en la vida real para solucionar problemas en plataformas, refinerías y plantas. La tecnología transmite información en tiempo real a expertos ubicados en	Fieldbit, entre muchas empresas, está creando ⁷⁹ tecnología que tiene como objetivo prevenir problemas técnicos y derrames de petróleo en la industria del petróleo y el gas. Esta tecnología emergente ya está siendo utilizada por Chevron, BP y Baker Hughes.

⁷⁵ Shieber, J. "Using augmented reality, Altoida is identifying the likely onset of neurodegenerative diseases", *Techcrunch*, May 30, 2019.

⁷⁶ Shrieber, J. "Robotics, AR and VR are poised to reshape health-care, starting in the operating room". *Techcrunch*, February 21, 2019.

⁷⁷ Preparación para emergencias, antes que sucedan.

⁷⁸ Vease el ejemplo de American Dream Megamall, uno de los centros comerciales más grandes de Estados Unidos, ubicado en Nueva Jersey

⁷⁹ Margit, M. (2019). *How Augmented Reality is Transforming the Oil Industry*

Sector	Actividad	Casos de Uso	Ejemplo
		cualquier parte del mundo, quienes luego pueden responder con instrucciones y orientación a un técnico en el lugar.	
Minería	Capacitación para operaciones de emergencia	La realidad virtual crea situaciones imposibles de recrear en el mundo físico para capacitar al personal de rescate	Los rescatistas voluntarios navegan por simulaciones subterráneas de emergencia para capacitar a los voluntarios de rescate para perfeccionar sus habilidades de respuesta a emergencias en un entorno seguro pero realista ⁸⁰

Fuente: *Compilación de Telecom Advisory Services*

El mercado mexicano de AR/VR suma US\$ 130 millones en 2020, distribuido entre US\$ 30 millones en hardware (como anteojos inteligentes) y US\$ 100 millones en software, aplicaciones y contenidos (incluyendo integración de sistemas, plataformas, y licencias). Hacia el 2024, el mercado alcanzara US\$ 1,340 millones (US\$ 230 millones en hardware y US\$ 1,110 millones en software, aplicaciones y contenidos).⁸¹ Las ventas de empresas mexicanas que forman parte del ecosistema de AR/VR generan un excedente del productor (basado en los márgenes sobre las ventas), mientras que la adopción de estas tecnologías en el sistema productivo genera externalidades.

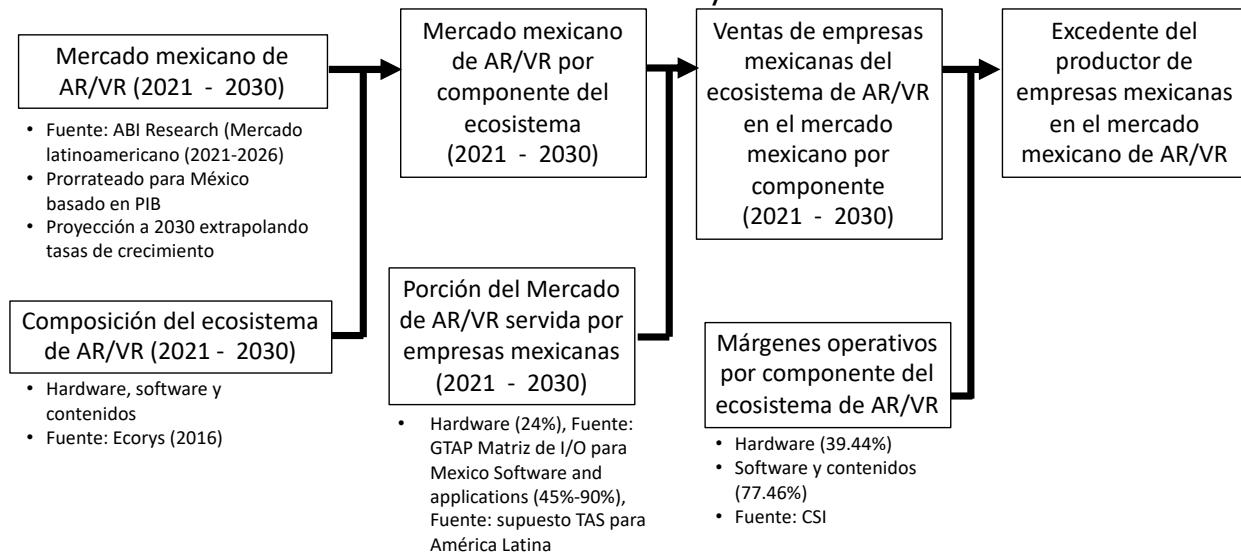
8.1. Excedente del productor generado por la venta de soluciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada

El desarrollo y difusión de aplicaciones de AR/VR es originado por un ecosistema compuesto por empresas de desarrollo de software, manufactura de equipamiento especializado y creación de contenido. El objetivo en la estimación del excedente del productor se enfoca en la estimación del margen de ventas de las firmas mexicanas involucradas en el desarrollo y venta de componentes para el uso de AR/VR (ver Figura 8-1).

⁸⁰ Los equipos de rescate minero descubrieron una nueva herramienta de entrenamiento

⁸¹ Estas estimaciones están basadas en proyecciones de ABI Research para el mercado latinoamericano y prorrataeadas para México basadas en el PIB.

Figura 8-1. Metodología para estimar el excedente productor en México en el mercado de AR/VR



Fuente: *Telecom Advisory Services*

El punto de partida en la estimación de valor económico es el mercado mexicano de aplicaciones y sistemas de AR/VR entre 2021 y 2030. En teoría, parte del valor económico a ser generado por empresas locales podría incluir las exportaciones a otros países, pero se excluyeron para desarrollar una estimación más conservadora. La proyección del mercado mexicano es calculada prorrataeando el valor del mercado latinoamericano para México basado en el PIB; una vez hecho esto se distribuye el valor del mercado por componente del ecosistema (ver cuadro 8-2).

**Cuadro 8-2. México: Mercado de AR/VR por componente (2021-2030)
(en mil millones US\$)**

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hardware	0.05	0.09	0.14	0.23	0.38	0.61	0.98	1.57	2.53	4.07
Software & Aplicaciones	0.26	0.45	0.73	1.11	1.60	2.31	3.33	4.80	6.92	9.97
TOTAL	\$0.31	\$0.54	\$0.87	\$1.34	\$1.98	\$2.92	\$4.31	\$6.37	\$9.45	\$14.04

Fuentes: *ABI Research (2019); análisis Telecom Advisory Services*

El mercado es desagregado por dos segmentos principales: hardware, por un lado, y aplicaciones, software y contenidos por el otro. Una vez estimado el mercado total, se calcula la cuota del mismo servida por empresas mexicanas, con lo que se excluyen las ventas de proveedores extranjeros. De la misma manera que en el mercado de IoT, el cálculo de la cuota de empresas mexicanas se basa en el caso de hardware en la estimación de la producción local de equipamiento electrónico de la matriz de insumo/producto para México: 24.40%. Con fines conservadores, se mantiene este valor en la proyección hacia el futuro. En el caso del segundo segmento del mercado se asume que las firmas locales controlan inicialmente 45% del mercado, alcanzando 65% en el 2030 (ver Cuadro 8-3).

Cuadro 8-3. México: Ventas de AR/VR sales de firmas mexicanas por componente (2021-2030) (en millones US\$)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hardware	\$0.01	\$0.02	\$0.04	\$0.06	\$0.09	\$0.15	\$0.24	\$0.38	\$0.62	\$0.99
Software & Aplicaciones	\$0.11	\$0.22	\$0.40	\$0.67	\$1.04	\$1.50	\$2.16	\$3.12	\$4.50	\$6.48
TOTAL	\$0.13	\$0.25	\$0.44	\$0.72	\$1.13	\$1.65	\$2.40	\$3.50	\$5.11	\$7.48

Fuentes: ABI Research (2019, 2020); análisis Telecom Advisory Services

Una vez que las ventas de empresas mexicanas al mercado local son estimadas, el excedente del productor es estimado a partir de márgenes estándar determinados a nivel internacional: 39.44% para hardware, y 77.46% para software, servicios y contenido (ver cuadro 8-4).

Cuadro 8-4. México: Excedente del productor derivado de las ventas de componentes de AR/VR por empresas mexicanas en el mercado local (2021-2030) (en millones US\$)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hardware	\$0.00	\$0.01	\$0.01	\$0.02	\$0.04	\$0.06	\$0.09	\$0.15	\$0.24	\$0.39
Software & Aplicaciones	\$0.09	\$0.17	\$0.31	\$0.52	\$0.81	\$1.16	\$1.68	\$2.42	\$3.48	\$5.02
TOTAL	\$0.09	\$0.18	\$0.32	\$0.54	\$0.84	\$1.22	\$1.77	\$2.57	\$3.73	\$5.41

Fuentes: CSI Market Inc.: Márgenes de ganancia de la industria; ABI Research (2019, 2020); análisis Telecom Advisory Services

Como es evidente, una porción de este excedente está ya siendo generado por la evolución del mercado basada en tendencias de desarrollo históricas. El desarrollo del mercado de AR/VR en México ya está ocurriendo independientemente de la decisión a ser tomada respecto a la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado. Por lo tanto, el excedente del productor estimado en el cuadro 8-4 debe ser distribuido entre la porción atribuible al crecimiento histórico de la industria en México y el estímulo a ser generado a partir de la decisión respecto a la banda de 6 GHz. Para tal fin, y a falta de datos particulares para México, se utilizó el porcentaje estimado para Estados Unidos, que va del 24.58% en el 2021 al 53.87% en el 2030. Basado en este análisis, el excedente del productor acumulado a ser generado en México por las ventas de firmas de AR/VR en el mercado mexicano entre el 2021 y el 2030 debido a la designación de la banda de 6 GHz sumará US\$ 7.51 mil millones (ver cuadro 8-5).

Cuadro 8-5. México: Excedente del productor generado por ventas de soluciones de AR/VR por empresas mexicanas atribuible a la banda de 6GHz (2021-2030) (en millones US\$)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Por 6 Ghz (%)	24.58%	25.59%	26.64%	27.73%	28.87%	33.87%	38.87%	43.87%	48.87%	53.87%
Por 6 GHz	\$23	\$47	\$86	\$150	\$243	\$414	\$688	\$1,127	\$1,821	\$2,916

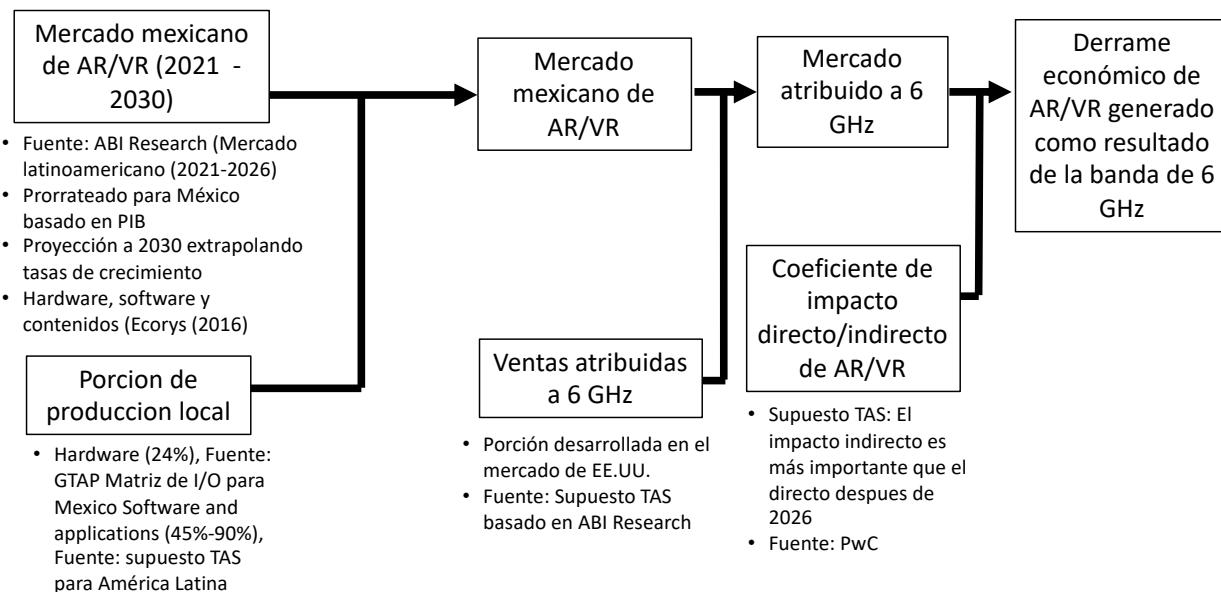
Fuentes: CSI Market Inc: Márgenes de ganancia de la industria; ABI Research; análisis Telecom Advisory Services.

8.2. Derrame económico de la Realidad Virtual y Realidad Aumentada

La penetración de soluciones de AR/VR en empresas mexicanas genera una externalidad en términos de aumento de productividad, contribuyendo al crecimiento del PIB. El derrame se materializa en un mejoramiento de la capacitación, y el aceleramiento del diseño y lanzamiento de nuevos productos, entre otros.

Considerando que el objetivo en este caso es estimar el efecto de derrame de AR/VR, el punto de partida es la contribución total de AR/VR al PIB del país, a partir del cual se calcula la contribución indirecta al PIB mexicano. Dos parámetros permiten realizar esta estimación: el peso total de AR/VR en el PIB mexicano (calculado en base a un coeficiente de impacto anual estimado por PwC⁸²) a lo que se le descuenta el impacto directo (las ventas de componentes de AR/VR estimado por ABI Research, presentado en el cuadro 8-1 arriba). La metodología está descrita en la figura 8-2.

Figura 8-2. Metodología para estimar el derrame de AR/VR



Fuente: Telecom Advisory Services

Ambos valores usados como punto de partida en la estimación deben ser reducidos para reflejar el monto de valor atribuido exclusivamente a la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado. En otras palabras, sería incorrecto atribuir el valor económico total al efecto de la decisión en relación con el espectro. Una vez que ambos valores han sido descontados para reflejar la contribución de la designación de la banda de 6 GHz, se estima la contribución indirecta (es decir el derrame) y el multiplicador entre efectos directos (ventas) e indirectos (derrame). Cabe destacar que, con fines conservadores, se asume siempre que el impacto indirecto no puede ser superior al impacto directo.

⁸² PWC (2019). *Seeing is believing: how virtual reality and augmented reality are transforming business and the economy*.

Cuadro 8-6. México: Contribución de AR/VR resultado del efecto de derrame basado en la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado (2021-2030)
(en mil millones US\$)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
AR/VR contribución al PIB (% GDP)	0.15%	0.20%	0.25%	0.31%	0.38%	0.46%	0.56%	0.70%	0.89%	1.12%
México PIB	\$1,095	\$1,146	\$1,198	\$1,251	\$1,306	\$1,363	\$1,423	\$1,485	\$1,550	\$1,618
AR/VR Contribución al PIB Total	\$1.64	\$2.29	\$2.99	\$3.88	\$4.96	\$6.27	\$7.97	\$10.40	\$13.80	\$18.12
AR/VR contribución al PIB por 6 GHz (%)	24.58%	25.59%	26.64%	27.73%	28.87%	33.87%	38.87%	43.87%	48.87%	53.87%
AR/VR Contribución al PIB con banda de 6 GHz	\$0.40	\$0.59	\$0.80	\$1.08	\$1.43	\$2.12	\$3.10	\$4.56	\$6.74	\$9.76
Impacto directo	\$0.08	\$0.14	\$0.23	\$0.37	\$0.57	\$0.99	\$1.67	\$2.79	\$4.62	\$7.56
Impacto indirecto	\$0.33	\$0.45	\$0.57	\$0.70	\$0.86	\$1.14	\$1.42	\$1.77	\$2.13	\$2.20
Impacto indirecto considerado	\$0.08	\$0.14	\$0.23	\$0.37	\$0.57	\$1.14	\$1.42	\$1.77	\$2.13	\$2.20

Fuente: PwC; ABI Research (2019); análisis Telecom Advisory Services

El valor total acumulado entre el 2021 y 2030 del derrame de AR/VR en México como consecuencia de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado alcanza US\$ 10.04 mil millones.

9. ACELERAMIENTO EN EL DESPLIEGUE DE WI-FI MUNICIPAL

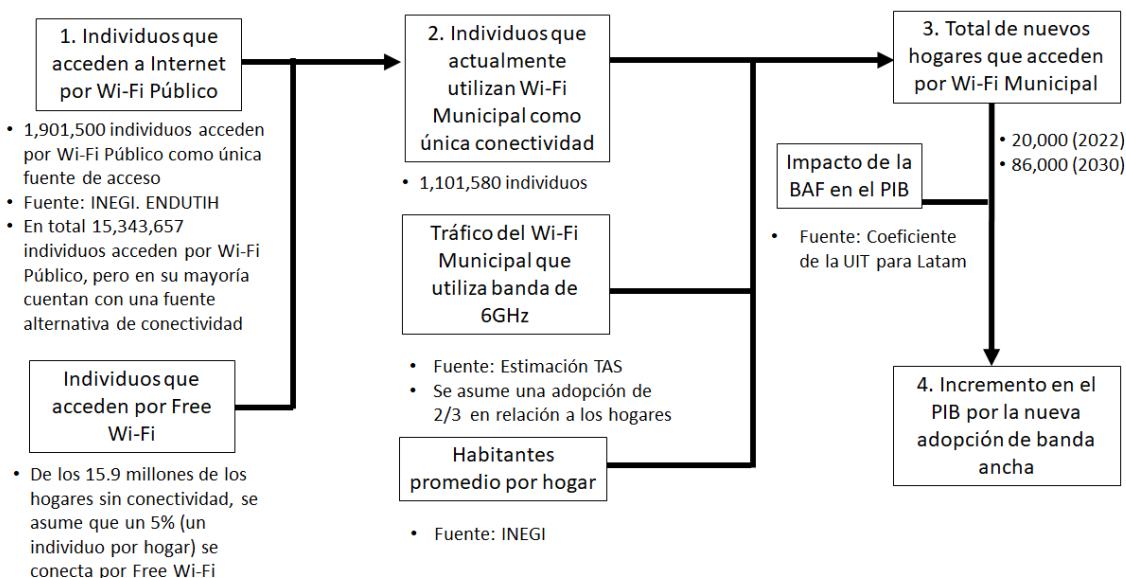
El despliegue de sitios Wi-Fi para el acceso de ciudadanos operando en alcaldías representa una valiosa contribución a la población que carece de recursos para adquirir servicio de banda ancha. Al 2020 se estima que existen unos 44,000 puntos de atención de Internet para Tod@s, donde principalmente se benefician comunidades con menos de 250 habitantes. De esta manera, la población que no posee servicio de banda ancha en el hogar puede acceder a Internet en edificios públicos. Estos sitios de acceso son muy relevantes en México, ya que en el año 2019 más de 15,000,000 de mexicanos han accedido a un computador desde sitios públicos⁸³.

Esta infraestructura puede desempeñar un papel en la mejora de la cobertura del servicio de banda ancha al proporcionar un recurso gratuito para que los consumidores obtengan acceso a Internet. En este sentido, la designación de espectro en la banda de 6 GHz aumentará la capacidad del Wi-Fi municipal para brindar un servicio gratuito a la población desatendida y aumentará la velocidad de acceso para los usuarios actuales. Estos dos efectos se traducen en una contribución al PIB y un aumento del excedente del consumidor.

9.1. Impacto de las redes de Wi-Fi municipal en el PIB

Los sitios Wi-Fi municipales que incorporen tecnología basada en el espectro de 6 GHz podrán servir un mayor número de usuarios comparado con las condiciones actuales del espectro, lo que a su vez tendrá un impacto en el PIB. La metodología para estimar este efecto es presentada en la Figura 9-1.

Figura 9-1. Metodología para estimar el impacto en el PIB del Wi-Fi Municipal



Fuente: Telecom Advisory Services

⁸³ INEGI. Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de TIC en Hogares (ENDUTIH).

El universo inicial para estimar el impacto del Wi-Fi Municipal son los usuarios de Wi-Fi Público, que según el INEGI al 2019 fueron 15,343,657⁸⁴. De ese universo inicial debemos de considerar que una gran parte del mismo también logra acceder a la tecnología desde otros sitios (hogar, trabajo, casa de amigos, etc.). Si consideramos que de los usuarios que se conectan fuera del hogar, un 22.1% lo hace desde sitio público, y que 8,594,052 sólo acceden a Internet fuera del hogar, obtenemos que al 2019 en México 1,901,500 individuos dependían de sitios públicos para acceder a Internet⁸⁵.

Posteriormente al conjunto de 1,901,500 de individuos que dependen de sitios públicos para acceder a Internet debemos descontar el subconjunto que lo hace desde puntos de acceso de Wi-Fi Gratuito. Para tal fin, y en base a estadísticas de comportamiento de Brasil se asume que un 5% de los hogares sin conectividad lo hace a través de los sitios de Wi-Fi gratuito, por lo que el universo de usuarios de Wi-Fi Municipal como única conectividad en México en la actualidad es de 1,101,580 individuos.

Con la introducción de la banda de 6GHz los sitios de Wi-Fi Municipal recibirán dos beneficios: (1) en las zonas urbanas el principal beneficio será generado por el mayor número de usuarios que se podrán conectar a cada punto de acceso; (2) en los sitios rurales mejorará la cobertura y la calidad de conexión. De este modo, aquellos puntos de acceso Wi-Fi que adopten la nueva banda de 6 GHz podrán ampliar el universo de usuarios beneficiados por el servicio. En este punto se asume que el nivel de adopción de la banda de 6 GHz, en un escenario conservador, de los puntos de acceso de Wi-Fi municipal llegará al 50% en el 2030. Así también, al número de individuos que se beneficiarán a partir del mayor alcance de los puntos de acceso de Wi-Fi Municipal, se los divide por el número de habitantes promedio por hogar. De este modo se obtiene que entre 20,100 (en el 2022) y 86,000 (en el 2030) serán los nuevos hogares beneficiados por la banda de 6 GHz del Wi-Fi Municipal (ver cuadro 9-1).

⁸⁴ Ese valor incluye tanto los usuarios de Wi-Fi Municipal como usuarios de “Free Wi-Fi”.

⁸⁵ Fuente: INEGI, ENDUTIH 2019

Cuadro 9-1. México: Hogares beneficiados por el Wi-Fi Municipal a través del espectro de 6 GHz

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Individuos que se conectan de punto de acceso de Wi-Fi Público	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500	1,901,500
(2) Individuos que se conectan de punto de acceso de Wi-Fi Gratuito	799,919	857,218	919,864	988,571	1,061,102	1,135,851	1,212,808	1,263,862	1,316,179	1,369,743
(3) Individuos que se conectan de punto de acceso de Wi-Fi Municipal	1,101,580	1,044,282	981,636	912,929	840,398	765,649	688,692	637,638	585,321	531,757
(4) Tráfico por la banda de 6 GHz en puntos de acceso de Wi-Fi Municipal	0%	7%	13%	20%	27%	33%	40%	43%	47%	50%
(5) Nuevos individuos con acceso a banda ancha	0	69,619	130,885	182,586	224,106	255,216	275,477	276,310	273,150	265,879
(6) Nuevos hogares con acceso a banda ancha	0	20,115	38,349	54,251	67,525	77,982	85,358	86,822	87,038	85,914

Fuente: INEGI; Telecom Advisory Services.

El número de hogares que podrán beneficiarse de las redes de Wi-Fi Municipal que accedan al espectro de 6 GHz representa un aumento en el total de hogares conectados de México. El aumento de la penetración de la banda ancha multiplicado por el coeficiente de impacto de la banda ancha fija en el PIB⁸⁶ permite calcular el impacto total del PIB (ver cuadro 9-2).

Cuadro 9-2. México: Impacto en el PIB de las redes Wi-Fi Municipal por la adopción del espectro de 6GHz

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Incremento en la adopción nacional de banda ancha	0.00%	0.09%	0.17%	0.23%	0.28%	0.31%	0.33%	0.33%	0.32%	0.31%
(2) Impacto de la banda ancha fija en el PIB	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745	0.15745
(3) Incremento en el PIB debido a la nueva adopción de banda ancha (%)	0.00%	0.01%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
(4) Incremento en el PIB (US\$ mil millones)	\$0.00	\$0.16	\$0.32	\$0.45	\$0.57	\$0.67	\$0.75	\$0.77	\$0.78	\$0.78

Fuente: IMF; ITU; Análisis Telecom Advisory Services.

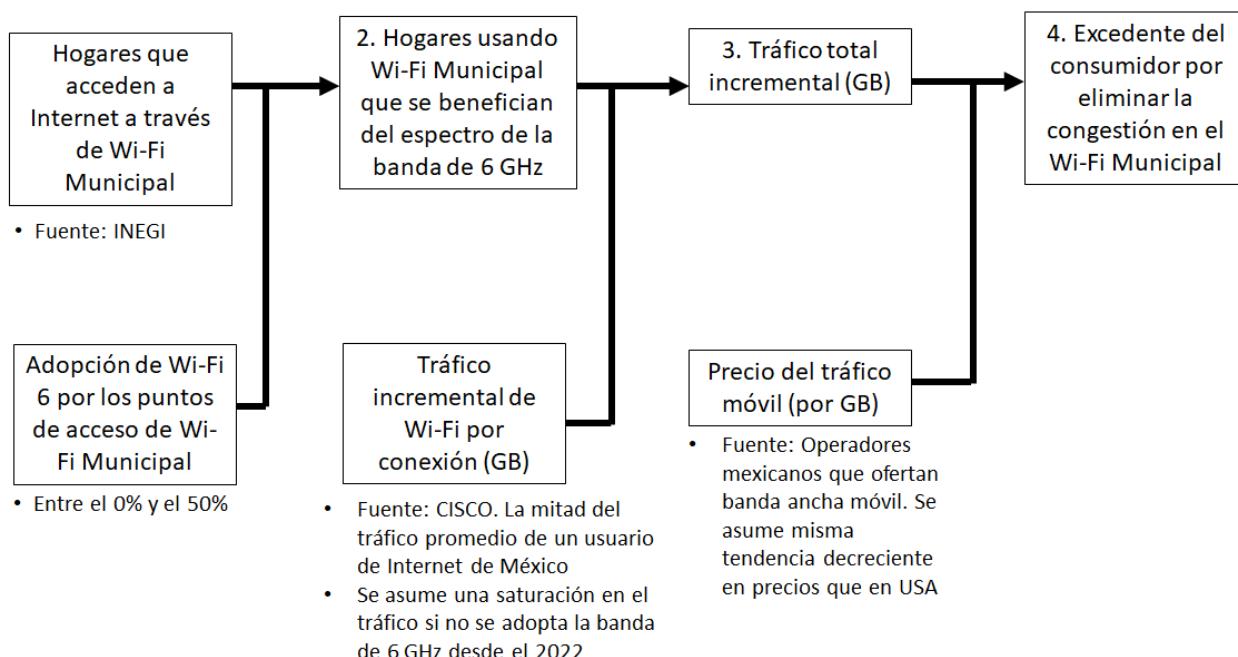
⁸⁶ Katz, R. and Callorda, F. (2019). *Economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation: Econometric modelling for the Americas*. Geneva: International Telecommunications Union.

En resumen, la contribución acumulada al PIB de los beneficios de la designación del espectro de 6 GHz para uso libre al Wi-Fi Municipal alcanza US\$ 5.26 mil millones entre el 2021 y el 2030.

9.2. Impacto de Wi-Fi municipal al excedente del consumidor

Además de la contribución al PIB, las redes de Wi-Fi Municipal con la capacidad de aprovechar el espectro en 6 GHz pueden mejorar su rendimiento, proporcionando un servicio de banda ancha más rápido y, por lo tanto, generando un excedente de consumo adicional (ver Figura 9-2).

Figura 9-2. Metodología para estimar el excedente del consumidor del Wi-Fi Municipal



Fuente: Telecom Advisory Services

Para este análisis se asume, de modo conservador, que se verán beneficiados aquellos nuevos individuos que se conectan al Wi-Fi Municipal teniendo una mayor capacidad de tráfico que si lo hacen por un método pago⁸⁷. Estos individuos se beneficiarán del tráfico incremental generado bajo Wi-Fi 6. Para estimar esto, asumimos que el tráfico actual por línea llega a un máximo (antes de la saturación) en los niveles a alcanzar en el 2022, mientras que bajo Wi-Fi 6 crecerá según lo proyectado por *Cisco Visual Networking Index*. La diferencia se multiplica por el precio por GB de la banda ancha móvil en México, según la información

⁸⁷ Este supuesto es conservador, debido a que también pueden tener este beneficio aquellos usuarios previos a la adopción de 6 GHz del Wi-Fi Municipal.

publicada en los sitios web de los operadores. Multiplicando ambos factores se obtiene el impacto total en el excedente del consumidor (ver cuadro 9-3).

Cuadro 9-3. México: Excedente del consumidor generado por la introducción de Wi-Fi 6 en las redes de Wi-Fi Municipal

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Nuevos individuos con acceso a banda ancha a través de Wi-Fi Municipal	0	69,619	130,885	182,586	224,106	255,216	275,477	276,310	273,150	265,879
(2) Tráfico mensual por usuario con la introducción de la banda de 6 GHz (Gb)	13.56	16.55	20.21	24.67	30.12	36.78	44.90	54.82	66.94	81.72
(3) Tráfico mensual por usuario sin la introducción de la banda de 6 GHz (Gb)	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56	13.56
(4) Trafico anual incremental por 6 GHz (miles de millones de GB)	0.000	0.002	0.010	0.023	0.041	0.066	0.097	0.127	0.163	0.203
(5) Precio por Gb	\$2.76	\$2.49	\$2.24	\$2.02	\$1.82	\$1.63	\$1.47	\$1.33	\$1.19	\$1.07
(6) Impacto total en Excedente del Consumidor (US\$ mil Millones)	\$0.000	\$0.006	\$0.022	\$0.046	\$0.075	\$0.108	\$0.142	\$0.169	\$0.194	\$0.218

Fuente: CISCO VNI; Operadores de telecomunicaciones de banda ancha móvil de México; Telecom Advisory Services.

El impacto acumulado en excedente al consumidor generado por este efecto es de US\$ 980 millones entre el 2021 y el 2030.

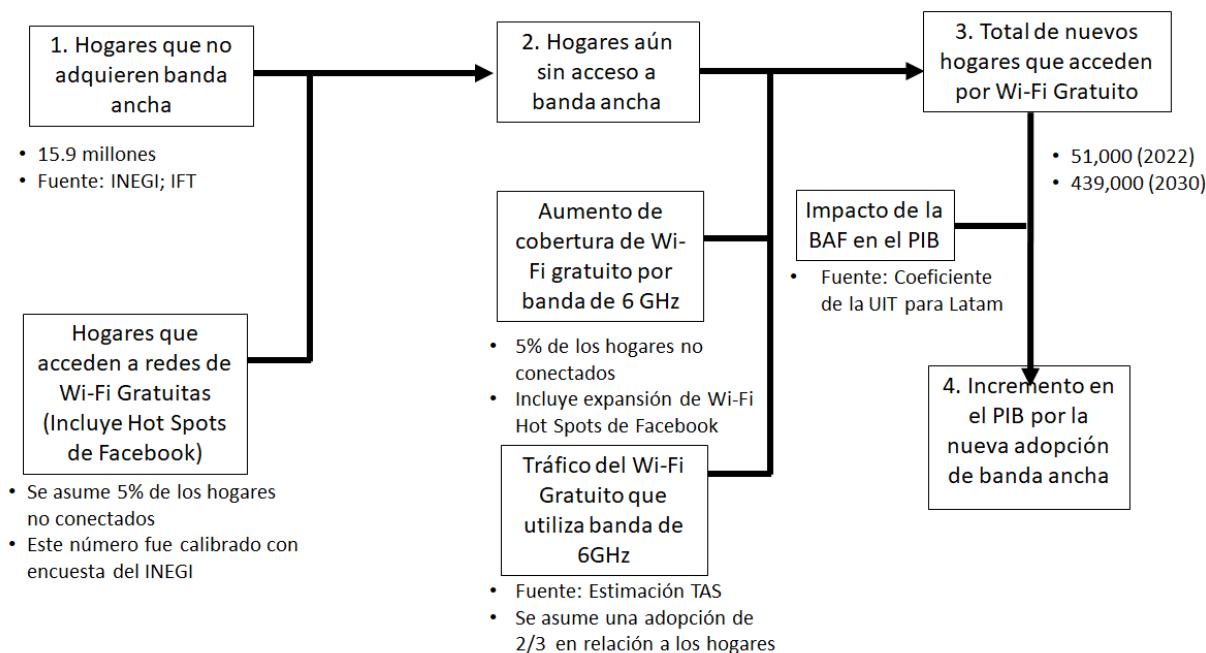
10. DESARROLLO DE PUNTOS DE ACCESO DE WI-FI GRATUITO

El cálculo del impacto económico de la designación de 6 GHz para uso libre en los puntos de acceso gratuito es similar a la realizada para las redes Wi-Fi municipales. El supuesto subyacente en este caso es que los puntos de acceso Wi-Fi gratuitos que se benefician del espectro de 6 GHz serán capaces de manejar una mayor cantidad de dispositivos, lo que a su vez contribuirá a la adopción de banda ancha. Por otro lado, estos sitios podrán brindar una velocidad de servicio más rápida, que se puede transferir al aumento del bienestar del consumidor.

10.1. Impacto de Wi-Fi gratuito en el PIB como resultado de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado

Como en el caso de las redes Wi-Fi municipales, los puntos de acceso gratuito que incorporan tecnología basada en el espectro de 6 GHz podrán manejar un mayor número de usuarios que en las condiciones actuales del espectro, lo que a su vez tendría un impacto en el PIB. La metodología para cuantificar este efecto es presentada en la Figura 10-1.

Figura 10-1. Metodología para estimar el impacto en el PIB de redes de Wi-Fi Gratuito



Fuente: Telecom Advisory Services

Nuestro punto de partida son los hogares que carecen de acceso a banda ancha en el hogar debido a una asequibilidad limitada y que no tienen el beneficio de depender de Wi-Fi municipal. Restamos de este universo aquellos hogares que serán atendidos por los WISP en el futuro, para no incurrir en doble contabilización. De este grupo, estimamos aquellos que podrían ser atendidos por sitios gratuitos que hayan implementado Wi-Fi 6 y asumimos que

solo el 5% de ellos dependerá efectivamente de un sitio gratuito para obtener acceso a Internet. Esta es la penetración incremental de la banda ancha que se utiliza para cuantificar el impacto en el PIB basándose en el mismo coeficiente que se utiliza en el caso de Wi-Fi municipal (ver cuadro 10-1).

Cuadro 10-1. México: Impacto en el PIB del Wi-Fi Gratuito por el espectro en la banda de 6 GHz

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Hogares sin Internet (millones)	15.998	16.123	16.329	16.617	16.938	17.265	17.596	17.933	18.274	18.621
(2) Hogares que acceden a través de Wi-Fi Gratuito	799,919	806,171	816,499	830,877	846,937	863,251	879,823	896,653	913,744	931,096
(3) Hogares que acceden por incremento en conexiones WISP	0	3,151	8,790	17,285	29,364	45,805	67,396	88,339	113,920	144,966
(4) Hogares sin acceso a Internet (millones)	15.198	15.314	15.504	15.769	16.062	16.355	16.649	16.948	17.247	17.545
(5) Potencial de hogares para Wi-Fi Gratuito	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
(6) Tráfico por la banda de 6 GHz en sitios de Wi-Fi Gratuito	0%	7%	13%	20%	27%	33%	40%	43%	47%	50%
(7) Hogares adicionales atendidos por los Hot Spots de Wi-Fi Gratuito	0	51,047	103,365	157,694	214,166	272,600	332,985	367,208	402,435	438,646
(8) Incremento en la adopción nacional de banda ancha	0	0.23%	0.45%	0.67%	0.89%	1.09%	1.30%	1.39%	1.48%	1.56%
(9) Incremento en el PIB como consecuencia de la nueva adopción de banda ancha (%)	0	0.04%	0.07%	0.11%	0.14%	0.17%	0.20%	0.22%	0.23%	0.25%
(10) Incremento en el PIB (US\$ mil millones)	0	\$418	\$856	\$1,322	\$1,820	\$2,348	\$2,906	\$3,248	\$3,608	\$3,985

Fuente: INEGI; IFT; IMF; ITU; Telecom Advisory Services.

De este modo la contribución acumulada de este efecto al PIB es de US\$ 20.51 mil millones. Cabe destacar que este efecto no está contabilizando efectos adicionales que traerá el mayor

despliegue de Wi-Fi gratuitos para atender la demanda por tráfico de turistas en México. En particular el despliegue de este tráfico será clave en el contexto de la organización de eventos internacionales, como la Copa Mundial de Fútbol del 2026.

Así también, adicional a este efecto se tiene que considerar el impacto que tendrá la banda de 6 GHz en la generación de ingresos para los Hot Spots pagos, asumiendo que los mismos podrán incrementar su capacidad en un 40% (ver cuadro 10-2).

Cuadro 10-2. México: Impacto en el PIB de la banda de 6 GHz a través de mayores ingresos de Wi-Fi Hot Spots pagos

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Potencial incremento de usuarios de Wi-Fi Hot Spots pagos	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%
(2) Tráfico por la banda de 6 GHz	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	65%	70%	75%
(3) Incremento en dispositivos conectados por efecto de la banda de 6 GHz	0%	4%	8%	12%	16%	20%	24%	26%	28%	30%
(4) Ingreso promedio por Hot Spot (US\$)	\$312	\$332	\$352	\$374	\$396	\$409	\$423	\$430	\$436	\$443
(5) Ingresos adicionales por la banda de 6 GHz (US\$ millones)	\$0	\$3	\$5	\$11	\$19	\$26	\$31	\$33	\$31	\$40

Fuente: Telecom Advisory Services.

De este modo la contribución acumulada de este efecto al PIB es de US\$ 200 millones entre el 2021 y el 2030.

10.2. Impacto de Wi-Fi gratuito en el excedente del consumidor

La adopción de WI-Fi 6 en los sitios de Wi-Fi gratuitos traerá dos ventajas para los usuarios: (1) mayor velocidad de acceso; (2) mayor tráfico por dispositivo. En el caso de la mayor velocidad de acceso se asume que a partir del 2025 en caso de no adoptarse la banda de 6 GHz el tráfico por estas redes no podrá seguir incrementando su velocidad. Utilizando la misma metodología para estimar el tráfico en hogares, puede calcularse el valor de la velocidad adicional que se logra gracias a la banda de 6 GHz (ver cuadro 10-3).

Cuadro 10-3. México: Impacto en el excedente del consumidor de la mayor velocidad de acceso gracias al espectro de la banda de 6 GHz en el Wi-Fi gratuito

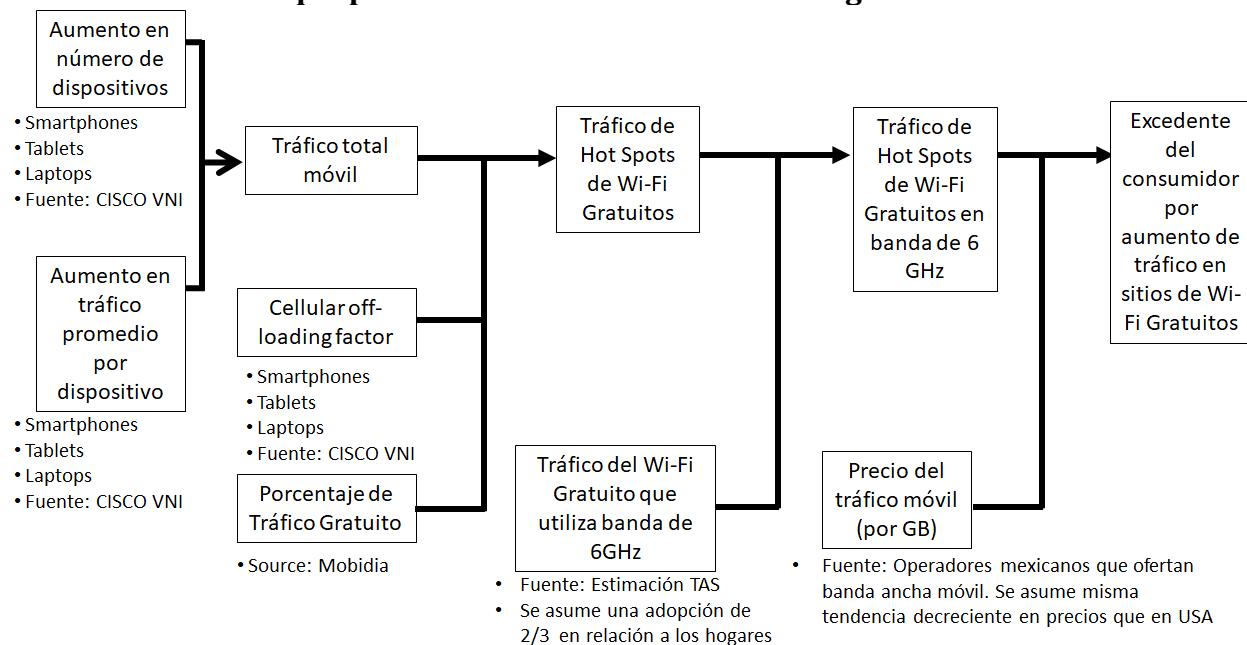
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Velocidad de Wi-Fi gratuito sin la banda de 6 GHz	12	14	17	20	23	23	23	23	23	23
(2) Velocidad de Wi-Fi gratuito con la banda de 6 GHz	12	14	17	20	23	27	32	38	45	54
(3) Tráfico por la banda de 6 GHz	0.00%	6.67%	13.33%	20.00%	26.67%	33.33%	40.00%	43.33%	46.67%	50.00%
(4) Velocidad media con banda de 6 GHz	12	14	17	20	23	25	27	30	33	38
(5) Demanda por velocidad sin banda de 6 GHz (US\$)	\$47	\$50	\$54	\$58	\$61	\$61	\$61	\$61	\$61	\$61
(6) Demanda por velocidad con banda de 6 GHz (US\$)	\$47	\$50	\$54	\$58	\$61	\$62	\$64	\$65	\$67	\$69
(7) Excedente del consumidor adicional mensual	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1	\$2	\$4	\$6	\$8
(8) Excedente del consumidor adicional anual	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$11	\$27	\$45	\$67	\$91
(9) Hogares que usan Wi-Fi Gratuito	799,919	857,218	919,864	988,571	1,061,102	1,135,851	1,212,808	1,263,862	1,316,179	1,369,743
(10) Impacto (US\$ millones)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$12	\$32	\$57	\$88	\$125

Fuente: Telecom Advisory Services.

De este modo la contribución acumulada de este efecto al excedente del consumidor es de US\$ 314 millones entre el 2021 y el 2030.

En segundo término, la designación de Wi-Fi 6 para uso no licenciado podrá aumentar el tráfico de los dispositivos conectados en los sitios de Wi-Fi gratuitos (ver Figura 10-2).

Figura 10-2. México: Excedente del consumidor de los usuarios por el mayor tráfico que permite Wi-Fi 6 en sitios de Wi-Fi gratuito



Fuente: Telecom Advisory Services

En base a las proyecciones de tráfico por dispositivo de Cisco VNI y el número total de dispositivos estimado por GSMA y Cisco VNI se proyecta que existirá una congestión que limitará el tráfico por dispositivo desde el 2024 si no se implementa Wi-Fi 6 (ver cuadro 10-4)

Cuadro 10-4. México: Excedente del Consumidor por beneficio de la banda de 6 GHz en mayor tráfico en sitios de Wi-Fi gratuito

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Demanda no satisfecha por congestión del Wi-Fi Gratuito (Millones de GB)	0	0	0	7	47	560	1,303	2,380	3,938	6,188
(2) Tráfico por la banda de 6 GHz	0%	7%	13%	20%	27%	33%	40%	43%	47%	50%
(3) Tráfico factible por la banda de 6 GHz	0	0	0	1	13	187	521	1,031	1,838	3,094
(4) Precio promedio por GB móvil	2.76	2.49	2.24	2.02	1.82	1.63	1.47	1.33	1.19	1.07
(5) Costo de provisión del GB de los sitios de Wi-Fi gratuitos	1.74	1.66	1.58	1.50	1.43	1.25	1.08	0.94	0.81	0.69
(6) Excedente del consumidor por GB	1.02	0.83	0.66	0.51	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
(7) Excedente del consumidor generado por banda de 6 GHz (US\$ millones)	\$0	\$0	\$0	\$1	\$5	\$72	\$202	\$399	\$711	\$1,197

Fuente: GSMA; Cisco VNI; Operadores mexicanos de telecomunicaciones; Telecom Advisory Services.

De este modo la contribución acumulada de este efecto al excedente del consumidor es de US\$ 2.59 mil millones entre el 2021 y el 2030.

11. ALINEAMIENTO DE LA DESIGNACIÓN DE ESPECTRO DE 6 GHz CON EL MODELO DE ECONOMÍAS AVANZADAS

Como se mencionó en el capítulo 3, la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado permitirá no solo aliviar la presión resultante del crecimiento explosivo del tráfico de Wi-Fi, sino que también tiene implicancias para la reducción de costos de insumos para empresas mexicanas y para la política industrial del país. Si México toma una decisión respecto a la designación del espectro alineándose con estados Unidos y Corea del Sur, se beneficiará debido a la oportunidad de adquirir equipamiento cuyo costo unitario será menor que el ofrecido por los países europeos. Nuestra comparación de precios unitarios de anteojos monocularares de AR indica que Estados Unidos presenta una ventaja en relación con Europa Occidental (ver cuadro 11-1).

Cuadro 11-1. Estados Unidos versus Europa: Precio de venta promedio de anteojos monocularares

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Estados Unidos	761.16	709.14	656.94	606.29	564.49	528.85
Europa	766.25	715.60	665.82	617.24	574.03	537.53
Porcentaje de diferencia	-0.66%	-0.90%	-1.33%	-1.77%	-1.66%	-1.61%

Fuentes: ABI Research 2020-2024; análisis Telecom Advisory Services

Al extraer la tendencia hasta el 2030 y aplicar la diferencia de precio a los mercados de equipamiento de AR/VR e IoT, el siguiente efecto es calculado (ver cuadro 11-2).

Cuadro 11-2. Ventaja del alineamiento la decisión spectral de 6 GHz con el modelo de EE.UU. y Corea del Sur

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Mercado de equipamiento de AR-VR	0.051	0.086	0.145	0.234	0.377	0.607	0.976	1.571	2.528	4.068
(2) Mercado de equipamiento de IoT	1.333	1.654	2.051	2.153	2.261	2.374	2.493	2.617	2.748	2.886
(3) Reducción de precio resultado de alineamiento de la decisión spectral	-1.33%	-1.77%	-1.66%	-1.61%	-1.54%	-1.47%	-1.40%	-1.34%	-1.28%	-1.22%
(4) Impacto en el excedente del productor s (US\$B)	0.018	0.031	0.037	0.039	0.041	0.044	0.049	0.056	0.067	0.085

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

En segundo lugar, como fuera mencionado en el capítulo 3, el mercado mexicano de equipamiento y servicios en áreas relacionadas con la implementación de la decisión del espectro de la banda de 6 GHz suma US\$ 9.43 mil millones en 2020 pero alcanzará US\$ 15.36 mil millones en 2025 (ver cuadro 11-3).

Cuadro 11-3. México: Ventas en mercados impactados por la designación de espectro en la banda de 6 GHz (en mil millones US\$) (2020-25)

Mercado	Categorías	2020	2025
Realidad aumentada/Realidad virtual	Hardware	\$ 0.03	\$ 0.38
	Software, aplicaciones y contenidos	\$ 0.10	\$ 1.60
	Subtotal	\$ 0.13	\$ 1.98
Internet de las Cosas	Hardware	\$ 1.05	\$ 2.26
	Software y servicios	\$ 1.34	\$ 2.89
	Subtotal	\$ 2.39	\$ 5.15
Dispositivos dependiendo de acceso a Wi-Fi	Dispositivos del hogar	\$ 5.93	\$ 7.07
	Dispositivos conectados a Wi-Fi	\$ 0.44	\$ 0.40
	Puntos de acceso de empresas y controladores	\$ 0.54	\$ 0.76
	Subtotal	\$ 6.91	\$ 8.23
Total		\$ 9.43	\$ 15.36

Nota: ABI Research provee una estimación del mercado de AR/VR hasta el 2024 para América Latina. La porción designada para México es calculada prorrataeando el mercado latinoamericano proyectado por ABI Research por el PIB mexicano como porcentaje del latinoamericano. La estimación para 2025 extrae la tasa de crecimiento para 2024.

Fuentes: ABI Research; Frost & Sullivan; análisis Telecom Advisory Services

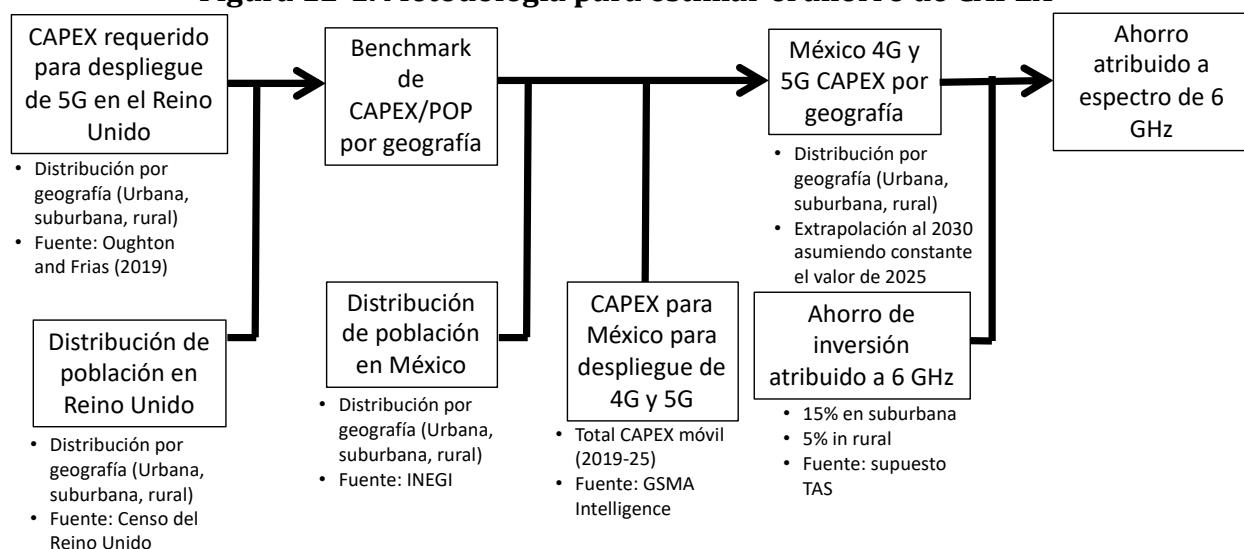
De acuerdo con estas condiciones atractivas para el desarrollo de mercado, la decisión de considerar la banda de 6 GHz para uso no licenciado bajo el modelo seguido por los Estados Unidos, Corea del Sur, Chile, y probablemente Brasil hasta el momento podría permitir a México responder a la demanda del mercado local y otorgarle al país la posibilidad de desarrollar una industria de equipamiento orientada a la exportación.

12. AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENRUTAMIENTO DE TRÁFICO CELULAR

Las redes 5G entregan servicio caracterizado por velocidades más rápidas, latencia reducida y mayor capacidad. Sin embargo, los operadores celulares no podrán entregar este servicio sin recurrir a redes Wi-Fi capaces de enrutar una porción importante de tráfico. Cisco estima que en 2022 54% del tráfico móvil de América Latina será enrulado por Wi-Fi, un incremento desde el 2017, cuando el porcentaje era de 48%. La disponibilidad de espectro en la banda de 6 GHz para uso no licenciado es un componente esencial para alcanzar esta proyección.

El objetivo en este capítulo es estimar el ahorro en inversión de capital a ser generado por los operadores celulares al enrutar una porción del tráfico de 5G y 4G, aprovechando la capacidad que representan los canales de 160 MHz existentes en el espectro de 6 GHz (ver Figura 12-1).

Figura 12-1. Metodología para estimar el ahorro de CAPEX



Fuente: Análisis de Telecom Advisory Services

El análisis comienza con una estimación de los costos de despliegue de 5G, sin considerar el beneficio del enrutamiento a Wi-Fi (caso contra factico). Para ello se suma la inversión de CAPEX estimada por *Wireless Intelligence* para toda la industria móvil mexicana entre el 2019 y 2030.⁸⁸ (ver cuadro 12-1).

⁸⁸ Para 2025, GSMA Intelligence estima que la cobertura 5G habría alcanzado el 73%

Cuadro 12-1. México: Inversión

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cobertura 5G	18%	24%	34%	50%	73%	75%	78%	80%	82%	85%
Inversión total (4G y 5G)	\$2,380	\$2,820	\$3,030	\$2,850	\$2,450	\$2,450	\$2,450	\$2,450	\$2,450	\$2,450

Fuentes: GSMA Intelligence

Para estimar el ahorro, se debe distribuir esta inversión a partir de una hipótesis de distribución geográfica. Para ello, recurrimos al ejercicio de costeo de 5G realizado por Oughton y Frias (2016) para el Reino Unido. Los autores estiman un CAPEX de US\$ 53.34 mil millones, de los cuales US\$ 890 millones son destinados a medios urbanos, US\$ 7.13 mil millones a medios suburbanos, y US\$ 45.32 mil millones a zonas rurales (ver cuadro 12-1).

Cuadro 12-1. Reino Unido: Inversión Total en 5G

	Población (Millones)	Distribución de la población	5G CAPEX (US\$ mil millones)	Distribución del 5G CAPEX (%)	CAPEX per POP
Urbano (ciudades >1 millón)	19.42	29%	\$0.89	1.66%	\$45.71
Suburbano	36.16	54%	\$7.13	13.37%	\$197.16
Rural	11.38	17%	\$45.32	84.97%	\$3,981.22
Total	66.96	100%	\$53.34	100%	\$796.58

Fuente: Oughton and Frias (2017). Exploring the cost, coverage and rollout implications of 5G in Britain; análisis Telecom Advisory Services

Usando CAPEX por POP como punto de partida (sin incluir costos de adquisición de espectro) se calcula inversión para desplegar infraestructura de 5G en México, también considerando la inversión remanente en redes de 4G que es relevante en el contexto mexicano. Considerando la designación por zona geográfica (ver cuadro 12-2).

Cuadro 12-2. México: Inversión total (4G y 5G)

	Población (millones)	CAPEX	Ahorro de CAPEX
Urbano (ciudades >1 millón)	50,770,781	\$ 0.51	\$ 0.00
Suburbano	51,168,983	\$ 2.24	\$ 0.34
Rural	30,794,304	\$ 27.18	\$ 1.36
Total	132,734,068	\$ 29.93	\$ 1.69

Fuente: Oughton and Frias (2017). Exploring the cost, coverage and rollout implications of 5G in Britain; Análisis Telecom Advisory Services

Considerando la desagregación de costos de Oughton y Frias (2016), así como la de las otras estimaciones, la inversión bajo un marco de espectro con licencia exclusiva seguirá siendo significativa para áreas suburbanas (US \$ 2.24 mil millones) y rurales (US \$ 27.18 mil millones). En este contexto, el espectro sin licencia se convierte en un habilitador clave de los servicios 5G. El próximo entorno 5G flexible y radio-neutral será intrínsecamente

compatible con la próxima ola de estándares Wi-Fi 802.11 y tecnologías inalámbricas de corto alcance que operan en bandas sin licencia. Un análisis comparativo de CAPEX para la estación base 5G de pico cell frente al punto de acceso Wi-Fi de grado de operador indica una ventaja de costo de este último que asciende al 81%⁸⁹. Cabe señalar que la ventaja de Wi-Fi en las redes híbridas se vuelve aún más relevante con el espectro de 6 GHz dada la capacidad de los puntos Hot Spot para manejar grandes volúmenes de tráfico.

De manera conservadora, asumimos que Wi-Fi no será fundamental para mantener la inversión en áreas urbanas, pero que jugará un papel importante en las geografías suburbanas y rurales. Con base en la ventaja de costo del Wi-Fi, asumimos que será efectivo para una parte del despliegue de la red suburbana (aproximadamente el 15%) y rural (aproximadamente el 5%). Por lo tanto, utilizando la estimación de US\$ 2.24 mil millones para cobertura suburbana y US\$ 27.18 mil millones para cobertura rural, la implementación de puntos de acceso Wi-Fi que aprovechen 6 GHz generará ahorros de CAPEX de \$ 1,690 millones⁹⁰. Estos serán críticos en términos de permitir a los operadores complementar las redes de 4G y extender su cobertura 5G aún más a las geografías rurales.

⁸⁹ Nikolikj, V. and Janevski, T. (2014). "A Cost Modeling of High-Capacity LTE-Advanced and IEEE 802.11ac based Heterogeneous Networks, Deployed in the 700 MHz, 2.6 GHz and 5 GHz Bands," *Procedia Computer Science* 40 (2014) 49-56.

⁹⁰ Una contribución adicional podría incluir un servicio similar a Wi-Fi que opero dentro de los canales AFC.

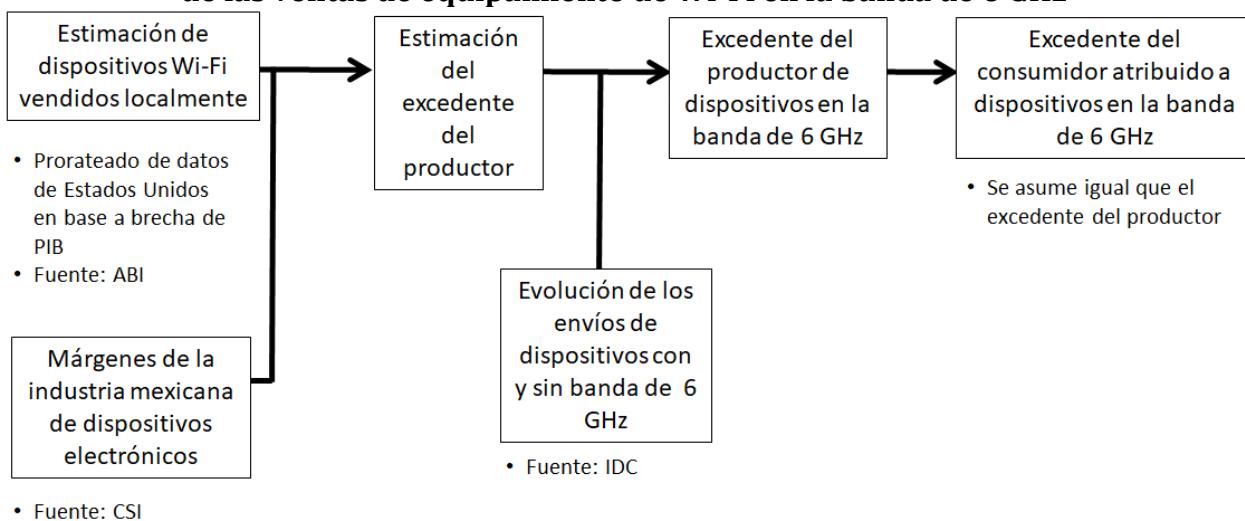
13. PRODUCCIÓN Y ADOPCIÓN DE EQUIPAMIENTO DE WI-FI

La diferencia entre los precios de mercado y los costos de fabricación local de los productos habilitados para Wi-Fi representa el margen del fabricante y, en consecuencia, el excedente del productor. Se asume, siguiendo a Milgrom et al. (2011), que el excedente del consumidor es aproximadamente igual al excedente del productor, con la diferencia que para el excedente del consumidor consideramos únicamente los dispositivos que se consumen en México y para el excedente del productor los productos que se fabrican en México. Como se detalló anteriormente en el capítulo 3, identificamos siete productos de consumo que están intrínsecamente vinculados a Wi-Fi 6: dispositivos y sistemas inteligentes para el hogar, como altavoces y sistemas de seguridad para el hogar, sistemas de redes para el hogar, tabletas Wi-Fi, puntos de acceso, adaptadores, enruteadores y puertas de enlace.

13.1 Aumento del excedente de consumidores por equipamiento de Wi-Fi en la banda de 6 GHz

La estimación del valor económico en este caso comienza compilando las ventas de los fabricantes globales para cada categoría de producto en México. Esto se ha hecho interpolando datos de los mercados de Estados Unidos y el mundo, y asumiendo un nivel para México de acuerdo con la participación del PIB correspondiente. Sobre esta base, aplicamos el margen prorrataido estimado por los mercados de CSI que arroja un excedente del productor estimado para estos productos en particular del 39.44%. Como se mencionó anteriormente, se supone que el excedente del consumidor es de la misma magnitud. Como este análisis se realiza para el mercado total de dispositivos Wi-Fi, para diferenciar el valor correspondiente a la banda de 6 GHz, del valor que corresponde a las otras bandas de uso de Wi-Fi, seguimos las previsiones proporcionadas por IDC sobre la evolución de los envíos de dispositivos de consumo 802.11ax para la banda de 6 GHz (Ver Figura 13-1).

Figura 13-1. Metodología para estimar el excedente del consumidor como resultado de las ventas de equipamiento de Wi-Fi en la banda de 6 GHz



Fuente: Telecom Advisory Services

En base a la metodología presentada es posible estimar el excedente del consumidor en México generado por la venta de dispositivos Wi-Fi en la banda de 6 GHz entre el 2021 y el 2030. Para tal fin en primer lugar se procede a estimar el excedente del productor generado por dispositivos Wi-Fi por bandas diferentes a las de 6 GHz (ver cuadro 13-1)

Cuadro 13-1. Excedente del productor como resultado de las ventas de Equipamiento de Wi-Fi de dispositivos fuera de la banda de 6 GHz en México (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Altavoces inalámbricos	\$3,440	\$3,562	\$3,688							
(2) Sistemas de seguridad en el hogar	\$245	\$240	\$235							
(3) Dispositivos domésticos	\$323	\$346	\$370							
(4) Puntos de acceso	\$164	\$160	\$160							
(5) Adaptadores externos	\$4	\$4	\$3							
(6) Enrutadores	\$90	\$88	\$88							
(7) Gateways	\$90	\$88	\$88							
(8) Margen del productor	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%
(9) Excedente del productor (US\$ millones)	\$1,718	\$1,770	\$1,827	\$1,805	\$1,749	\$1,635	\$1,440	\$1,135	\$677	\$10

Fuente: ABI; CSI; análisis Telecom Advisory Services.

Luego, para estimar las ventas atribuibles a la banda de 6 GHz del valor que corresponde a las otras bandas de uso de Wi-Fi, seguiremos las previsiones proporcionadas por IDC sobre la evolución de los envíos de dispositivos de consumo 802.11ax para la banda de 6 GHz. Así es como al excedente del productor del equipamiento fuera de la banda de 6 GHz estimada en el cuadro 13-1, se le aplica la relación entre ventas globales en banda de 6 GHz/ventas globales sin banda de 6GHz, para calcular el excedente del consumidor (ver cuadro 13-2).

Cuadro 13-2. Excedente del consumidor como resultado de las ventas de Equipamiento de Wi-Fi de dispositivos en la banda de 6 GHz (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Excedente del productor (US\$ millones)	\$1,718	\$1,770	\$1,827	\$1,805	\$1,749	\$1,635	\$1,440	\$1,135	\$677	\$10
(2) Relación envíos globales en banda de 6 GHz/sin banda de 6 GHz	4%	9%	19%	29%	40%	58%	90%	154%	349%	31321%
(3) Excedente del consumidor (US\$ millones)	\$65	\$156	\$340	\$521	\$705	\$953	\$1,290	\$1,746	\$2,362	\$3,196

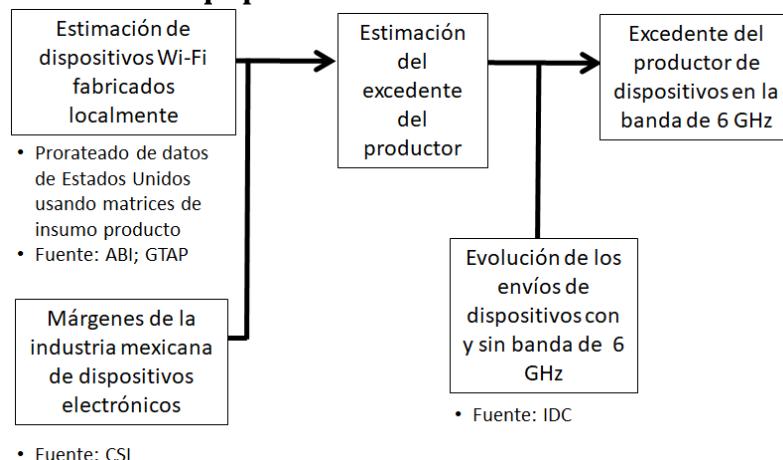
Fuente: ABI; CSI; IDC; análisis Telecom Advisory Services.

El impacto total acumulado del excedente del consumidor entre 2021-2030 por este efecto asciende a US\$ 11.33 mil millones.

13.2 Aumento del excedente de productores por Equipamiento de Wi-Fi en la banda de 6 GHz

La estimación del valor económico comienza compilando las ventas de los fabricantes globales para cada categoría de producto en México. En este caso, se busca estimar la producción local en lugar de las ventas como se hizo en la sección previa. Para tal fin se interpolan datos del mercado de Estados Unidos, y asumiendo una brecha de producción entre ambos países en base a lo que indica la brecha de producción de productos electrónicos de la comparación de las matrices de Insumo/Producto de ambos países. A partir de ello, aplicamos el margen prorrataido estimado por los mercados de CSI que arroja un excedente del productor estimado para estos productos en particular del 39.44%. Como este análisis se realiza para el mercado total de dispositivos Wi-Fi, para diferenciar el valor correspondiente a la banda de 6 GHz, del valor que corresponde a las otras bandas de uso de Wi-Fi, seguiremos las previsiones proporcionadas por IDC sobre la evolución de las ventas de dispositivos de consumo 802.11ax para la banda de 6 GHz (Ver Figura 13-2).

Figura 13-2. Metodología para estimar el excedente del productor como resultado de las ventas de Equipamiento de Wi-Fi en la banda de 6 GHz



Fuente: *Telecom Advisory Services*

En base a la metodología presentada es posible estimar el excedente del productor en México generado por la venta de dispositivos Wi-Fi en la banda de 6 GHz entre el 2021 y el 2030. Para tal fin en primer lugar se procede a estimar el excedente del productor generado por dispositivos Wi-Fi por bandas diferentes a las de 6 GHz (ver cuadro 13-3)

Cuadro 13-3. Excedente del productor como resultado de las ventas de Equipamiento de Wi-Fi de dispositivos fabricados en México fuera de la banda de 6 GHz (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Altavoces inalámbricos	\$6,149	\$6,367	\$6,592							
(2) Sistemas de seguridad en el hogar	\$437	\$429	\$420							
(3) Dispositivos domésticos	\$578	\$619	\$662							
(4) Puntos de acceso	\$0	\$0	\$0							
(5) Adaptadores externos	\$0	\$0	\$0							
(6) Enrutadores	\$0	\$0	\$0							
(7) Gateways	\$0	\$0	\$0							
(8) Margen del productor	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%	39.44%
(9) Excedente del productor (US\$ millones)	\$2,826	\$2,924	\$3,027	\$2,989	\$2,896	\$2,708	\$2,386	\$1,880	\$1,122	\$17

Fuente: ABI; CSI; análisis Telecom Advisory Services.

Luego, para estimar las ventas atribuibles a la banda de 6 GHz del valor que corresponde a las otras bandas de uso de Wi-Fi, nos basamos en las previsiones proporcionadas por IDC sobre la evolución de los envíos de dispositivos de consumo 802.11ax para la banda de 6 GHz. Así es como al excedente del productor del equipamiento fuera de la banda de 6 GHz estimada en el cuadro 13-3, se la aplica la relación entre envíos globales en banda de 6 GHz/envíos globales sin banda de 6GHz, para llegar al excedente del productor (ver cuadro 13-4).

Cuadro 13-4. Excedente del productor como resultado de las ventas de Equipamiento de Wi-Fi de dispositivos en la banda de 6 GHz fabricados en México (2021-2030)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) Excedente del productor (US\$ millones)	\$2,826	\$2,924	\$3,027	\$2,989	\$2,896	\$2,708	\$2,386	\$1,880	\$1,122	\$17
(2) Relación envíos globales en banda de 6 GHz/sin banda de 6 GHz	4%	9%	19%	29%	40%	58%	90%	154%	349%	31321%
(3) Excedente del consumidor (US\$ millones)	\$106	\$258	\$563	\$863	\$1,167	\$1,579	\$2,137	\$2,891	\$3,912	\$5,294

Fuente: ABI; CSI; IDC; análisis Telecom Advisory Services.

El impacto total acumulado del excedente del productor entre 2021-2030 por este efecto asciende a US\$ 18.77 mil millones.

14. CONCLUSIÓN

Al consolidar los resultados de los diferentes análisis, se concluye que la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado en México generará un valor acumulado entre 2021 y 2030 equivalente a US\$ 150.27 mil millones, distribuido entre US\$ 71.96 en contribución al PIB, US\$ 56.18 en excedente del productor (lo que incluye márgenes para proveedores de tecnología mexicanos, ahorro en gastos de telecomunicaciones para empresas, y ahorro en la inversión de capital de operadores celulares), y US\$ 22.13 en excedente del consumidor (beneficios para consumidores en términos de bajo costo por Mbps y velocidades de banda ancha más elevadas) (ver cuadro 13-1).

Cuadro 13-1. México: valor económico de la designación de la banda de 6 GHz para uso no licenciado (2021-2030) (en mil millones US\$)

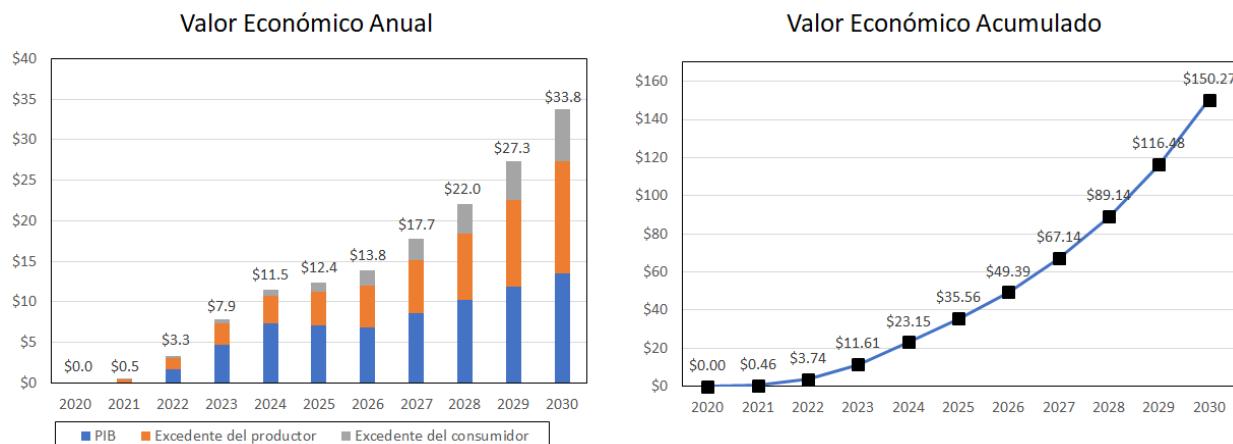
Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
Aumento de la cobertura y mejoramiento de la asequibilidad	Mejoramiento de la asequibilidad asociada con la provisión de servicio de banda ancha y aumento de la capacidad de compartición de líneas en el sector de WISP \$ 4.71		Aumento de velocidad a abonados de WISP \$ 0.06
Aumento de la velocidad de banda ancha mediante la reducción de la congestión de Wi-Fi	Beneficio resultado de la eliminación de cuellos de botellas en conexiones de alta velocidad a partir del aumento de velocidad de Wi-Fi \$ 17.48		Excedente del consumidor resultado del aumento de velocidad de la banda ancha \$ 6.86
Despliegue amplio de Internet de las Cosas	Derrame económico del Internet de las Cosas resultado de su despliegue en sectores de la economía mexicana (p.e., automovilista, alimenticia, logística, etc.) \$ 13.76	Márgenes de empresas del ecosistema (hardware, software y servicios) involucradas en el despliegue de IoT \$ 16.64	
Reducción de los costos de telecomunicaciones inalámbricas de empresas		Reducción de costos de empresas en el uso de telecomunicaciones inalámbricas \$ 11.10	
Despliegue de soluciones de AR/VR	Derrame económico resultado del despliegue de AR/VR en la economía mexicana \$ 10.04	Márgenes de empresas del ecosistema relacionado con la industria de AR/VR \$ 7.51	
Despliegue de Wi-Fi municipal	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha		Excedente del consumidor derivado del acceso a

Fuentes de Valor	Contribución al PIB	Excedente del Productor	Excedente del Consumidor
	\$ 5.26		banda ancha a mas alta velocidad \$ 0.98
Despliegue de puntos de acceso de Wi-Fi gratuitos	Aumento del PIB como resultado de incremento en la adopción de banda ancha \$ 20.71		Excedente del consumidor derivado del acceso a banda ancha a más alta velocidad \$ 2.90
Alineamiento de la designación de espectro con las decisiones de otros países		Beneficio relacionado con las economías de escala resultantes del alineamiento de México con otras naciones avanzadas (p.e., estados Unidos y Corea del Sur) \$ 0.47	
Aumento de la capacidad de enrutamiento de tráfico celular		Reducción de la inversión de capital como resultado del enrutamiento de tráfico celular a puntos de acceso Wi-Fi \$ 1.69	
Equipamiento de Wi-Fi		Márgenes de empresas por la producción de equipamiento Wi-Fi \$ 18.77	Excedente del consumidor resultado del uso del equipamiento Wi-Fi \$ 11.33
TOTAL	\$ 71.96	\$ 56.18	\$ 22.13

Fuente: análisis Telecom Advisory Services

El valor económico por año aumenta en el tiempo con un aceleramiento significativo hacia el final del periodo considerado debido a la capacidad de apalancamiento de la banda de 6 GHz (ver gráfico C).

Gráfico C. México: Valor Económico de la designación 1200 MHz en la banda de 6 GHz



Fuente: análisis Telecom Advisory Services

BIBLIOGRAFÍA

ABI Research, *Augmented and Mixed Reality Market Data: devices, use cases, verticals and value chain*. MD-ARMR-103, QTR 4 2019

ABI Research, *Virtual Reality Market Data: devices, verticals, and value chain*. MD-VR-108, QTR 1 2020

ABRINT (2018). *Plano de modernização e expansão de acessos com implantação de redes FTTH*

ANATEL. *Plano de Dados Abertos da Anatel*, available at:
<https://www.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa>

Benkler, Y. (2012). "Open wireless vs. licensed spectrum: evidence from market adoption". *Harvard Journal of Law & Technology*. Volume 26, Number 1 fall 2012

Blackman, J. (2020). "UK to release 6 GHz and 100 GHz spectrum for Wi-Fi in smart homes, offices, factories". *Enterprise IoT insights* (January, 27).

BNDES (2017). Estudo Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil.

Bohlin, E. and Rohman, I. (2012). *Does Broadband Speed Really Matter for Driving Economic Growth? Investigating OECD Countries?* Available at SSRN:
<http://ssrn.com/abstract=2034284> or [http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2034284.](http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2034284), 2013

Calabrese, M. (2013). *Solving the "Spectrum Crunch": Unlicensed Spectrum on a High-Fiber Diet*. Washington, DC: Time Warner Cable Research program on Digital Communications.

Carew, D., Martin, N., Blumenthal, M., Armour, P., and Lastunen, J. (2018). The potential economic value of unlicensed spectrum in the 5.9 GHz Frequency band: insights for allocation policy. RAND Corporation (Rand study).

Carter, K. (2006) "Policy Lessons From Personal Communications Services: Licensed Vs. Unlicensed Spectrum Access," *CommLaw Conspectus* 93

CGI.br/NIC.br, Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), *Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros - TIC Domicílios 2019*

Cisco (2017). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile data Traffic Forecast Update, 2016- 2021*. Retrieved from <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.

Coleago Consulting (2020). *The 6 GHz opportunity for IMT: 5G area traffic demand vs. area traffic capacity supply*. London, August 1.

CSI Market Inc : *Industry Profitability ratios*;

CompTIA (2016). *Sizing up the Internet of Things*.

Cooper, M. (2011). *The consumer benefits of expanding shared used of unlicensed radio spectrum: Liberating Long-Term Spectrum Policy from Short-Term Thinking*. Washington DC: Consumer Federation of America.

Crawford, S. (2011). *The FFC's job and unlicensed spectrum – Waldman report*. Statement to the FCC.

Ebbecke, Ph. (2019). *Road to 6 GHz in Europe*. Presentation to WLPC Prague 2019

Ford, G. (2018). *Is Faster Better? Quantifying the Relationship between Broadband Speed and Economic Growth*. Phoenix Center Policy Bulletin No. 44.

Frontier Economics (2018). *The economic impact of IoT: putting numbers on a revolutionary technology*

Frost & Sullivan (2021). *Industrial Internet of Things (IoT) revenue in Brazil (2016-2021)*.

Grimes, A., Ren, C., and Stevens, P. (2009). *The need for speed: Impacts of Internet Connectivity on Firm Productivity*. MOTU Working Paper 09-15.

Hausman, J. (1997). *Valuing the Effect of Regulation on New Services in Telecommunications*. Brookings Papers on Economic Activity, Economic Studies Program, 28(1997-1), pp. 1- 54.

Hazlett, T. (2005). "Spectrum Tragedies - Avoiding a Tragedy of the Telecommons: Finding the Right Property Rights Regime for Telecommunications" 22 *Yale Journal on Regulation*

Hetting, C. (2019). "Europe's process to release 6 GHz spectrum to Wi-Fi on track, expert says", *Wi-Fi Now* (June, 2).

Hetting, C. (2020). "South Korea could become Asia's first 6 GHz nation". *Wi-Fi News* (June, 27).

IBGE, *Pesquisa de Informações Básicas Municipais* - 2014 data

Katz, R. (2014a). *Assessment of the economic value of unlicensed spectrum in the United States*. New York: Telecom Advisory Services. Retrieved from: wififoward.org/resources

Katz, R. (2014b). *Assessment of the future economic value of unlicensed spectrum in the United States*. New York: Telecom Advisory Services. Retrieved from: wififoward.org/resources

Katz, R. (2018). *A 2017 assessment of the current and future economic value of unlicensed spectrum*. Washington, DC: Wi-Fi Forward. Retrieved from: wififoward.org/resources

Katz, R. and Callorda, F. (2018). *The economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation: Econometric modelling for the Americas*. Geneva: International Telecommunication Union. Retrieved from: <http://handle.itu.int/11.1002/pub/81377c7f-en>

Katz, R. (2018). *The global economic value of Wi-Fi 2018-2023*. New York: Telecom Advisory Services. Retrieved from: wififoward.org

Katz, R. (2020). *Assessing the economic value of unlicensed use in the 5.9 GHz and 6 GHz bands*. Washington, DC: Wi-Fi Forward. Retrieved from: wififoward.org/resources

Kongaut, Chatchai; Bohlin, Erik (2014). *Impact of broadband speed on economic outputs: An empirical study of OECD countries*, 25th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS), Brussels, Belgium, 22-25 June 2014,

Liu, Y-H; Prince, J., and Wallsten, J. (2018). *Distinguishing bandwidth and latency in households' willingness-to-pay for broadband internet speed*.

Mack-Smith, D. (2006). *Next Generation Broadband in Scotland*. Edinburgh: SQW Limited).

Marcus, S. and Burns, J. (2013). *Study on Impact of Traffic off-loading and related technological trends on the demand for wireless broadband spectrum: a study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology*. Brussels: European Union

Milgrom, P., Levin, J., & Eilat, A. (2011). *The case for unlicensed spectrum*. Stanford Institute for Economic Policy Research Discussion paper No. 10-036, p. 2. Retrieved from <https://web.stanford.edu/~jdlevin/Papers/UnlicensedSpectrum.pdf>.

Nevo, A., Turner, J., and Williams, J. (Mar. 2016). "Usage-based pricing and demand for residential broadband", *Econometrica*, vol. 84, No.2, p. 441-443.

Oughton and Frias (2017). *Exploring the cost, coverage and rollout implications of 5G in Britain*

PWC (2019). *Seeing is believing: how virtual reality and augmented reality are transforming business and the economy*

Rosston, G., Savage, S. and Waldman, D. (2010), *Household demand for broadband internet service*. Available at
http://siepr.stanford.edu/system/files/shared/Household_demand_for_broadband.pdf.

Stevenson, C. et al. (2009). "IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard," *Communications Magazine IEEE* 47 (1): 131.

Suarez, M. (2020). *Unlicensed spectrum access in the 6 GHz band. Presentation to ANATEL*

Thanki, R. (2009). *The economic value generated by current and future allocations of unlicensed spectrum*. United Kingdom: Perspective Associates

Thanki, R. (2012). *The Economic Significance of License- Exempt Spectrum to the Future of the Internet*. London

Yonhap (2020). "Unlicensed frequency band to boost Wi-Fi speed, smart factory penetration: ministry", *The Korea Herald*, (June, 27).

WISPA (2020). *Letter to the FCC Commissioners* (March 5).