

A large, abstract graphic on the left side of the slide consists of two overlapping, thick, curved bands. One band is a vibrant green, and the other is a lighter, lime-green color, creating a dynamic, circular shape.

Recomendaciones sobre el uso del espectro radioeléctrico para la provisión de acceso inalámbrico con fines de uso social

El presente documento fue elaborado por la Unidad de Espectro Radioeléctrico del Instituto Federal de Telecomunicaciones con la finalidad de brindar información respecto a las posibles alternativas de uso del espectro radioeléctrico para la provisión de acceso inalámbrico con fines de uso social.

Estas recomendaciones reflejan una opinión de ésta Unidad, por lo que en ningún caso lo establecido en éste prejuzga la opinión del Pleno del Instituto sobre el particular, ni prejuzga sobre las determinaciones futuras que se establezcan con relación a este tema.

Contenido

LISTA DE IMÁGENES.....	4
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO.....	8
CONCEPTOS BÁSICOS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....	9
MARCO NORMATIVO	13
REGULACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN MÉXICO.....	13
CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.....	17
PROGRAMAS ANUALES DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS.....	18
ENTORNO INTERNACIONAL Y ORGANISMOS RELACIONADOS CON EL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	21
ASPECTOS RELACIONADOS CON EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN MÉXICO.....	24
USOS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	26
BANDAS DE FRECUENCIAS CLASIFICADAS COMO ESPECTRO DETERMINADO.....	26
BANDAS DE FRECUENCIAS CLASIFICADAS COMO ESPECTRO LIBRE	31
SOLUCIONES COMPLEMENTARIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA USO SOCIAL	33
RECOMENDACIONES.....	36
CONCLUSIÓN.....	48
ANEXO – PROYECTOS E INICIATIVAS.....	49
INICIATIVAS DE BANDA ANCHA IMPLEMENTADAS POR DIVERSOS PAÍSES	49
OTROS PROYECTOS IMPLEMENTADOS A NIVEL GLOBAL.....	54
FUENTES CONSULTADAS.....	58

Lista de imágenes

Imagen 1 Ejemplo de ondas.	9
Imagen 2 Ejemplo de ondas.	10
Imagen 3 Ejemplo de espectro radioeléctrico.	11
Imagen 4 Ejemplo de administración del espectro radioeléctrico.	12
Imagen 5 Bandas de PABF por año para servicios de telecomunicaciones.	19
Imagen 6 Procedimiento para la inclusión de bandas de frecuencias en el PABF.	20
Imagen 7 Bandas de frecuencias para radioenlaces del servicio fijo.	26
Imagen 8 Bandas de frecuencias para radioenlaces del servicio fijo mediante la provisión de capacidad.	27
Imagen 9 Bandas de frecuencias para acceso inalámbrico.	28
Imagen 10 Sistema Satelital.	30
Imagen 11 Bandas de frecuencias para comunicación satelital del servicio fijo por satélite.	31
Imagen 12 Bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre para radioenlaces del servicio fijo.	32
Imagen 13 Bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre para acceso inalámbrico.	33
Imagen 14 Alternativas de uso del espectro eléctrico.	36
Imagen 15 Red de Transporte.	37
Imagen 16 Red de Acceso.	38
Imagen 17 Escenario 1.	40
Imagen 18 Escenario 2.	41
Imagen 19 Escenario 3.	42
Imagen 20 Escenario 4.	43
Imagen 21 Escenario 5.	44
Imagen 22 Escenario 6.	45
Imagen 23 Escenario 7.	46
Imagen 24 Escenario 8.	47
Imagen 25 Metas del Plan Nacional de Banda Larga – ANATEL.	50
Imagen 26 Comunidades First Nations - Canadá.	51
Imagen 27 Proyecto TV White Spaces - Jamaica.	53
Imagen 28 Diagrama de red.	55
Imagen 29 Ejemplo de logros de la red GIGA Story46.	55
Imagen 30 Proyecto Loon.	56
Imagen 31 Ecosistema Li-Fi de Pure Li-Fi.	57

Acrónimos y Abreviaturas

ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicaciones (del portugués <i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>)
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
CPE	Equipo local del cliente (del inglés <i>Customer Premises Equipment</i>)
CTER	Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico
DOF	Diario Oficial de la Federación
EEUU	Estados Unidos de América
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones (del inglés <i>Federal Communications Commission</i>)
GSM	Sistema Global para las comunicaciones Móviles (del inglés <i>Global System for Mobile communications</i>)
HAPS	Estaciones en Plataformas a Gran Altitud (del inglés <i>High-Altitude Platform Systems</i>)
IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales (del inglés <i>International Mobile Telecommunications</i>)
Instituto	Instituto Federal de Telecomunicaciones
Mbps	Megabits por segundo
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PABF	Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Frecuencias
TIC	Tecnologías de la información y de la comunicación
UER	Unidad de Espectro Radioeléctrico
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
Wi-Fi	Wireless Fidelity

Introducción

En la actualidad es muy importante contar con acceso a servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, ya que estos representan una eficiente herramienta para acceder a las TIC y coadyuvan en la reducción de la brecha digital; la cual, de conformidad con la publicación "*Understanding the Digital Divide*"¹ de la OCDE, puede entenderse como la brecha entre individuos, hogares, negocios y áreas geográficas en diferentes niveles socioeconómicos respecto de las oportunidades de acceso a las TIC y al uso de Internet para una amplia variedad de actividades.

Es por ello que el Instituto está realizando diversas acciones para promover la proliferación de servicios de telecomunicaciones y radiodifusión que contribuyan a la disminución de la brecha digital en nuestro país, así como el desarrollo de estrategias que faciliten la comunicación con fines sociales en diversas poblaciones del país. Algunos ejemplos de lo anterior lo constituyen las concesiones de radiodifusión para uso social que se han otorgado en los últimos años y con las que se fomenta la difusión cultural de dichas poblaciones, así como las concesiones de uso social de telecomunicaciones otorgadas a asociaciones civiles para la provisión del servicio de acceso inalámbrico.

Es importante recordar que las actividades relacionadas con la adecuada administración y gestión del espectro radioeléctrico cuentan con una enorme incidencia en los aspectos sociales y económicos de nuestro país y también constituyen un componente fundamental para el desarrollo competitivo de la nación a nivel mundial. Asimismo, la proliferación de sistemas de radiocomunicaciones de acceso inalámbrico en el mundo ha provocado un apresurado desarrollo tecnológico en este tipo de ecosistemas, lo cual, a su vez, ha generado un crecimiento exponencial en la disponibilidad de equipos, volumen de tráfico que se transporta en las redes y, por tanto, una necesidad de confiabilidad en la comunicación y rapidez en la respuesta.

Otro factor muy importante a considerar tiene que ver con la incidencia del uso, aprovechamiento y explotación eficientes del espectro radioeléctrico en el ámbito social, cultural y económico del país. El impacto social que se produce al conectar un mayor número de personas se podría reflejar en la extensión del potencial para ayudar a abatir la pobreza en comunidades rurales e indígenas del país; en consecuencia, se alcanzaría un mayor bienestar económico y una mejor calidad de vida. La inclusión de toda la sociedad mexicana a los ecosistemas digitales también aportaría en el incremento de la alfabetización de la población, promovería su participación activa en los asuntos inherentes a sus comunidades y complementaría la provisión de servicios primarios como la salud y la educación, así como la prevención de desastres naturales.

¹ Disponible para consulta en: <https://www.oecd.org/sti/1888451.pdf>

El Instituto realiza una serie de acciones de forma permanente orientadas, por un lado, a habilitar mayores cantidades de espectro radioeléctrico que puedan ser puestas a disposición para diversos fines sociales, culturales, científicos, educativos, comerciales etc., a la vez que proporciona información relevante respecto del uso del espectro en México. En este sentido, el presente documento busca contribuir con las acciones antes citadas, facilitando información relevante para el público en general sobre diferentes alternativas en cuanto al uso del espectro radioeléctrico para la provisión de servicios de acceso inalámbrico, particularmente para fines de uso social en el país.

Objetivo

El objetivo primordial de este reporte especial es proporcionar algunas recomendaciones sobre el uso del espectro radioeléctrico que incentiven la provisión de servicios de acceso inalámbrico con fines de uso social. Se pretende que estas recomendaciones sirvan como guía para aquellos interesados en prestar servicios de telecomunicaciones sin fines de lucro a sus comunidades utilizando espectro radioeléctrico. Este documento contiene información básica respecto del uso del espectro radioeléctrico en nuestro país para servicios de acceso inalámbrico, el contexto regulatorio existente, la normativa asociada a concesiones de telecomunicaciones para uso social, algunos escenarios para la implementación de servicios de acceso inalámbrico por medio de distintas modalidades de uso del espectro radioeléctrico, así como algunos proyectos que se han llevado a cabo en el entorno internacional relacionados con el servicio de acceso inalámbrico en zonas de difícil acceso.

La UER considera que la información contenida en el presente documento constituye un insumo que puede ser aprovechado para promover la provisión de servicios de acceso inalámbrico para fines sociales en México, en beneficio de la conectividad y de la provisión de servicios de acceso a Internet en zonas de difícil acceso del país, lo cual contribuye a mejorar la calidad de vida de la población mexicana.

Finalmente, cabe señalar que el presente reporte especial se encuentra inscrito en el Programa Anual de Trabajo del Instituto para el año 2020, con el objetivo de poner esta información a disposición del público en general y/o de cualquier persona interesada en la materia.

Conceptos básicos del espectro radioeléctrico

En esta sección se presentan conceptos básicos para un mejor entendimiento del espectro radioeléctrico y se explican algunos términos de índole técnico utilizados durante el desarrollo del presente documento que serán de suma importancia para el planteamiento, diseño, implementación y operación de cualquier proyecto que persiga el fin de proporcionar servicios de acceso inalámbrico de banda ancha para fines sociales.

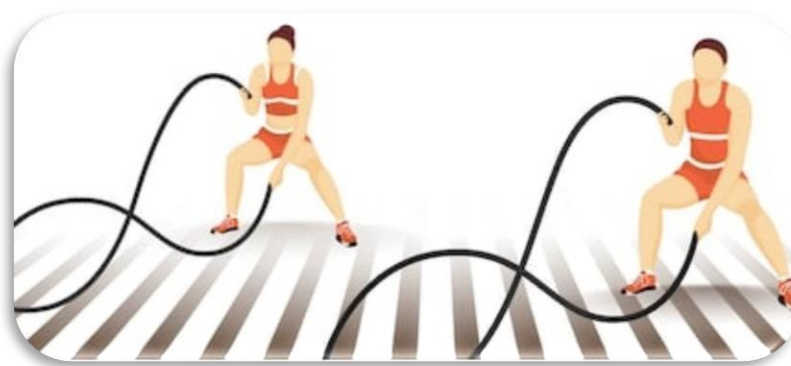
Uno de los conceptos principales son las ondas radioeléctricas, las cuales no se pueden ver, pero son necesarias para el funcionamiento de los sistemas de radiocomunicaciones, es decir, dispositivos y equipos que se comunican de forma inalámbrica (como radios, televisores, teléfonos inalámbricos, celulares, tabletas, satélites, etc.). Estas ondas se transmiten a través del aire o del espacio y se propagan con mayor o menor facilidad dependiendo de distintos factores que incluyen, entre otros, las condiciones atmosféricas y el tipo de superficie terrestre por la que viajan.

Con el objeto de poder entender con mayor claridad cómo se forman y cómo funcionan las ondas radioeléctricas, podemos tomar como ejemplo el movimiento del agua cuando cae una gota en una pileta o una cubeta con agua; si observamos cuidadosamente, podemos ver que alrededor del lugar donde cayó la gota se forman círculos que se expanden y eventualmente desaparecen (ver Imagen 1).



*Imagen 1 Ejemplo de ondas.
Fuente: Elaboración propia.*

Si bien existen diferentes tipos de ondas, las ondas radioeléctricas son las que nos permiten establecer servicios de telecomunicaciones, pues éstas tienen la característica de transportar energía eléctrica y magnética a través del aire y del espacio. Un ejemplo que ayudará a entender de mejor manera el principio de las ondas radioeléctricas, consiste en una cuerda que sostienen dos personas (una a cada extremo de la cuerda). Una de ellas realiza movimientos con la cuerda de arriba hacia abajo de forma continua; con estos movimientos, se forman ondas de diversos tamaños de acuerdo a la fuerza y la velocidad que se utilizaron para mover la cuerda en uno de los extremos. Usualmente, una onda se representa con base en la frecuencia y la energía que se le aplica; para el caso del ejemplo anterior, la frecuencia, que normalmente se representa en Hertz (Hz) o ciclos por segundo, se relaciona con la velocidad con la que se mueve la cuerda de arriba hacia abajo, y la energía, que normalmente se representa en Watts (W), se relaciona con la fuerza con la que se mueve la cuerda (Ver Imagen 2).

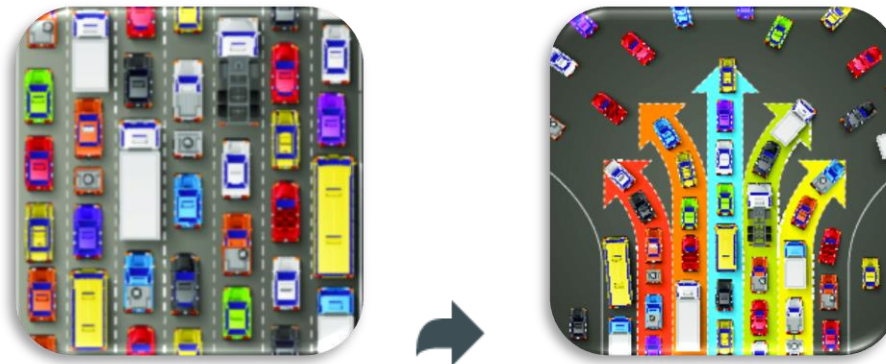


*Imagen 2 Ejemplo de ondas.
Fuente: Elaboración propia.*

Existe la posibilidad de representar una gran variedad de ondas radioeléctricas mediante una escala de frecuencias denominada **espectro radioeléctrico**, el cual puede ser utilizado para diversos fines de telecomunicación como las transmisiones de radio y televisión, la telefonía celular, los juguetes a control remoto, las comunicaciones inalámbricas de las computadoras portátiles, los controles remotos de puertas automáticas, los drones, etc.

El **espectro radioeléctrico**, que es un recurso finito, puede ser utilizado para transmitir y recibir cualquier tipo de información, como voz, audio, imagen, video, datos, etc. El espectro radioeléctrico comprende desde 1 Hz hasta los tres billones de Hertz, también representado como 3,000,000,000,000 Hz o 3,000 gigahertz (GHz). Para un manejo más fácil en los valores de las frecuencias, que llegan ser muy grandes, se utilizan diferentes prefijos en múltiplos de mil (1,000); en donde el prefijo GHz equivale a 1,000 megahertz (MHz); el prefijo MHz equivale a 1,000 kilohertz (kHz), y el prefijo kHz equivale a 1,000 Hz.

Una idea para entender la forma en la que funciona el espectro radioeléctrico se proporciona a través del siguiente ejemplo: imaginemos un complejo vial compuesto por diversas carreteras en las cuales circula un gran número de vehículos que se dirigen a diversos destinos, en diferentes direcciones y que transportan un sinnúmero de objetos o personas. Para que los vehículos puedan llegar a su destino, es necesario que exista orden y coordinación a través de señalamientos viales, sentidos de circulación, semáforos, etc. Así, en el uso del espectro radioeléctrico también existe ese orden y coordinación pues está organizado de tal forma que pueda ser empleado para el envío y recepción de cualquier tipo de información en cualquier región geográfica sin que existan problemas de comunicación. Por esta razón, el espectro radioeléctrico se divide en diferentes secciones que se conocen como frecuencias y bandas de frecuencias. En nuestro ejemplo, las bandas de frecuencias serían las carreteras y las frecuencias serían los carriles que la componen (ver Imagen 3).



*Imagen 3 Ejemplo de espectro radioeléctrico.
Fuente: Elaboración propia.*

Ahora bien, para llevar a cabo un buen uso del espectro radioeléctrico, las diversas bandas de frecuencias o carreteras se habilitan para que puedan ser utilizadas por uno o más **servicios de radiocomunicaciones**. En los casos en los que se habilita el uso de una banda de frecuencias por dos o más servicios debe mantenerse el orden y la coordinación que se ha mencionado previamente; esto es, el uso de más de un servicio de radiocomunicación en la misma banda de frecuencias deberá darse bajo condiciones técnicas de coexistencia para que no existan problemas de funcionamiento entre estos. Tomando nuevamente nuestro ejemplo, los servicios de radiocomunicaciones serían los diferentes vehículos que circulan en las carreteras; sin embargo, algunas carreteras solo permiten autos compactos, mientras que otras sólo permiten transportes pesados, u otras solo están habilitadas con ciertas reglas de funcionamiento para bicicletas, motos, transporte público, etc.

Otro punto importante tiene que ver con la correcta administración y planificación del espectro radioeléctrico, dado que resultan fundamentales para que los sistemas de comunicación inalámbrica puedan funcionar adecuadamente y se utilicen de manera eficiente. En el caso de nuestro gran complejo vial, esto significa que cada vehículo deberá circular en un carril exclusivo para el destino y dirección que le corresponda con el objeto de evitar accidentes y que todos puedan llegar a su destino correctamente.

Para entender mejor el concepto de administración del espectro radioeléctrico, un ejemplo similar podría ser el de un estacionamiento, en donde se colocan diferentes tipos de vehículos que se utilizan para diversas actividades, por lo que algunos requerirán de un espacio más grande o pequeño de acuerdo al tamaño del vehículo y el tipo de uso para el que sea empleado (ver Imagen 4).

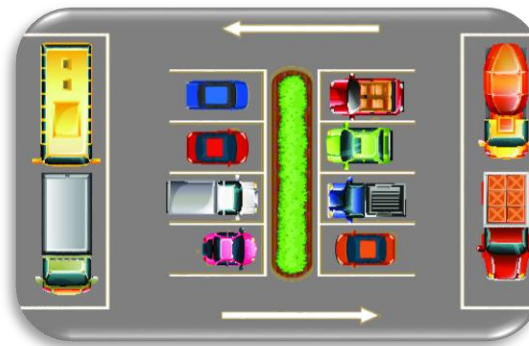


Imagen 4 Ejemplo de administración del espectro radioeléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Otro concepto importante es el de **banda ancha**, el cual, con base en el Artículo 3 fracción V de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión² (la Ley), se entiende como: “Acceso de alta capacidad que permite ofrecer diversos servicios convergentes a través de infraestructura de red fiable, con independencia de las tecnologías empleadas, cuyos parámetros serán actualizados por el Instituto periódicamente”. En otras palabras, banda ancha es la forma en la cual las personas se pueden conectar o comunicar entre sí, a través de redes de telecomunicaciones, utilizando Internet, video llamadas, mensajes de voz o de texto u otras aplicaciones.

Tomando en consideración estas descripciones y conceptos básicos, a continuación, revisaremos la información relativa a las leyes, normas, reglamentos e instrumentos que permiten hacer uso del espectro radioeléctrico dentro de lo establecido en el marco legal y las disposiciones aplicables a nivel nacional e internacional.

² Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61237/LFTR.pdf>

Marco Normativo

Con el objeto de conocer algunos aspectos del marco jurídico aplicable a nivel nacional e internacional para el uso del espectro radioeléctrico y la provisión de servicios de telecomunicaciones de carácter social, a continuación se describen cuestiones generales respecto de la regulación de nuestro país en materia de espectro radioeléctrico y el papel que desempeñan los organismos u organizaciones que se encargan de regular y/o determinar el uso del espectro radioeléctrico a nivel internacional.

Regulación del espectro radioeléctrico en México

El Instituto, en el ámbito de sus atribuciones, ha impulsado la ejecución de diversas acciones para establecer un marco regulatorio actualizado que contribuya a mejorar las condiciones en la que se prestan los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión a todos los mexicanos. Ello en cumplimiento a lo dispuesto por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos³ (La Constitución), que en su artículo 6o. indica que el Estado garantizará el derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicación, así como a los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluido el de banda ancha e Internet. La propia Constitución, en su artículo 28, establece que el Instituto tiene por objeto el desarrollo eficiente de la radiodifusión y las telecomunicaciones y para ello tiene a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, las redes y la prestación de los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones.

En tal virtud, el espectro radioeléctrico, al ser el espacio que permite la propagación de ondas electromagnéticas que se utilizan para la prestación de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, debe ser objeto de una administración apropiada. A este respecto, el artículo 54 de la Ley indica que la administración del espectro radioeléctrico y los recursos orbitales se ejercerán por el Instituto conforme a sus funciones según lo dispuesto por la Constitución, en la propia Ley, en los tratados y acuerdos internacionales firmados por México y, en lo aplicable, siguiendo las recomendaciones de la UIT⁴ y otros organismos internacionales.

³ Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_060320.pdf

⁴ La Unión Internacional de Telecomunicaciones es el organismo especializado de las Naciones Unidas (ONU) para las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que, como parte de sus actividades, facilita la conectividad internacional de las redes de comunicaciones, atribuye espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a nivel mundial, elabora normas técnicas de interconexión de redes y tecnologías y mejoran el acceso a las TIC.

En este sentido, como parte de la regulación del espectro radioeléctrico, la planificación de este recurso constituye una de las tareas más relevantes en materia de telecomunicaciones, toda vez que es el elemento primario e indispensable para las comunicaciones inalámbricas, por ende, de los servicios de acceso inalámbrico de banda ancha.

Por su parte, el artículo 55 de la Ley indica que las diferentes bandas de frecuencias podrán clasificarse de acuerdo con su utilización. Dicha clasificación se compone de espectro determinado, libre, protegido y reservado. Para el caso particular de este documento, nos centraremos en las clasificaciones de espectro determinado y libre.

En el primer caso, el espectro determinado está definido en el artículo 55 de la Ley como:

*“I. **Espectro determinado:** Son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias; a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público, definidas en el artículo 67;”⁵*

En este sentido, para hacer uso de espectro determinado se necesita una concesión para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, en términos del Capítulo III, del Título Cuarto de la Ley, la cual es otorgada por el Instituto (concesión de espectro). Todas aquellas personas físicas o morales poseedoras de este documento se les conoce como concesionarios y cuentan con el derecho de uso, aprovechamiento y explotación de espectro radioeléctrico, de conformidad con las condiciones establecidas en sus respectivas concesiones.

El artículo 76 de la Ley indica que los tipos de concesión sobre el espectro radioeléctrico pueden otorgarse para uso comercial, público, privado o social. Las concesiones para uso social resultan de particular interés para fines del presente documento y son aquellas que se otorgan con el fin de usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para prestar servicios de telecomunicaciones o radiodifusión con propósitos culturales, científicos, educativos o a la comunidad, sin fines de lucro, incluyendo entes o medios comunitarios e indígenas y las instituciones de educación superior de carácter privado. Expresamente el artículo 76 de la Ley define las concesiones de espectro para uso social de la siguiente forma:

⁵ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61237/LFTR.pdf>

“Artículo 76.

(...) **IV. Para uso social:** *Confiere el derecho de usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado o recursos orbitales para prestar servicios de telecomunicaciones o radiodifusión con propósitos culturales, científicos, educativos o a la comunidad, sin fines de lucro. Quedan comprendidos en esta categoría los medios comunitarios e indígenas referidos en el artículo 67, fracción IV, así como las instituciones de educación superior de carácter privado”⁶*

Ahora bien, es importante hacer un paréntesis para señalar que para prestar servicios públicos de telecomunicaciones y de radiodifusión, mediante espectro radioeléctrico de uso determinado, es necesario contar con una **concesión única** en términos de lo planteado en los Capítulos I y II, del Título Cuarto de la Ley, la cual permite la prestación de todo tipo de servicios públicos de telecomunicaciones y radiodifusión. En este sentido, el artículo 67 de la Ley indica que existen diversos tipos de concesión única: uso comercial, uso público, uso privado y uso social. Para fines del presente documento, nos centraremos en las concesiones únicas de uso social, las cuales, de acuerdo con lo estipulado en la fracción IV del mismo artículo 67, se definen como:

“IV. Para uso social: Confiere el derecho de prestar servicios de telecomunicaciones y radiodifusión con propósitos culturales, científicos, educativos o a la comunidad, sin fines de lucro. Quedan comprendidas en esta categoría las concesiones comunitarias y las indígenas; así como las que se otorguen a instituciones de educación superior de carácter privado.

Las concesiones para uso social comunitaria, se podrán otorgar a organizaciones de la sociedad civil que no persigan ni operen con fines de lucro y que estén constituidas bajo los principios de participación ciudadana directa, convivencia social, equidad, igualdad de género y pluralidad.

Las concesiones para uso social indígena, se podrán otorgar a los pueblos y comunidades indígenas del país de conformidad con los lineamientos que emita el Instituto y tendrán como fin la promoción, desarrollo y preservación de sus lenguas, su cultura, sus conocimientos promoviendo sus tradiciones, normas internas y bajo principios que respeten la igualdad de género, permitan la integración de mujeres indígenas en la participación de los objetivos para los que se solicita la concesión y demás elementos que constituyen las culturas e identidades indígenas.”⁷

⁶ Idem

⁷ Idem

Retomando lo relativo a la clasificación del espectro radioeléctrico, en el segundo caso, existen bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por los usuarios sin que sea necesario contar con una concesión. Para estos casos, se utilizan bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre, las cuales se encuentran definidas en el mismo artículo 55, fracción II de la Ley como:

*“II. **Espectro libre:** Son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el Instituto, sin necesidad de concesión o autorización;”⁸*

Las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre son utilizadas en los dispositivos que emplea el público en general para diferentes aplicaciones de comunicación inalámbrica y sobre las que no es necesario tener una concesión para el uso del espectro radioeléctrico (concesión de espectro).

En resumen, el espectro radioeléctrico, al ser un recurso finito, debe ser administrado en condiciones de eficiencia y eficacia para que se brinden los servicios de radiocomunicaciones a la población en las mejores condiciones posibles. Como parte de estas labores de administración, le corresponde al Instituto definir las bandas que pueden utilizarse de forma libre (espectro libre) y las que deben utilizarse a través de una concesión de espectro (espectro determinado). Es importante resaltar que, para prestar servicios públicos de telecomunicaciones, siempre es necesario contar con una concesión única (independientemente de utilizar espectro determinado o libre) y ésta deberá obtenerse con base en lo estipulado en la normativa vigente.

Finalmente, para el caso que nos ocupa hay que considerar que, derivado a la modificación a la Ley Federal de Derechos publicada en el DOF el 9 de diciembre del 2019, a partir del 1 de enero de 2020 aplica la modificación realizada al artículo 239 de dicha Ley, mismo que señala que:

“Artículo 239.

(...) Los concesionarios de espectro radioeléctrico para servicios de telecomunicaciones para uso social indígena que no tengan relación ni vínculos de tipo comercial, organizativo, económico o jurídico con concesionarios del espectro radioeléctrico para uso comercial que generen influencia

⁸ Idem

directa o indirecta en la administración u operación de la concesión, estarán exentos del pago de los derechos por el uso del espectro radioeléctrico previstos en el presente Capítulo. (...)”⁹

De manera similar, es importante tomar en consideración que los montos de pago para trámites relativos a la concesión única para uso social, se encuentran establecidos en el artículo 174-B, fracción II de la Ley Federal de Derechos; no obstante, cabe mencionar que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 174-L, fracción II de la misma Ley Federal de Derechos, sólo se pagará el 20% de las cuotas establecidas en las fracciones II y III del artículo 174-B.¹⁰

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

La administración del espectro radioeléctrico contempla la clasificación de las bandas de frecuencias para que éstas puedan ser utilizadas por uno o varios servicios de radiocomunicaciones en condiciones específicas. A esto se le conoce como atribución de bandas de frecuencias y se realiza por medio de un registro, que a nivel internacional, se hace en el Reglamento de Radiocomunicaciones¹¹ de la UIT¹² y, a nivel nacional, a través del CNAF¹³.

El CNAF es actualizado con base en las necesidades actuales o futuras de los diferentes servicios o aplicaciones de comunicación inalámbrica que puedan operar en una determinada banda de frecuencias en el país. Los artículos 15, fracción III y 56 de la Ley establecen que, para la adecuada planeación, administración y control del espectro radioeléctrico, le corresponde al Instituto elaborar, publicar y mantener actualizado el CNAF con base en el interés general.

Para ello, deberá considerar la evolución tecnológica en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, particularmente la reglamentación de la UIT en materia de radiocomunicaciones y las mejores prácticas internacionales, entre otras cosas. La última modificación al CNAF fue aprobada por el Pleno del Instituto y publicada en el DOF el 1 de octubre de 2018¹⁴. Adicionalmente, el Instituto ha puesto a disposición una página web de consulta del CNAF en la que se pueden realizar búsquedas o consultas específicas por frecuencia, bandas de frecuencias, servicio y atribución mundial o regional. Este aplicativo del CNAF puede ser consultado en: <http://cnaf.ift.org.mx/>.

⁹ Ley Federal de Derechos disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/107_281219.pdf

¹⁰ *Idem*

¹¹ Disponible para su consulta en: <https://www.itu.int/es/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2016&media=electronic>

¹² Más información disponible en: <https://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>

¹³ Disponible para su consulta en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/actualizacioncnaf2018.pdf#overlay-context=espectro-radioelectrico/normatividad>

¹⁴ Disponible para su consulta en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5539626&fecha=01/10/2018

Programas Anuales de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias

El artículo 59 de la Ley prevé un programa de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico en el que se deberán indicar las frecuencias o bandas de frecuencias de espectro radioeléctrico que serán objeto de licitación pública o que podrán asignarse directamente, mismo que el Instituto debe expedir a más tardar el treinta y uno de diciembre de cada año. A este instrumento se le conoce como Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias¹⁵.

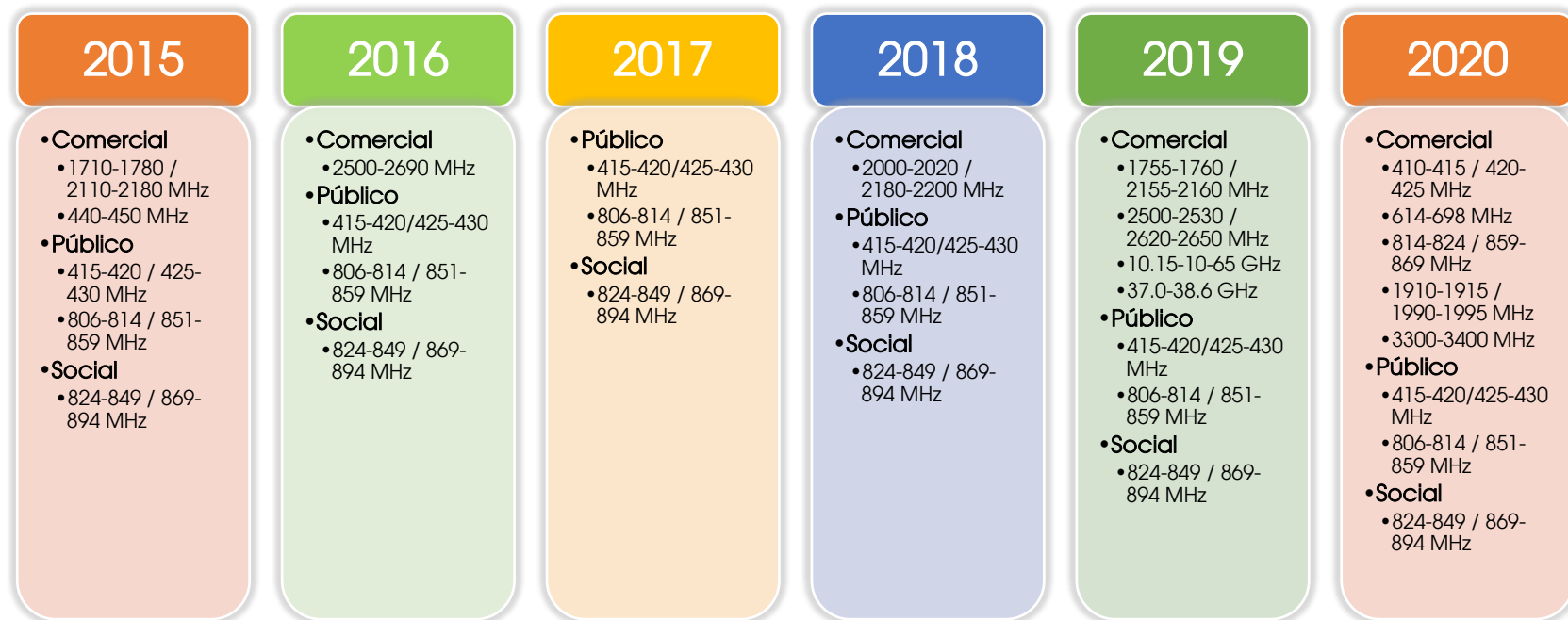
Derivado de lo anterior, a partir de la entrada en vigor de la Ley, el Instituto publica año con año el PABF y su modificación, la cual se encuentra prevista por el artículo 61 de la ley. Al día de hoy se han emitido seis PABFs y las modificaciones a dichos programas en los que se han incorporado año con año, bandas de frecuencias o canales de frecuencias que pudieran ser concesionados. Cabe señalar que sólo aquellas bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado en términos del artículo 55 fracción I de la Ley pueden ser objeto de inclusión en el PABF.

El PABF contiene, entre otros, los elementos siguientes:

1. Servicios que pueden prestarse a través de las frecuencias o bandas de frecuencias señaladas, ya sea para telecomunicaciones o radiodifusión.
2. Modalidad de uso (tipo de concesión) para la cual se prevén dichas frecuencias.
3. Servicio al que se destinan, como acceso inalámbrico, televisión digital terrestre (TDT), radiodifusión sonora en frecuencia modulada (FM), radiodifusión sonora en amplitud modulada (AM), entre otros.
4. Cobertura geográfica o población a servir.
5. Plazos para la presentación de solicitudes de concesión de canales y frecuencias para el servicio público de radiodifusión.

Por el tema de interés de este documento, en la Imagen 5 se presenta un resumen de las bandas de frecuencias correspondientes a servicios de telecomunicaciones incluidas en los diferentes PABFs que ha emitido el Instituto desde el 2015 hasta la fecha. El estado actual, la disponibilidad, las características y las condiciones de cada banda de frecuencias se incluye en las descripciones técnicas de cada PABF.

¹⁵ Programas Anuales de uso y aprovechamiento de Bandas de Frecuencias disponibles en: <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/politicas-y-programas>



*Imagen 5 Bandas de PABF por año para servicios de telecomunicaciones.
FUENTE: Elaboración propia con base en las publicaciones del PABF por año.*

Solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias en el PABF

Cualquier interesado en que una banda de frecuencias pueda ser considerada en el PABF, puede ingresar una solicitud de inclusión. El Instituto recibe las solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias, las cuales son valoradas para determinar las frecuencias que podrán incluirse en el PABF o en su modificación.

Cabe resaltar que las solicitudes de inclusión de bandas de frecuencias adicionales o distintas a las contempladas en el PABF que sean presentadas de manera posterior al plazo previsto en el artículo 61 de la Ley (30 días hábiles posteriores a la publicación inicial del PABF en el DOF), no son tomadas en cuenta para la modificación y son valoradas por el Instituto en la emisión del programa correspondiente al año siguiente. Las respuestas otorgadas a las solicitudes de inclusión presentadas se emiten en el Cuadro de Valoración correspondiente que se anexa al Acuerdo de emisión o modificación del PABF.

El procedimiento de inclusión de bandas de frecuencias en el PABF puede realizarse en forma directa en la Oficialía de Partes del Instituto, por correo electrónico al correo pabf@ift.org.mx o a través del formato disponible en la dirección electrónica <http://www.ift.org.mx/pabf>. Recomendamos utilizar la última alternativa, ya que el formato contiene toda la información necesaria para poder procesar adecuadamente las solicitudes. Para mayor referencia, en la Imagen 6 se describen los pasos a seguir para realizar dicho procedimiento de inclusión.



Imagen 6 Procedimiento para la inclusión de bandas de frecuencias en el PABF.

Fuente: Elaboración propia, con base en el procedimiento del PABF.

Es importante señalar que la solicitud de inclusión al PABF no representa en sí una solicitud de concesión al Instituto. En el caso de las concesiones de espectro radioeléctrico de uso social **para servicios de telecomunicaciones**¹⁶, las solicitudes de concesión se pueden presentar en cualquier día hábil, de conformidad con el calendario anual de labores del Instituto.

¹⁶ Aunque no es tema del presente documento, deseamos precisar que las solicitudes de concesión sobre espectro radioeléctrico para uso social para servicios de radiodifusión deberán ingresarse dentro de los plazos expresamente previstos para ello en el PABF correspondiente.

Entorno Internacional y Organismos relacionados con el uso del espectro radioeléctrico

Como parte de la administración y uso eficiente del espectro radioeléctrico, hemos mencionado que el Instituto debe considerar la evolución tecnológica en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, de manera particular, tomando en cuenta la reglamentación de la UIT y las mejores prácticas internacionales. A este respecto, a continuación, se describen algunas de las organizaciones internacionales que realizan actividades relacionadas con la administración y el uso del espectro radioeléctrico, así como con sistemas de banda ancha que podrían ser de interés.

Unión Internacional de Telecomunicaciones

La UIT es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las TIC y está comprometida a conectar a toda la población en cualquier parte del mundo. La UIT incorpora principios de una asociación público-privada derivado de la actual composición de sus miembros, integrados por 193 países y más de 700 compañías tecnológicas e instituciones académicas.

La UIT está dividida en tres sectores que se encargan del estudio de diversos temas a nivel mundial: Radiocomunicaciones, Normalización y Desarrollo. Dentro de los sectores existen comisiones de estudio que abordan temas específicos en materia de telecomunicaciones; a continuación, se describe el sector y las comisiones de estudio encargadas de los trabajos relativos a la provisión de servicios de acceso inalámbrico en zonas rurales y remotas.

El Sector de Desarrollo de la UIT se encarga de fomentar la cooperación internacional y la solidaridad en la prestación de asistencia técnica y en la creación, desarrollo y perfeccionamiento de redes y equipos de telecomunicaciones y TIC en los países en desarrollo¹⁷. Las comisiones de estudio de este Sector son responsables de elaborar Informes, Directrices y Recomendaciones basadas en las contribuciones recibidas por los miembros que las conforman. Así mismo se centran en temas prioritarios para los países en desarrollo sobre cuestiones de telecomunicaciones y las TIC, con la finalidad de lograr las metas trazadas por la UIT.

Las Comisiones de Estudio que forman parte de este Sector son la Comisión de estudio 1. "Entorno propicio para el desarrollo de las telecomunicaciones/TIC" y la Comisión de estudio 2. "Servicios y aplicaciones de TIC en pro del desarrollo sostenible".

¹⁷ Más información en: <https://www.itu.int/es/ITU-D/Pages/About.aspx>

En estas Comisiones de Estudio se definen “Cuestiones” por medio de las cuales se atienden diferentes temas de interés; la Cuestión relacionada al tema de banda ancha en zonas rurales es la “**Cuestión 5/1: Telecomunicaciones / TIC para zonas rurales y remotas**”, en donde se presentan los antecedentes relacionados al crecimiento de la banda ancha en zonas rurales y remotas, con base en el Plan Estratégico y Financiero de la UIT para 2016-2019, en donde se establece la “*Agenda Conectar 2020*”¹⁸, en la que se enuncian los principios y objetivos para el futuro de las telecomunicaciones y las TIC.

A su vez, el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT tiene la misión de garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro radioeléctrico por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios satelitales. Dentro de este sector se realizan estudios y recomendaciones en materia de radiocomunicaciones, a través de diferentes Comisiones de Estudio. Cada una de estas comisiones tiene asignados diferentes temas que se tratan de manera continua durante todo el año y a través de Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones, las cuales se llevan a cabo cada 3 o 4 años y que tienen por objetivo examinar y, en su caso, modificar el Reglamento de Radiocomunicaciones, que es el Tratado Internacional por el cual se rige la utilización del espectro radioeléctrico y de las órbitas de los satélites geoestacionarios y no geoestacionarios en todo el mundo.

Las Comisiones de Estudio del Sector de Radiocomunicaciones son 6:

- Comisión de estudio 1. “*Gestión del espectro*”;
- Comisión de estudio 3. “*Propagación de las ondas radioeléctricas*”;
- Comisión de estudio 4. “*Servicios por satélite*”;
- Comisión de estudio 5. “*Servicios terrenales*”;
- Comisión de estudio 6. “*Servicio de radiodifusión*”; y
- Comisión de estudio 7. “*Servicios científicos*”, quienes, a su vez, se dividen en Grupos de Trabajo.

Las Comisiones de Estudio que tratan regularmente los temas de banda ancha son las Comisiones 4 y 5 (Servicios por satélite y Servicios terrenales) y el Grupo de trabajo específico para tratar los temas relativos a las IMT¹⁹ es el Grupo de trabajo denominado 5D, el cual pertenece a la Comisión de Estudio 5. Es importante destacar que las IMT son los sistemas que actúan como materia prima para el funcionamiento de los servicios de banda ancha móvil.

¹⁸ Agenda Conectar 2020 disponible en: https://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2014/62-es.aspx

¹⁹ Las IMT son sistemas móviles que ofrecen acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicación y en particular a servicios móviles avanzados, soportados por las redes móviles y fijas que cada vez más utilizan tecnología de paquetes. Más información disponible en la Recomendación UIT-R M.1224, disponible para consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1224/es>

Por lo que hace al Sector de Normalización de la UIT, este se encarga de reunir a expertos de todo el mundo para elaborar normas internacionales conocidas como Recomendaciones UIT, que actúan como elementos definitorios de la infraestructura mundial de las TIC. Dichas normas resultan indispensables para la interoperabilidad de las TIC, y cuando intercambiamos mensajes de voz, vídeo o datos, las normas hacen posibles las comunicaciones globales asegurando que las redes y dispositivos de TIC de los distintos países utilicen un mismo lenguaje.²⁰

En el caso de los servicios de banda ancha, este Sector ha tenido un papel fundamental en el desarrollo, ya que sin su valioso trabajo no tendríamos ni la uniformidad en cuanto a la forma de usar Internet en todo el mundo, la capacidad masiva necesaria para soportar el mayor tráfico móvil generado por los consumidores, o estándares "verdes" para TIC más eficientes en carbono y la medición de emisiones de carbono para combatir el cambio climático.²¹

Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE)

El IEEE, es una organización técnica profesional con gran prestigio mundial, que fue fundada en New York, el 13 de mayo de 1884, por un grupo de profesionales en el desarrollo de tecnología, como Thomas Alva Edison, Alexander Graham Bell y Franklin Leonard Pope. Se trata de una organización técnica profesional dedicada al avance de la tecnología en beneficio de la humanidad, cuyo propósito fundamental es fomentar la innovación tecnológica y la excelencia.²²

El IEEE tiene gran relevancia para el desarrollo de los sistemas de banda ancha en el mundo debido a su gran aportación sobre el tema en diversas actividades, técnicas, educacionales y profesionales, así como a través de sus revistas especializadas, normas activas, conferencias, reuniones locales, publicaciones, etc.

Instituto Europeo de estándares de las telecomunicaciones (ETSI)

El ETSI es una organización independiente sin ánimo de lucro que produce estándares aplicables globalmente para las TIC. Este instituto es reconocido por la Unión Europea como una organización de estándares europeos. Posee 766 organizaciones miembro procedentes de 63 países de los cinco continentes.

El ETSI ha tenido gran éxito al estandarizar el sistema de telefonía móvil GSM o 2G. Además, participa en cuerpos de estandarización significativos tales como el 3GPP (para redes móviles) o TISPAN (para redes fijas y convergencia con Internet).

²⁰ Más información disponible en: <https://www.itu.int/es/ITU-T/about/Pages/default.aspx>

²¹ Más información disponible en: <https://www.itu.int/en/broadband/Pages/ITU-T.aspx>

²² Más información disponible en: <http://www.ieee.org.mx/index.html>

Aspectos relacionados con el espectro radioeléctrico en México

Como se ha explicado en este apartado, en México existen diversas disposiciones administrativas e instrumentos programáticos relacionados con el uso del espectro radioeléctrico, como el CNAF y el PABF. Además de éstos, existen algunos otros mecanismos que han coadyuvado para mejorar considerablemente la gestión y administración del espectro radioeléctrico en el país.

Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico

El CTER²³ surge de la creciente demanda en el uso del espectro en nuestro país, por lo que el Pleno del Instituto lo estableció como un mecanismo de participación, cuyo objetivo es incentivar la participación de la industria, la academia, los entes públicos, asociaciones técnicas especializadas y cualquier otro interesado en el uso del espectro radioeléctrico. Todo ello a través de la interacción de los participantes, sus necesidades, estrategias, prospectiva y estudios acerca del espectro radioeléctrico.

El CTER está conformado por seis Grupos de Trabajo especializados en temas específicos:

- Espectro para Servicios Fijos y Móviles Terrestres
- Espectro para Servicios de Banda Ancha Móvil
- Espectro para Servicios de Radiodifusión
- Espectro para Servicios Satelitales
- Espectro para Servicios Marítimos Aeronáuticos, Científicos y Aficionados
- Aspectos Generales del Espectro Radioeléctrico

Para el caso que nos ocupa, los Grupos de Trabajo que colaboran de manera intensiva en alternativas para la provisión de acceso inalámbrico de banda ancha y que pudieran ser empleado para fines sociales son los referentes a:

- Espectro para Servicios de Banda Ancha Móvil, y
- Aspectos Generales del Espectro Radioeléctrico

Por otro lado, las actividades del CTER son abiertas, por lo que cualquier persona interesada en formar parte del mismo, puede ingresar al enlace: <http://cter.ift.org.mx/pages/generalidades>, en donde se encuentra la información necesaria para convertirse en miembro y así poder participar en dichas actividades.

²³ Conformado mediante Acuerdo P/IFT/080317/110 "Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones establece la conformación del Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico y, expide sus Reglas de Operación.", aprobado en la X Sesión Ordinaria del 8 de marzo de 2017. Consultable en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pift080317110canexo.pdf>

Consejo Consultivo

El Instituto cuenta con un Consejo Consultivo, integrado por quince miembros honorarios, incluido su presidente, como órgano asesor respecto de los principios establecidos en los artículos 2o, 6o y 7o de la Constitución. Sus integrantes son especialistas de reconocido prestigio en las materias que son competencia del Instituto y fungen como un órgano multidisciplinario, formado por personas con una trayectoria reconocida, capacidades acreditadas y con experiencia en el sector.

En dicho Consejo, se han discutido temas relacionados con la implementación de un sistema consolidado de información del espectro en México; el rescate de frecuencias de uso oficial; pago de derechos por concesiones sociales, y la facilitación del acceso al espectro radioeléctrico a los pueblos indígenas, por mencionar algunos.

Para mayor información respecto a los trabajos que se han llevado a cabo en el Consejo Consultivo, puede ingresar al siguiente enlace <http://consejoconsultivo.ift.org.mx/>.

Usos del espectro radioeléctrico

En esta sección se explicarán algunas de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico que son empleadas para la provisión de diferentes servicios de telecomunicaciones en México y que en su conjunto pueden ser consideradas en el establecimiento de una red de telecomunicaciones para la provisión de acceso inalámbrico de banda ancha para uso social. Partiremos de dos ejes fundamentales que ya se han expuesto anteriormente, las bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado y las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre.

Bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado

Las bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado, son aquellas que requieren de un documento habilitante expedido por el Instituto²⁴. En este sentido, en esta sección se presentan las bandas de frecuencias que pueden ser empleadas para diferentes fines, tomando en consideración la planificación de las mismas, las buenas prácticas internacionales, la disponibilidad tecnológica y el equipo disponible.

Radioenlaces punto a punto o punto a multipunto

Los radioenlaces punto a punto o punto a multipunto se refieren a los sistemas inalámbricos capaces de transmitir grandes cantidades de información de un punto determinado a otro sin la necesidad de contar con un medio alámbrico. Este tipo de sistemas es comúnmente utilizado cuando no se cuenta con un medio guiado (cable de cobre, fibra óptica, etc.) para conectar a dos ubicaciones considerablemente lejanas.

Algunas de las bandas de frecuencias que podrían utilizarse a través de una concesión de espectro para uso social son las siguientes:



*Imagen 7 Bandas de frecuencias para radioenlaces del servicio fijo.
Fuente: Elaboración propia.*

²⁴ Ver sección "Marco Normativo" del presente documento en lo referente a la concesión de espectro y concesión única.

Es importante mencionar que la determinación de la viabilidad del posible otorgamiento de una concesión sobre el uso del espectro radioeléctrico para este tipo de sistemas se realiza de forma particular, a través de una solicitud formal ante el Instituto atendiendo lo establecido en los Lineamientos Generales²⁵ para el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el Título Cuarto de la Ley.

Radioenlaces del servicio fijo mediante la provisión de capacidad

Este tipo de sistemas tienen el mismo principio de operación que los radioenlaces punto a punto y punto a multipunto explicados líneas arriba. Adicionalmente, el término: “provisión de capacidad” se refiere a los servicios que ofrece un concesionario (proveedor) a cualquier interesado (consumidor) para satisfacer sus necesidades de comunicación entre dos puntos determinados. Estos servicios sólo se pueden ofrecer en las bandas de frecuencias donde el proveedor cuenta con los títulos de concesión correspondientes para dichos fines y se lleva a cabo de común acuerdo entre ambas partes.

Las bandas de frecuencias que podrían ser utilizadas bajo esta modalidad son las siguientes:



Imagen 8 Bandas de frecuencias para radioenlaces del servicio fijo mediante la provisión de capacidad.

Fuente: Elaboración propia.

Las concesiones de provisión de capacidad de radioenlaces del servicio fijo pueden consultarse a través del Registro Público de Concesiones del Instituto Federal de Telecomunicaciones disponible en el siguiente enlace: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc>

Acceso inalámbrico

El acceso inalámbrico se refiere al servicio de enlaces inalámbricos bidireccionales entre una red pública de telecomunicaciones y el usuario final, para la transmisión de signos, señales, escritos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza, en donde el punto de conexión del usuario final puede ser fijo o móvil. Las capacidades de este servicio se encuentran destinadas a aplicaciones multimedia, transmisión de datos de alta capacidad, voz, entre otras.

²⁵ Más información disponible en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/industria/lineamientos130219.pdf>

Actualmente en nuestro país se cuenta con diversas bandas de frecuencias en las que se proveen servicios de banda ancha a través del servicio de acceso inalámbrico. La mayoría de estas bandas de frecuencias se encuentran concesionadas para uso comercial a nivel nacional a través de diversos operadores que cuentan con títulos de concesión que los habilitan a prestar estos servicios a lo largo y ancho del país.

Las bandas de frecuencias en las que se proveen servicios comerciales de banda ancha mediante acceso inalámbrico son las siguientes:

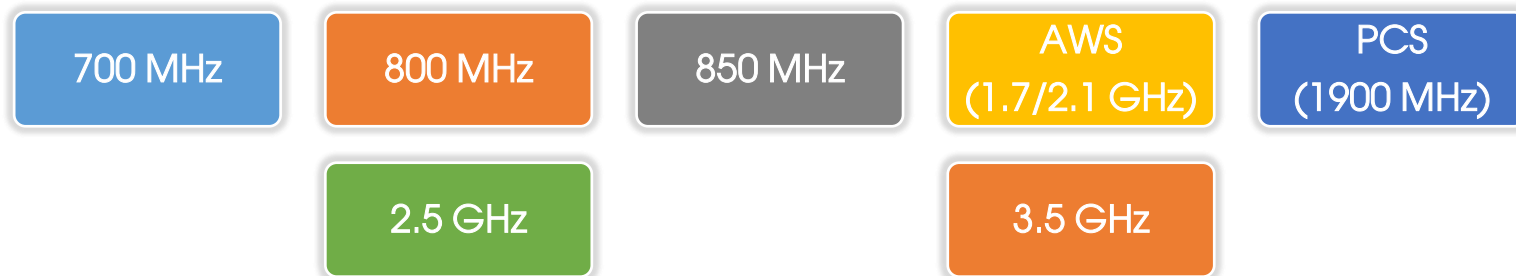
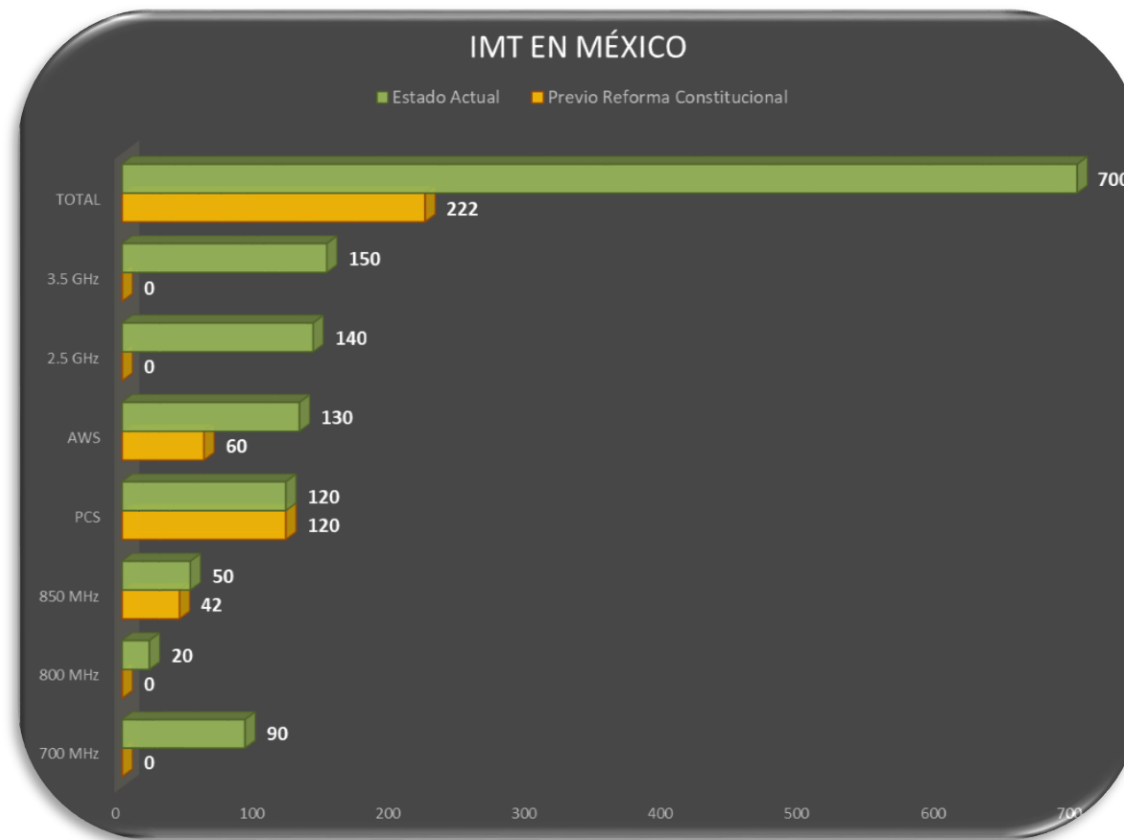


Imagen 9 Bandas de frecuencias para acceso inalámbrico.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que, desde la entrada en vigor de la Ley, la cantidad de espectro radioeléctrico para proveer servicios de banda ancha móvil comercial al usuario final se ha incrementado exponencialmente, lo cual, a la fecha, representa más del doble, tal y como se puede apreciar en la gráfica siguiente:



*Gráfica 1. Espectro asignado para servicios IMT.
FUENTE: Gráfica tomada del documento IMT en México.²⁶*

Es importante señalar que, dentro de las bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado, los segmentos disponibles en la banda de frecuencias 824-849/869-894 MHz han sido incluidos en los PABFs de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 como una banda de frecuencias viable para la provisión del servicio de comunicación móvil para uso social, con la finalidad de poner a disposición de cualquier interesado los segmentos disponibles para la provisión de acceso inalámbrico.

²⁶ Si requiere consultar el documento de IMT en México se puede revisar el siguiente enlace: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/imt_en_mexico_2020va.pdf

Es de precisar que, cualquier interesado en hacer uso de estos segmentos deberá ingresar una solicitud de concesión para usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso social ante el Instituto. La determinación de viabilidad del otorgamiento de este tipo de concesión se realiza caso por caso.

Servicios satelitales

En términos generales, los sistemas satelitales se conforman por un segmento espacial y un segmento terrestre. El segmento espacial se encarga de recibir y retransmitir información por medio de una estación dotada con antenas y diversos equipos electrónicos conocida como satélite. El segmento terrestre consiste en un centro de control establecido en la Tierra con grandes antenas capaces de enviar información al satélite. Ambos segmentos constituyen un sistema satelital y permiten, entre muchas otras cosas, proveer conectividad en zonas geográficas de difícil acceso en donde el despliegue de infraestructura de sistemas de comunicaciones terrestres resulta inviable para proveer servicios de telecomunicaciones.

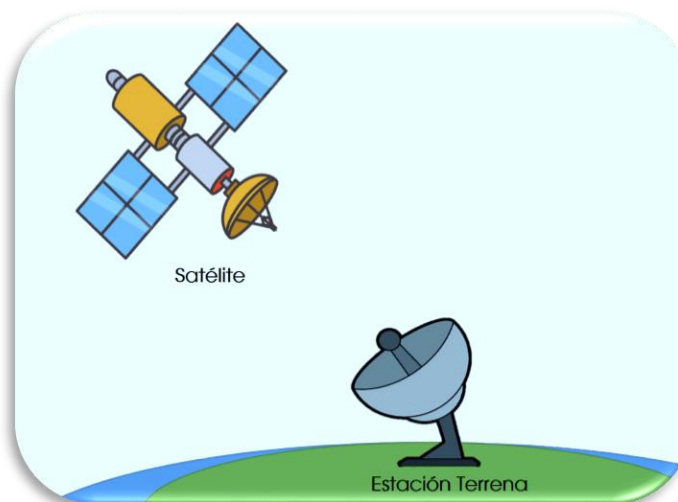


Imagen 10 Sistema Satelital.

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente existen diversas empresas que proveen distintos servicios satelitales en territorio nacional, tales como: transmisión de datos, radiocomunicación de voz, localización de vehículos, televisión directa al hogar, radiodifusión, interconexión con redes públicas de telecomunicaciones, entre otros.

Los concesionarios de recursos orbitales, que ocupan una posición orbital geoestacionaria asignada a México y sus bandas de frecuencias asociadas, así como las empresas autorizadas en México para aterrizar señales en territorio nacional provenientes de operadores satelitales extranjeros que prestan servicios de provisión de capacidad satelital pueden consultarse en el Registro Público de Concesiones del Instituto disponible en el siguiente enlace: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc>

Las bandas de frecuencias actualmente asociadas a concesiones o autorizaciones satelitales a través de las cuales se provee comunicación satelital mediante el servicio fijo por satélite son las siguientes:



Imagen 11 Bandas de frecuencias para comunicación satelital del servicio fijo por satélite.

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de facilitar el acceso a la información relacionada con los sistemas satelitales que ofrecen o pudieran ofrecer servicios en el territorio de México, el Instituto elaboró la herramienta Mapa de Satélites Geoestacionarios con Huella en México, la cual puede ser consultada en el siguiente enlace: <http://mapasatelital.ift.org.mx/>.

Bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre

Existen diversas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general sin necesidad de contar con algún “permiso” o concesión sobre el uso de dichas bandas de frecuencias. No obstante, como se ha mencionado en la sección “Bandas de frecuencias clasificadas como espectro determinado”, para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones se requiere de un documento habilitante expedido por el Instituto, así como respetar las características técnicas de operación y los parámetros indicados en los documentos de clasificación de las bandas de frecuencia como espectro libre. Estas bandas de frecuencias son utilizadas ampliamente para ofrecer conectividad en diferentes zonas geográficas a través de diferentes modelos y son una alternativa para implementar en lugares donde no se cuenta con infraestructura o presupuesto alto.

Con el objeto de acercar información relativa a este tipo de bandas de frecuencia al público usuario, el Instituto elaboró y publicó el documento denominado *"Inventario de bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre"*²⁷, en donde se incluyen los rangos de frecuencias que pueden ser utilizadas por los usuarios sin necesidad de solicitar una concesión para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico ante el Instituto, resume las características técnicas de operación permitidas en dichos segmentos, e indica los instrumentos en donde se especifican los detalles de su clasificación como espectro libre.

A continuación, se enlistan algunas de las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre que pueden ser empleadas en diversos escenarios para el establecimiento de radioenlaces del servicio fijo:

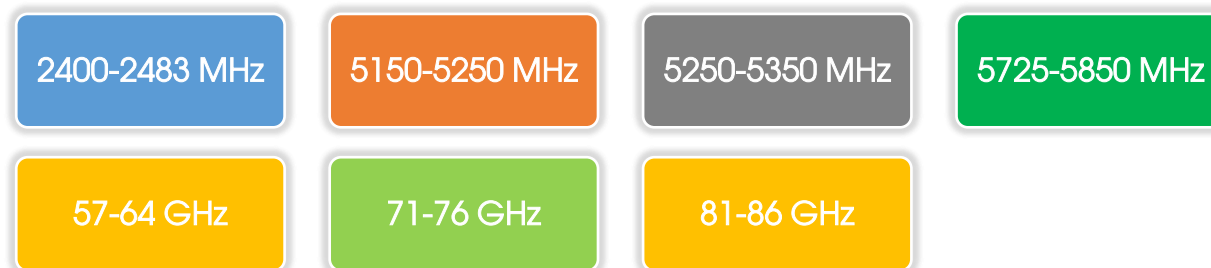


Imagen 12 Bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre para radioenlaces del servicio fijo.

Fuente: Elaboración propia.

Estas bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre son propicias para la operación de radioenlaces punto a punto o punto a multipunto, actualmente existe una gran variedad de dispositivos y equipo técnico que opera en estas bandas de frecuencias y que permiten el establecimiento de canales de comunicación inalámbrica para el transporte de grandes cantidades de información para diferentes distancias.

Comúnmente, las bandas de frecuencias más bajas: 2400 – 2483.5 MHz y las cercanas a los 5000 MHz, son utilizadas para cubrir mayores distancias; sin embargo, no cuentan con la capacidad suficiente para transmitir grandes cantidades de información. Caso contrario sucede con las bandas por encima de 50 GHz, en las cuales es posible transmitir grandes cantidades de información; pero a menores distancias.

Ahora bien, a continuación, se enlistan algunas de las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre que pueden ser empleadas en diversos escenarios para la provisión de acceso inalámbrico:

²⁷ Documento disponible en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>

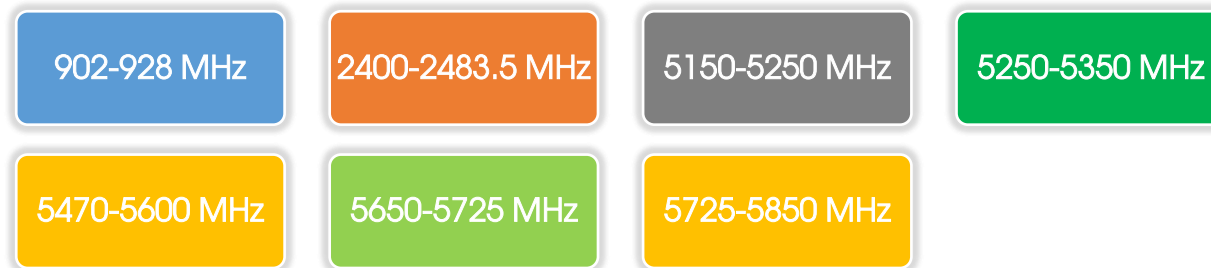


Imagen 13 Bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre para acceso inalámbrico.

Fuente: Elaboración propia.

Estas bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre, permiten la operación de diferentes tecnologías capaces de comunicar a diferentes usuarios con un punto común, tales tecnologías pueden ser Wi-Fi y Bluetooth, las cuales pueden proporcionar conectividad a diferentes usuarios al mismo tiempo y permiten un acceso asequible a Internet mediante dispositivos compatibles.

Es importante señalar que una desventaja que presentan las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre es la saturación que pueden llegar a tener para la transmisión y recepción de información, lo cual podría reducir la calidad en la transmisión de voz y datos. Además, debido a que estas bandas de frecuencias cuentan con reglas específicas de funcionamiento, podrían verse limitadas en cuanto a capacidad de información que se puede transmitir a través de las mismas.

Por otro lado, las ventajas que ofrecen las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre son: disponibilidad en el mercado de soluciones tecnológicas a precios accesibles, economías de escala, es decir, gran diversidad y disponibilidad de equipos, no se requiere de una concesión para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico y no se requiere realizar algún pago ante las autoridades competentes por su uso.

Soluciones complementarias del espectro radioeléctrico para uso social

Existen otras estrategias y alternativas innovadoras para el despliegue de redes de telecomunicaciones. En esta sección se incluyen algunas soluciones complementarias que pueden utilizarse actualmente en México y otras que se encuentran bajo análisis, tanto por el Instituto, como por otros organismos reguladores de telecomunicaciones en el mundo, con el fin de promover la conectividad y la proliferación del acceso inalámbrico en nuestros respectivos países.

Tal es el caso del acceso dinámico de espectro, el cual ofrece la posibilidad de hacer uso del espectro radioeléctrico mediante sistemas que reconocen los canales de frecuencias que no son empleados en algún momento y que pueden ser utilizados por otro sistema de comunicación inalámbrica. Si bien es cierto que actualmente existen diferentes esquemas que pueden permitir el acceso dinámico al espectro, para el caso que nos ocupa, es relevante mencionar el más conocido de ellos, *White Spaces* o Espacios en Blanco, el cual comúnmente opera en las bandas de frecuencias utilizadas para radiodifusión de televisión y podría ser una alternativa para brindar banda ancha.

Por otro lado, el arrendamiento de espectro radioeléctrico es una opción disponible en el país, ya que permite a un concesionario conferir temporalmente el derecho de uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico a otro usuario sin necesidad de cambiar de titularidad de concesión, lo cual permite flexibilidad, agilidad y dinamismo en la gestión del espectro radioeléctrico y fomenta que el espectro no permanezca ocioso o subutilizado. Esto es posible a través de los *"Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro radioeléctrico"*.²⁸

Ahora bien, como como se ha mencionado anteriormente, existen otras soluciones complementarias que se estudian para que funcionen en México en el futuro cercano. Si bien, éstas aún no se encuentran disponibles, en algunos casos el Instituto ha colaborado para que a nivel mundial se establezcan reglas de funcionamiento específicas y que facilite su funcionamiento en nuestro país.

Tal es el caso del uso compartido del espectro, el cual promueve que el espectro radioeléctrico que ha sido concesionado para algún usuario o usuarios en particular, pueda ser empleado en zonas geográficas donde, por la distancia, no genere interferencias perjudiciales a dicho usuario o usuarios. Lo anterior podría ser utilizado para proporcionar servicios de acceso a banda ancha en aquellas zonas en donde no exista infraestructura de telecomunicaciones para uso comercial y, por ende, no sea utilizado el espectro.

Otra opción consiste en las HAPS, las cuales son una solución tecnológica que ha estado en desarrollo en los últimos años y que, eventualmente, podrían brindar servicios de banda ancha en zonas de difícil acceso. Las HAPS son estaciones que se encuentran situadas en el aire, a una altura entre 20 y 50 Km de la tierra, con el objeto de establecer comunicación entre otras HAPS, o hacia un punto cercano a su ubicación en tierra. Estos sistemas pueden brindar una cobertura de alrededor de 25 km en puntos particulares de la tierra para posteriormente distribuir la comunicación a los usuarios finales, ya sea por medios cableados o inalámbricos.

²⁸ Disponible para consulta en: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/4745/documentos/02-anexounico-lineamientosdearrendamientovplenoscc.pdf>

Los satélites pequeños constituyen otra alternativa para proveer conectividad en tierra. Actualmente estos satélites han proliferado de manera intensiva en forma de constelaciones satelitales alrededor del mundo, y diversas empresas como *Space X*, *Amazon*, *GlobalStar*, *Iridium*, entre otras, han lanzado cientos de satélites al espacio. Algunas de estas compañías planean tener miles de satélites en el espacio colocados en la órbita baja de la tierra, con el fin de expandir la conectividad a Internet y proveer diversos servicios de banda ancha a nivel global. La posición en órbita baja reduce el tiempo de demora que tarda una información para pasar de un dispositivo a otro, este fenómeno conocido como latencia, es muy relevante para el mejor desempeño de las conexiones de acceso inalámbrico de banda ancha.

Recomendaciones

En esta sección se proporcionan algunas recomendaciones sobre el uso del espectro radioeléctrico para la provisión de acceso inalámbrico con fines de uso social. El propósito de estas recomendaciones es proporcionar información básica mediante diferentes escenarios hipotéticos y diferentes esquemas de comunicación inalámbrica que permita proveer conectividad de banda ancha en zonas de difícil acceso del país.

En este sentido, como se ha mencionado en la sección de “Marco Normativo”, existen dos principales alternativas para poder hacer uso del espectro radioeléctrico para fines sociales: la primera es a través de bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre, siempre y cuando se realice con apego a las condiciones de operación establecidas para cada una de ellas; la segunda es a través del uso de espectro determinado, por medio de una concesión para usar y aprovechar el espectro radioeléctrico para uso social sin fines de lucro o, en su caso, de algún convenio con un tercero que permita el uso de este recurso ya concesionado.

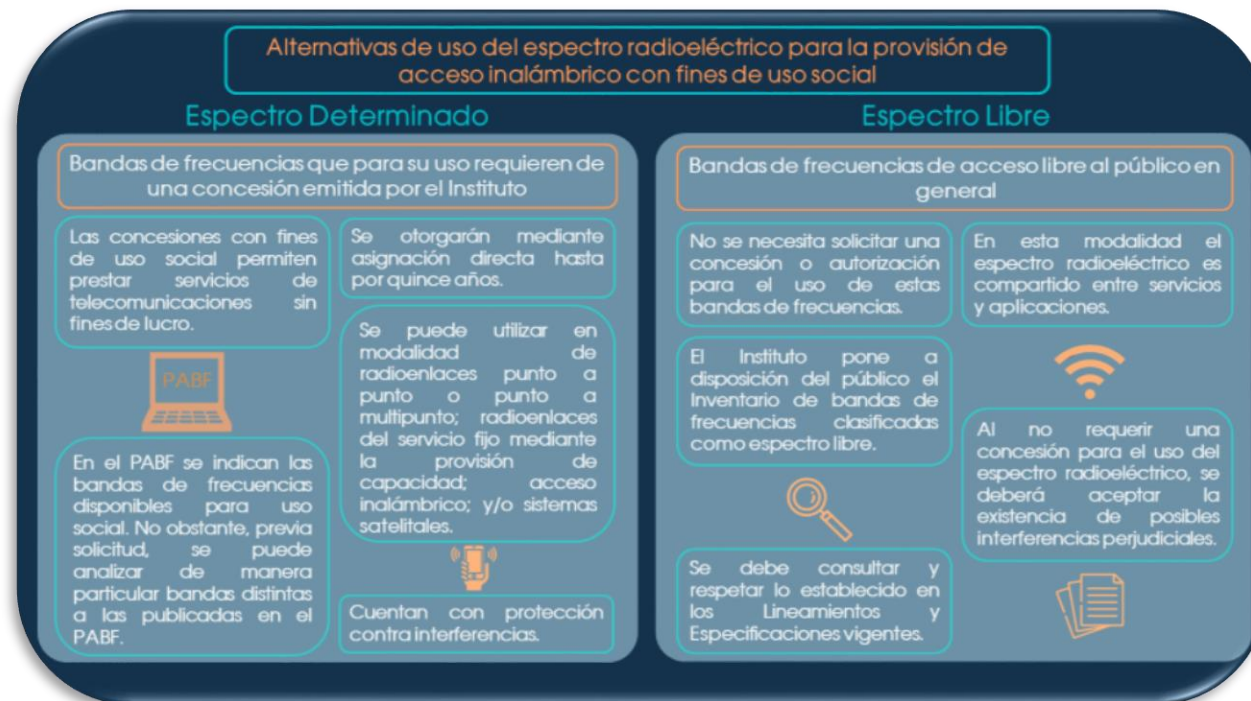
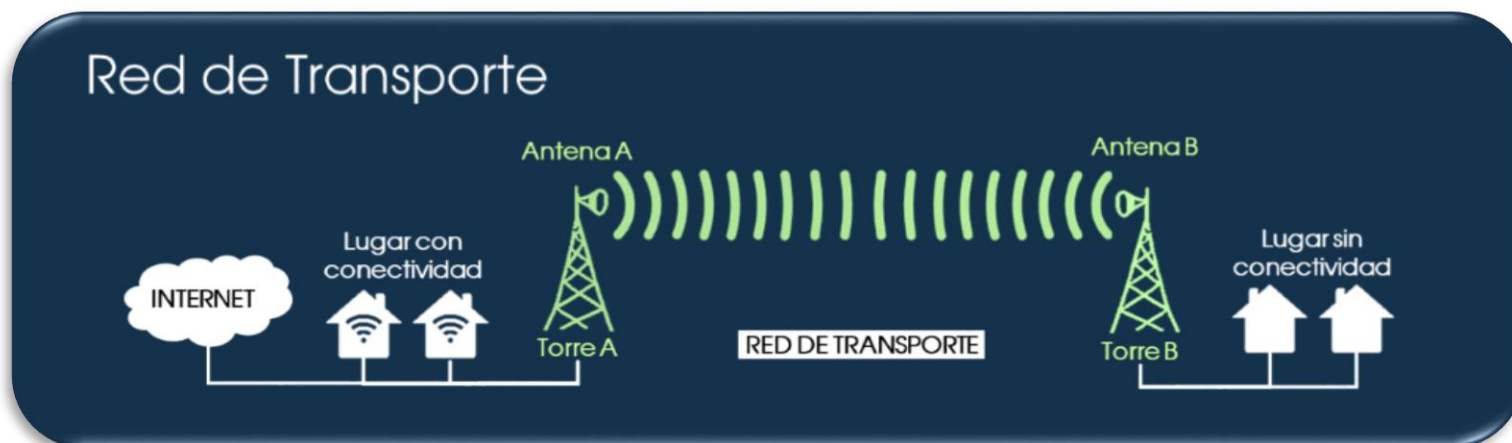


Imagen 14 Alternativas de uso del espectro eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, es importante señalar que antes de emprender un proyecto técnico en alguna comunidad rural o zona de difícil acceso, se recomienda contar con asesoría técnica y jurídica para el desarrollo del proyecto correspondiente. Las recomendaciones aquí plasmadas proveen algunas ideas de manera enunciativa, más no limitativa y, lo más importante, se debe considerar que las necesidades de conexión específica podrían variar dependiendo de las necesidades, condiciones geográficas, económicas, demográficas de todas las regiones que componen nuestro país.

Asimismo, hay que tomar en cuenta que existen dos tipos de redes en un sistema de telecomunicaciones que resultan fundamentales para proveer acceso inalámbrico en cualquier ubicación; la primera se le conoce como red de transporte, la cual es la encargada de llevar la información de un lugar donde existe conectividad hacia la zona donde queremos proveer el acceso inalámbrico (Imagen 15). La segunda red es conocida como red de acceso y consiste en el tramo de la red que se encarga de llevar la información hacia los usuarios finales (Imagen 16).



*Imagen 15 Red de Transporte.
Fuente: Elaboración propia.*

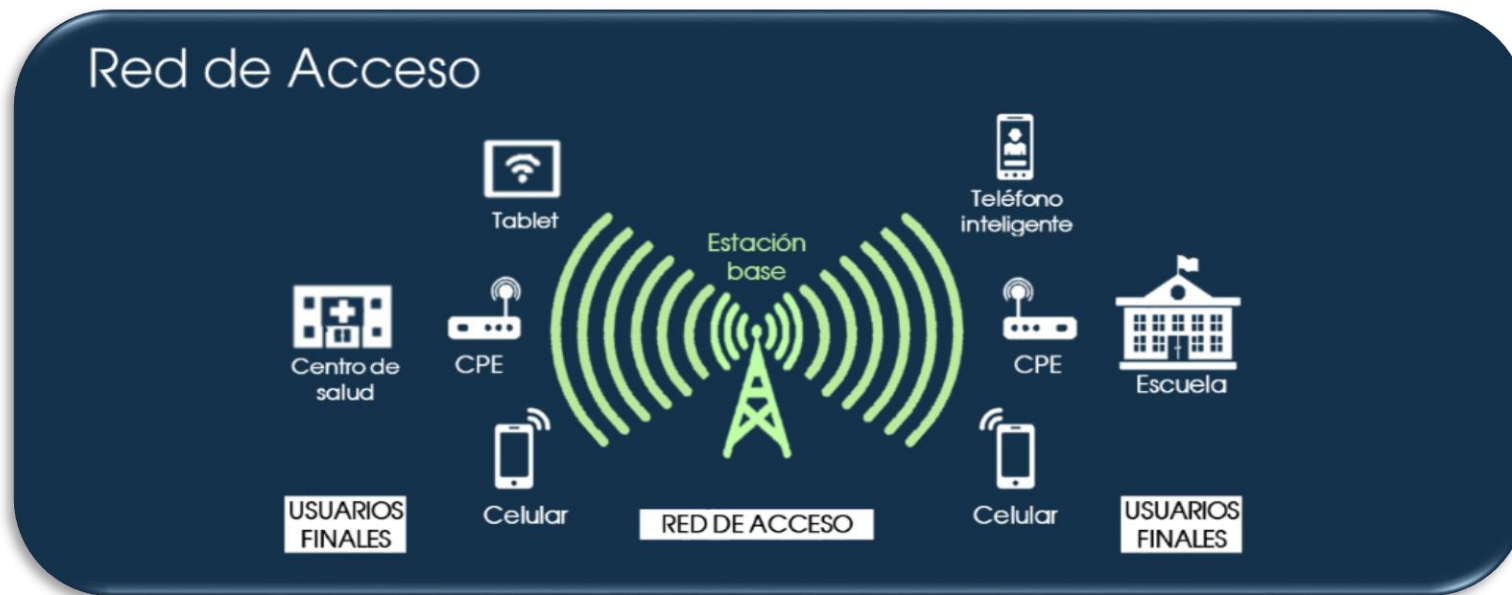


Imagen 16 Red de Acceso.

Fuente: Elaboración propia.

Como hemos visto, existen diversas técnicas para conectar a las redes de transporte y a las redes de acceso que involucran algunos de los conceptos que hemos explicado en el transcurso del presente documento, sean estos, radioenlaces punto a punto o punto a multipunto; radioenlaces del servicio fijo mediante la provisión de capacidad; servicios satelitales o acceso inalámbrico. Estos elementos pueden utilizarse para un proyecto particular de manera separada o de manera conjunta con base en la opción más adecuada para llevar conectividad a las zonas donde se requiere proveer el acceso inalámbrico.

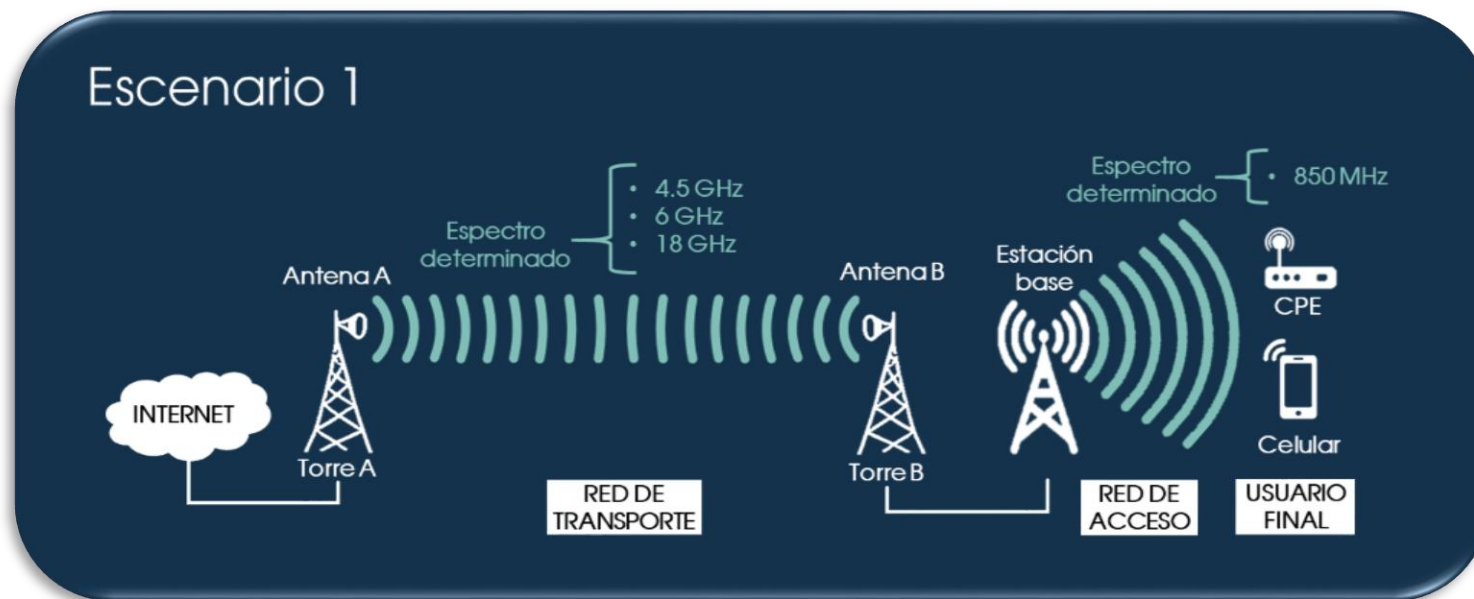
Por ejemplo, si tomamos en consideración el caso de los enlaces punto a punto, en primer término, se tendrá que decidir si se va a ocupar un proveedor de capacidad, se va a tramitar una concesión para uso social ante el Instituto, o se va a utilizar espectro libre. La decisión dependerá de las características de cada proyecto, tales como, presupuesto, tipo de servicio a prestar, características geográficas de la zona en la que se prestará el servicio, tipo de terminales de usuario disponibles, etc. Una vez que se ha seleccionado la solución a utilizar para los enlaces punto a punto, se sugiere consultar las bandas de frecuencias que se han plasmado dentro de la sección “Usos del espectro radioeléctrico” del presente documento.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se presentan recomendaciones de uso del espectro para diferentes escenarios de redes de telecomunicaciones en los que intervienen diversos elementos técnicos necesarios para conectar un sistema de acceso inalámbrico y brindar conectividad en zonas de difícil acceso. Entre estos elementos se encontrarán torres, antenas, estaciones base, así como equipos para el usuario final como lo son celulares, computadoras portátiles, teléfonos inteligentes, equipo local del cliente²⁹, entre otros.

²⁹ Para mayor información acerca del equipo disponible en el mercado, así como la compatibilidad con las bandas de frecuencias, se recomienda consultar los Informes del ecosistema LTE que emite la Asociación Global de Proveedores Móviles. La última edición que se consultó a la fecha del presente documento, corresponde a la actualización realizada en marzo de 2020. Documento disponible en la siguiente ubicación: <https://gsacom.com/paper/lte-user-devices-report-status-update-march-2020/>

El escenario 1 (Imagen 17) presenta una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro determinado. Entre las bandas de frecuencias que pueden utilizarse para la red de transporte por medio de una concesión para uso social se encuentran 4.5 GHz, 6 GHz y 18 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 1 es la señal que sale de la Estación Base hacia el usuario final (celular o CPE), se puede utilizar espectro determinado en la modalidad de concesión de espectro radioeléctrico para uso social en los segmentos disponibles de la banda de frecuencias de 850 MHz.

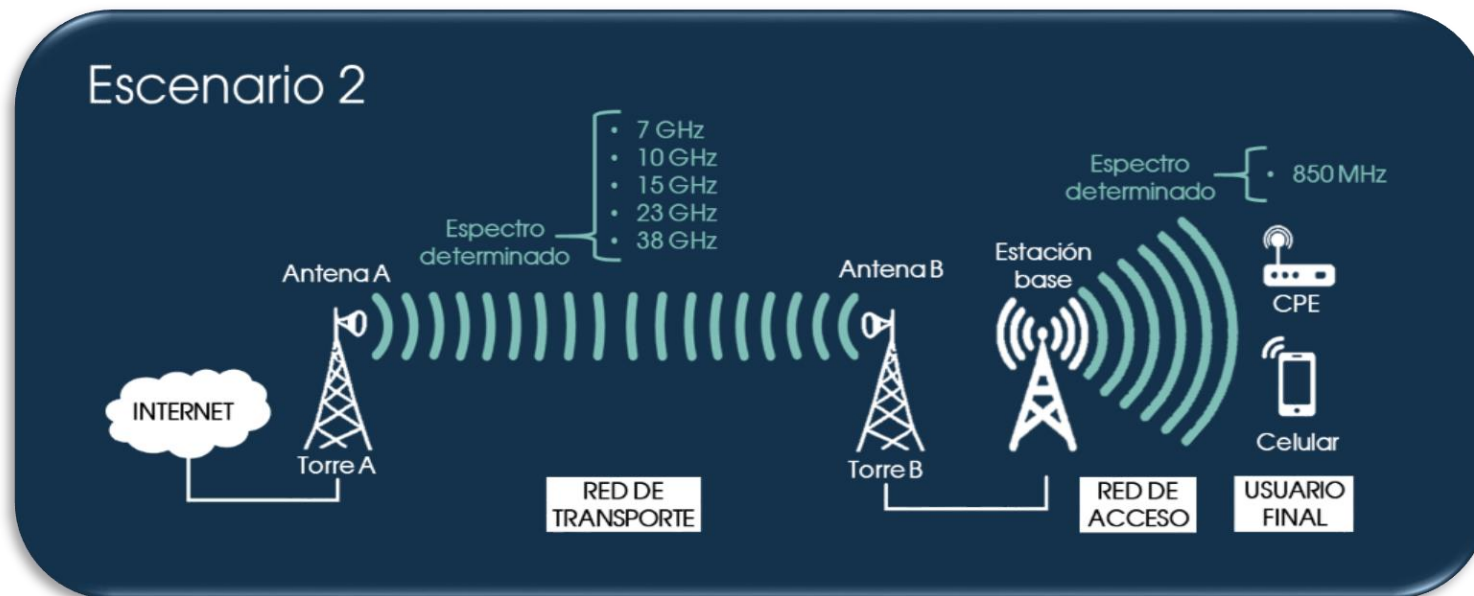
En la Imagen 17, correspondiente al escenario 1, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada a una Estación base por medio de un cable, desde la cual se transmite hacia el CPE y/o celular (usuario final) vía espectro radioeléctrico (red de acceso), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.



*Imagen 17 Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

El escenario 2 (Imagen 18) presenta una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro determinado para la red de transporte mediante la provisión de capacidad que puede ser contratada con un concesionario ya establecido en cualquiera de las bandas de 7 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 23 GHz y 38 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 2 es la señal que sale de la Estación Base hacia el usuario final (celular o CPE), se puede utilizar espectro determinado en la modalidad de concesión de espectro radioeléctrico para uso social en los segmentos disponibles de la banda de frecuencias de 850 MHz, considerados en el PABF³⁰.

En la Imagen 18, correspondiente al escenario 2, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada a una Estación base por medio de un cable, desde la cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el CPE y/o celular (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.

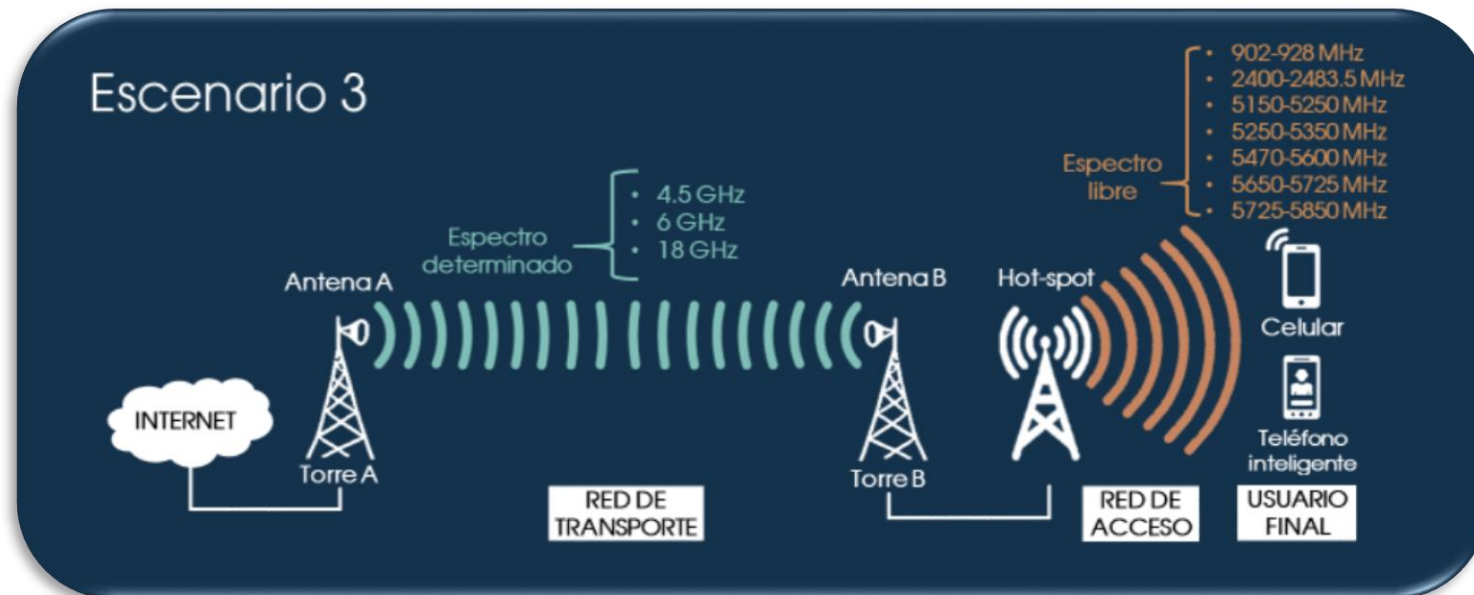


*Imagen 18 Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

³⁰ Información disponible en: <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/politicas-y-programas>

El escenario 3 (Imagen 19) presenta una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro determinado. Entre las bandas de frecuencias que pueden utilizarse para la red de transporte por medio de una concesión para uso social se encuentran 4.5 GHz, 6 GHz y 18 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 3 es la señal que sale de un punto de acceso que cuenta con un transceptor, mejor conocido como *Hotspot*, hacia el usuario final (celular o teléfono inteligente), se puede utilizar espectro libre en las bandas de frecuencias 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725 - 5850 MHz.

En la Imagen 19, correspondiente al escenario 3, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada a un *Hotspot* por medio de un cable, desde el cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el celular y/o teléfono inteligente (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.



*Imagen 19 Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia.*

El escenario 4 (Imagen 20) presenta una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro determinado. Las bandas que pueden utilizarse para la red de transporte utilizando radioenlaces del servicio fijo mediante la provisión de capacidad, que puede ser contratada con un concesionario, son 7 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 23 GHz y 38 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 4 es la señal que sale de un *Hotspot* hacia el usuario final (celular o teléfono inteligente), se puede utilizar espectro libre en las bandas de frecuencias 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725 - 5850 MHz.

En la Imagen 20, correspondiente al escenario 4, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada por medio de un cable a un *Hotspot*, desde el cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el celular y/o teléfono inteligente (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.

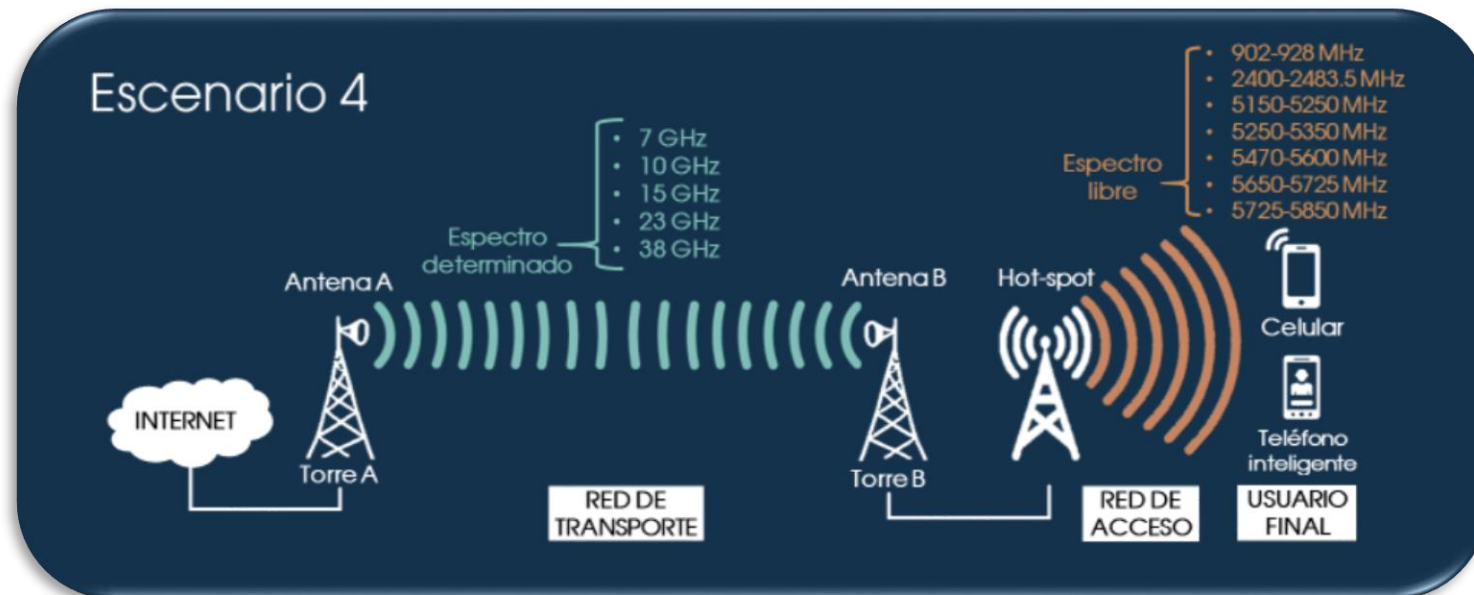


Imagen 20 Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia.

El escenario 5 (Imagen 21) plantea una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro libre. Las bandas que pueden utilizarse para la red de transporte mediante radioenlaces en espectro libre son: 2400-2483.5 MHz, 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz, 5725-5850 MHz, 57-64 GHz, 71-76 GHz y 81-86 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 5 es la señal que sale de un *Hotspot* hacia el usuario final (celular o teléfono inteligente), también se puede utilizar espectro libre en las bandas 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725 - 5850 MHz.

En la Imagen 21, correspondiente al escenario 5, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada por medio de un cable a un *Hotspot*, desde el cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el celular y/o teléfono inteligente (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.

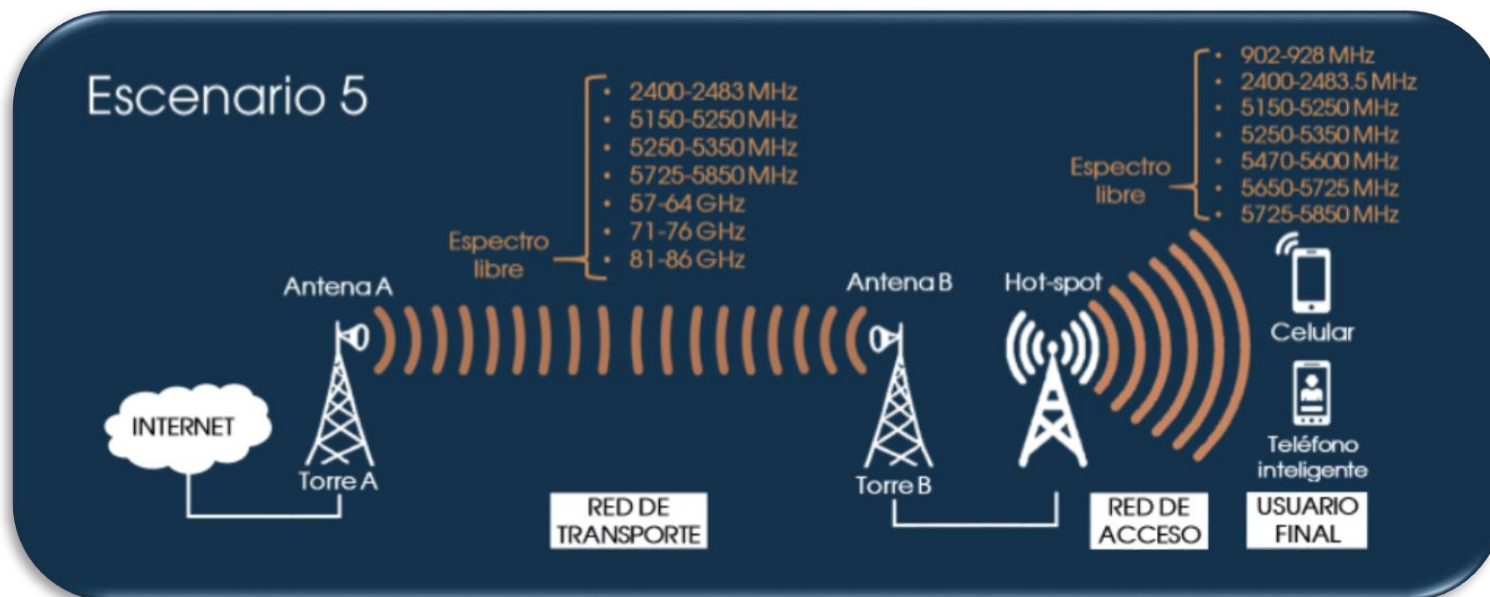
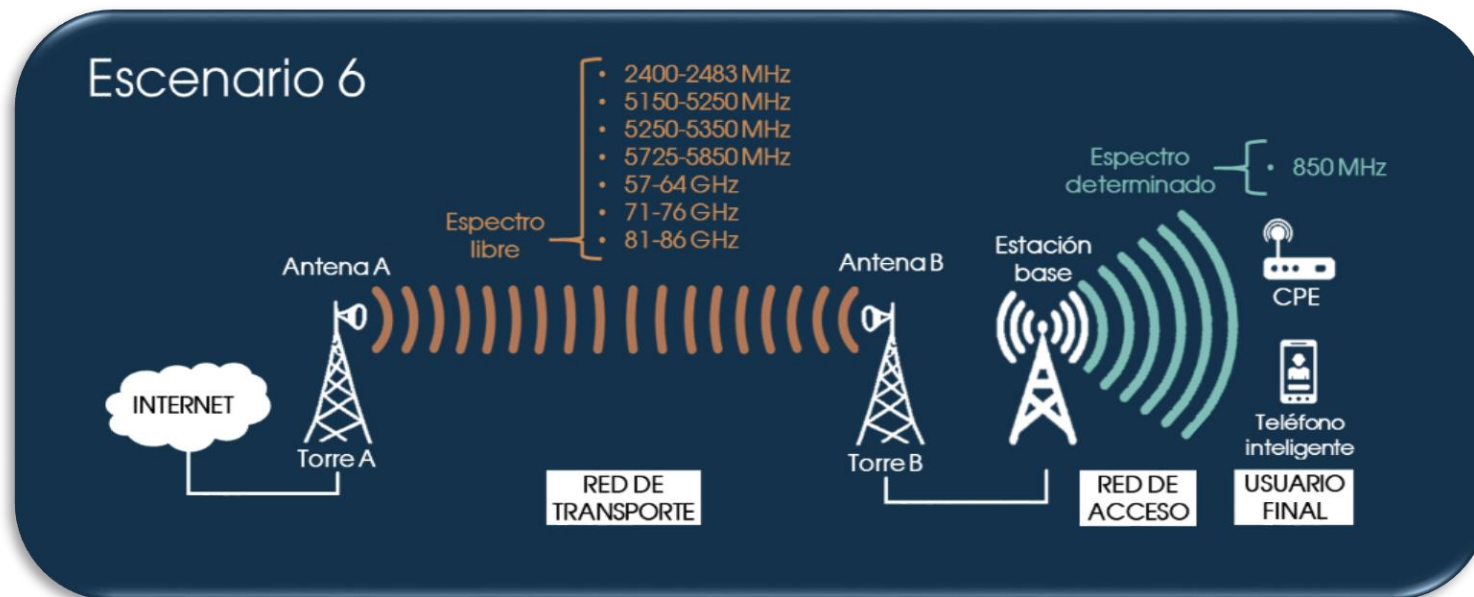


Imagen 21 Escenario 5.
Fuente: Elaboración propia.

El escenario 6 (Imagen 22) plantea una solución que utiliza radioenlaces punto a punto a través de espectro libre. Las bandas de frecuencias que pueden utilizarse para la red de transporte utilizando radioenlaces en espectro libre son: 2400-2483.5 MHz, 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz, 5725-5850 MHz, 57-64 GHz, 71-76 GHz y 81-86 GHz. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 6 es la señal que sale de la Estación Base hacia el usuario final (CPE o teléfono inteligente), se puede utilizar espectro determinado en la modalidad de concesión de espectro radioeléctrico para uso social en los segmentos disponibles de la banda de 850 MHz.

En la Imagen 22, correspondiente al escenario 6, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Torre A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico (red de transporte) hacia la antena B de la Torre B; posteriormente, la señal es trasladada a una Estación Base por medio de un cable, desde la cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el CPE y/o teléfono inteligente (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.



*Imagen 22 Escenario 6.
Fuente: Elaboración propia.*

El escenario 7 (Imagen 23) plantea una solución que utiliza sistemas satelitales del servicio fijo por satélite³¹ a través de espectro determinado. Las bandas que pueden utilizarse para la red de transporte mediante espectro determinado son: Banda C extendida, Banda C, Banda C AP30B, Banda Ku AP30B, Banda Ku extendida, Banda Ku, Banda Ku AP30, Banda Ku AP30A y Banda Ka. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 7 es la señal que sale del *Hotspot* hacia el usuario final (celular o teléfono inteligente), se puede utilizar espectro libre en las bandas de frecuencias 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725 - 5850 MHz.

En la Imagen 23, correspondiente al escenario 7, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Edificación A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico hacia un satélite ubicado en el espacio, el cual a su vez, transmite la información hacia la antena B de la Edificación B (red de transporte); posteriormente, la señal es trasladada por medio de un cable a un *Hotspot*, desde la cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el celular y/o CPE (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.

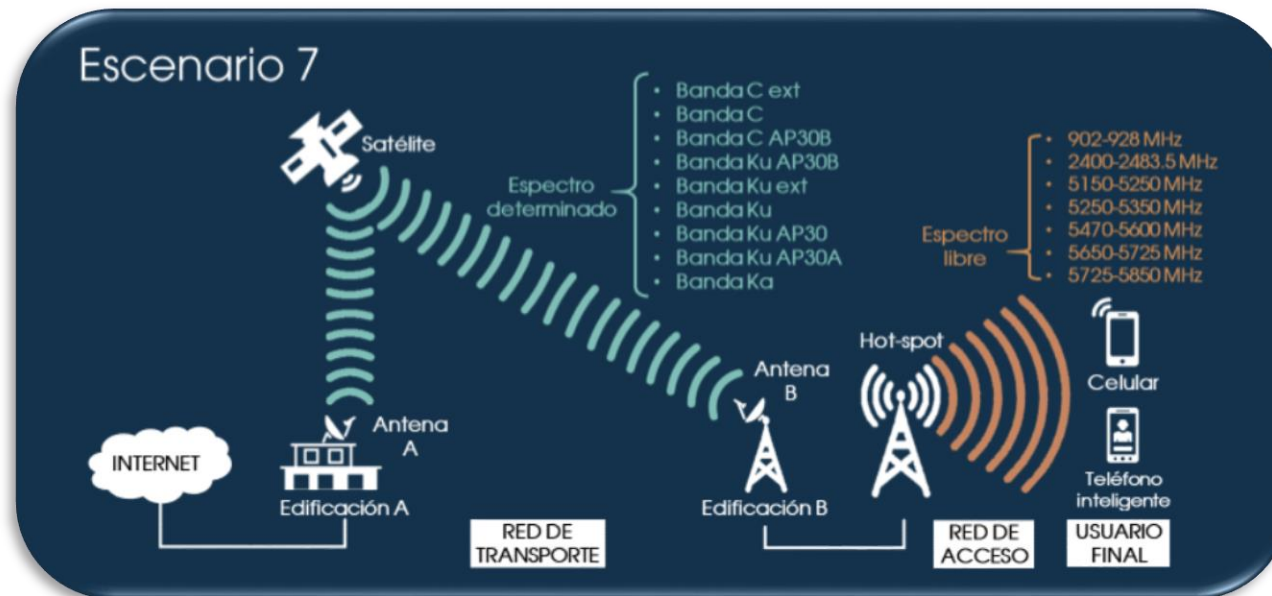
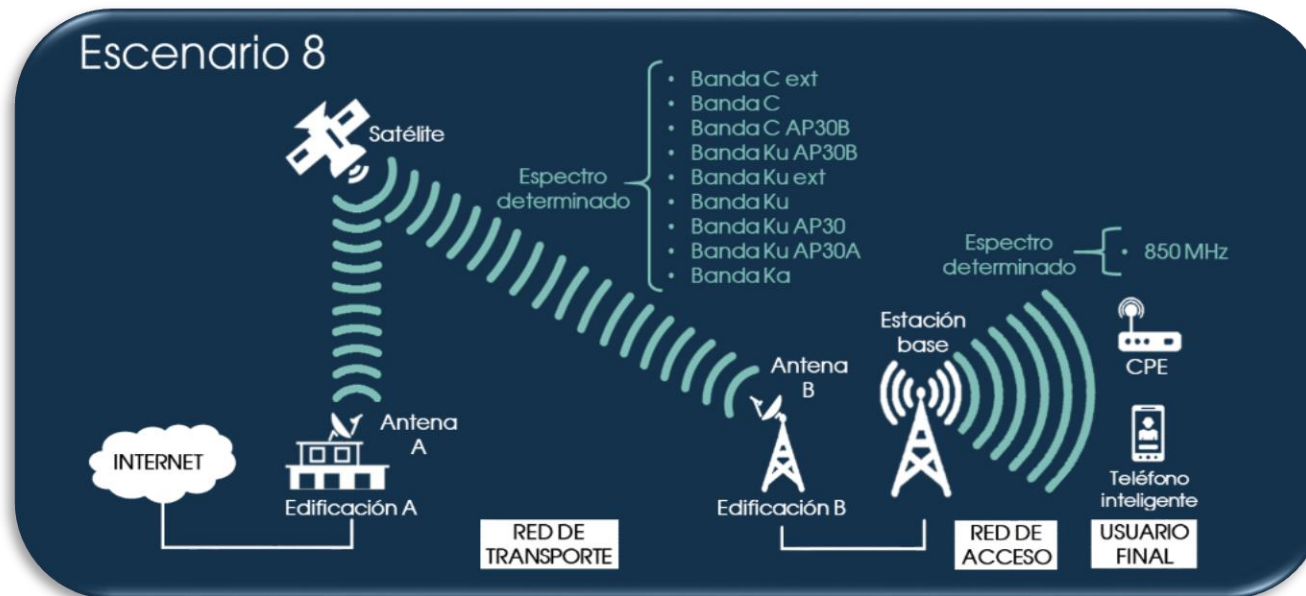


Imagen 23 Escenario 7.
Fuente: Elaboración propia.

³¹ Con la finalidad de facilitar el acceso a la información relacionada a los sistemas satelitales que ofrecen servicios en el territorio de México el Instituto pone a disposición la herramienta: Mapa de Satélites Geoestacionarios con Huella en México, disponible para consulta en: <http://mapasatelital.ift.org.mx/>

El escenario 8 (Imagen 24) plantea una solución que utiliza sistemas satelitales del servicio fijo por satélite a través de espectro determinado. Las bandas que pueden utilizarse para la red de transporte mediante espectro determinado son: Banda C extendida, Banda C, Banda C AP30B, Banda Ku AP30B, Banda Ku extendida, Banda Ku, Banda Ku AP30, Banda Ku AP30A y Banda Ka. En lo que respecta al tramo de la red de acceso, que en el escenario 8 es la señal que sale de la Estación Base hacia el usuario final (CPE o teléfono inteligente), se puede utilizar espectro determinado en la modalidad de concesión de espectro radioeléctrico para uso social en los segmentos disponibles de la banda de 850 MHz.

En la imagen 24, correspondiente al escenario 8, la señal de Internet pasa a través de un cable a la Edificación A; de ahí, la señal es transmitida por la antena A vía espectro radioeléctrico hacia un satélite ubicado en el espacio, el cual a su vez, transmite la información hacia la antena B de la Edificación B (red de transporte); posteriormente, la señal es trasladada por medio de un cable a una Estación Base, desde la cual, se transmite vía espectro radioeléctrico (red de acceso) hacia el CPE y/o Teléfono inteligente (usuario final), logrando así la provisión de acceso inalámbrico.



*Imagen 24 Escenario 8.
Fuente: Elaboración propia.*

Conclusión

Uno de los grandes retos para todos los organismos reguladores de telecomunicaciones en el mundo, consiste en la búsqueda permanente de estrategias y acciones que contribuyan, en conjunto con sus respectivos gobiernos, a conseguir la inclusión de la sociedad en general al entorno de las TIC, las cuales han transformado exponencialmente el entorno en que vivimos.

Las recomendaciones aquí expuestas pretenden abonar a la provisión de acceso inalámbrico para fines sociales en zonas de difícil acceso de nuestro país. Para conseguir dicho objetivo, como hemos visto en el transcurso del documento, es necesario observar la normativa aplicable en México para el uso, aprovechamiento y explotación de las diferentes bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico; asimismo, la información planteada en el presente documento resulta una herramienta que también puede ser aprovechada por cualquier interesado con el fin de identificar y aplicar mecanismos de acuerdo al contexto geográfico, económico y social del lugar donde se pretenda implementar la provisión de acceso inalámbrico para fines sociales.

Además, se estima necesario contar con la asesoría técnica y jurídica correspondiente en todo proyecto que implique poner en funcionamiento cualquier red que tenga como fin la provisión de acceso inalámbrico, ya que las consideraciones planteadas en este documento son meramente informativas y el único fin que persigue es poner a disposición del público en general información relevante respecto de las posibles alternativas de uso del espectro radioeléctrico para la provisión de acceso inalámbrico con fines de uso social.

Con el fin de coadyuvar con todo el público interesado en la provisión de acceso inalámbrico para fines sociales, la UER del Instituto pone a disposición del público en general el correo electrónico planeacion.espectro@ift.org.mx, así como el número telefónico 55 5015 4000, en la extensión 2726, para cualquier consulta relacionada con el contenido del presente documento o cualquier consulta relativa al uso del espectro radioeléctrico que derive de la información presentada en el mismo.

Finalmente, en lo que a las futuras acciones respecta, el Instituto, a través de la UER, seguirá buscando alternativas factibles y convenientes en el contexto nacional con el fin de que puedan ser implementadas en el país y aportar a la reducción de la brecha digital en México. Adicionalmente, se invita al público en general a participar en el CTER del Instituto, descrito en la sección “Aspectos relacionados con el espectro radioeléctrico en México” del presente documento, con el fin de encontrar de manera conjunta nuevos mecanismos de uso del espectro radioeléctrico para conectividad en zonas de difícil acceso en nuestro país.

ANEXO – Proyectos e iniciativas.

Iniciativas de banda ancha implementadas por diversos países

El presente anexo es meramente referencial e incluye programas que diversos países han implementado para brindar conectividad y proporcionar banda ancha en zonas de difícil acceso. Por esta razón, en ningún caso representan una política pública por parte de la Unidad de Espectro Radioeléctrico del Instituto y deben tomarse como ejemplos de prácticas internacionales.

1. Perú

El Gobierno de Perú, junto con la Agencia de Promoción de la Inversión Privada (PROINVERSION), el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) realizaron un plan de promoción de inversión privada para proyectos de instalación de banda ancha para la conectividad integral y desarrollo social de diversas regiones de Perú. Este plan se llevó a cabo mediante licitaciones públicas especiales en 2017 y 2018, los cuales permitieron instalar banda ancha en trece regiones del país.

La primera licitación se llevó a cabo en junio de 2017 y concluyó en mayo de 2018. En esta licitación se contempló la instalación de banda ancha en cuatro regiones: Junín, Puno, Moquegua y Tacna beneficiando a 845 localidades y 29 provincias. El Acta final declaró como ganador al consorcio “*Telecomunicaciones Rurales del Perú*” integrado por las empresas: Eléctricas de Medellín Perú S.A., Amitel Perú Telecomunicaciones S.A.C. y Tuensa International Corporation.

La segunda licitación se realizó en septiembre de 2017 y concluyó en el mismo año. Esta licitación contempló la instalación de banda ancha en tres regiones: Amazonas, Ica y Lima, beneficiando a 586 localidades, 21 provincias y cerca de 358,538 personas. El Acta final declaró como ganador al consorcio “*GMC Conecta*” para las regiones de Amazonas e Ica, mientras que para la región de Lima el ganador fue “*América Móvil Perú S.A.C.*”.

La tercera licitación se llevó a cabo en septiembre de 2018. Esta licitación contemplaba la instalación de banda ancha en seis regiones: Ancash, Arequipa, Huánuco, La Libertad, Pasco y San Martín. Este proyecto consistió en una solución mixta compuesta por una red de transporte y una red de acceso, la red de transporte despliega fibra óptica conformada por los siguientes nodos:

- **Nodos de Agregación** que se ubicarán junto a los nodos de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) en las capitales de provincia.
- **Nodos de Distribución** que se instalarán en las capitales de distrito.
- **Nodos de Conexión** que se ubicarán en las localidades estratégicas de mayor cobertura.
- **Nodos de la Red de Acceso** que se interconectarán con los Nodos de Distribución.

- **Nodos de Conexión** que permitirán extender la cobertura hasta los usuarios finales en las localidades beneficiarias.

Adicionalmente, la FITEL cuenta con una guía de identificación para proyectos de inversión en telecomunicaciones rurales³², esta se basa en un análisis general de demanda de banda ancha con lo cual determina sus proyectos, estos proyectos se definen de acuerdo a la demanda de las localidades y la consideración de la solución tecnológica apropiada a su ubicación geográfica de tal forma que permita prestar el servicio a las regiones y que la inversión privada sea satisfactoria. En algunas localidades, se considera la integración de una red de cableado y en otras, utilizar servicios satelitales.

Por otra parte, otra iniciativa que se lleva a cabo en Perú es el Proyecto Chancay-Huaral Project en la banda 2.4 GHz, el cual se limita a espacios en interiores y está sujeto a estrictas restricciones de energía eléctrica. Para construir esta red comunitaria, el proyecto obtuvo un permiso especial por parte del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones del Perú.

2. Brasil

En 2014 el gobierno de Brasil tuvo como iniciativa poner en marcha su “*Plan Nacional de Banda Larga*”³³ a cargo del Ministerio de Telecomunicaciones que, a su vez, colabora con la ANATEL y la Asociación Brasileña de Telecomunicaciones. El objetivo de dicho plan es promover el crecimiento de capacidad de transporte de los servicios de telecomunicaciones con la finalidad de acelerar la entrada de la población en la sociedad de la información, contribuir en la evolución de redes de telecomunicaciones y al desarrollo industrial de las TIC en el país. El enfoque del Plan se centra en la reducción de la brecha digital en zonas rurales y desfavorecidas, lo anterior se prevé mediante la ampliación de la cobertura de conectividad, acceso y conectividad rural, disminución en precios, plan de alfabetización, desarrollo del gobierno y la incorporación de las TIC en las empresas. A continuación, se muestra el alcance del Plan:



Imagen 25 Metas del Plan Nacional de Banda Larga – ANATEL.

Fuente: ANATEL

³² Disponible para consulta en: <https://www.gob.pe/pronatel>

³³ Disponible para su consulta en <http://www.sitedi.iipe.unesco.org/bdnp/944/brasil-conectado-programa-nacional-banda-larga>

Otra alternativa que se está desarrollando en Brasil es el proyecto denominado "4G TIM in the Field", el cual brindará servicios 4G en áreas desatendidas mediante sistemas de comunicación vía satélite³⁴.

Por otro lado, en 2017 ANATEL aprobó una nueva reglamentación sobre equipos de radio en donde elimina los requisitos de licencias para los proveedores que tengan menos de 5000 usuarios, los proveedores solo deben comunicar que iniciarán a operar una red.

Finalmente, las licencias experimentales son otra forma clave para que las redes comunitarias accedan al espectro en Brasil, dichas licencias permiten que los reguladores y formuladores de políticas introduzcan cambios graduales en la forma en que facilitan el desarrollo de las comunicaciones en comunidades no atendidas.

3. Canadá

El Gobierno de Canadá ha adoptado medidas para mejorar el acceso de banda ancha para comunidades que requieran subsidio o en los que se efectúen inversiones de capital para que se brinde un servicio de acceso a banda ancha sostenible para su población. Actualmente, se han implementado programas de financiamiento con el objetivo de brindar iniciativas para banda ancha, algunos de estos son el Canal de fibra óptica del Valle de Mackenzie, Proyecto de fibra óptica Dempster, Clear Sky Connections, Arrow Technology Group y el de Infraestructura satelital en Nunavut.

En zonas remotas de Ontario se ha establecido un proveedor de servicios TIC³⁵ en alianza con una organización educativa cuyo objeto es sensibilizar a la población sobre los desarrollos que afectan a las denominadas *First Nations communities*; es decir, comunidades establecidas previo a la llegada de los europeos.³⁶ En donde se cuenta con una red de banda ancha para la comunidad.

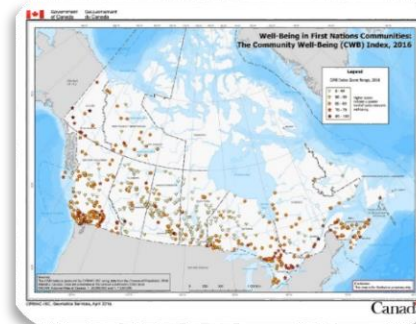


Imagen 26 Comunidades First Nations - Canadá.

Fuente: Government of Canada

³⁴ Disponible para consulta en: <https://spacewatch.global/tag/4g-tim-in-the-field/>

³⁵ Disponible para consulta en: <http://knet.ca/>

³⁶ Disponible para consulta en: <https://www.rcaanc-cimac.gc.ca/eng/1307460755710/1536862806124>

4. Estados Unidos de América

En los EEUU existen diversas iniciativas que buscan llevar conectividad a todos los ciudadanos de éste país. Las empresas y el gobierno, en sus distintos campos de acción, buscan conectar a la mayor cantidad de individuos de éste país a las actuales y nuevas redes de telecomunicación.

En ejemplo de estas iniciativas corre a cargo de una empresa de desarrollo de software, que lanzó en 2017 el programa *Airband ISP Program*³⁷, el cual pretende colaborar con los sectores públicos y privados para satisfacer las necesidades de la gente que vive en área rurales de EEUU, utilizando tecnologías inalámbricas. Algunos de los proveedores de Internet que trabajan en esta iniciativa conectan zonas rurales en el condado de Washington, Maine; otro provee el servicio para conectar reservas privadas y parques estatales en zonas rurales de Michigan; y uno adicional que despliega una red en Georgia. Actualmente, esta iniciativa tiene acuerdos en 16 estados para llevar servicios de banda ancha a más de 1 millón de residentes rurales, quienes no cuentan con este servicio.

Adicionalmente, en 2017 la FCC de EEUU realizó un proceso para autorizar el Servicio de Radio Ciudadana de Banda Ancha (*Citizens Broadband Radio Service*), el cual consiste en una nueva estructura de asignación de espectro que utiliza tecnología de asignación dinámica para permitir que tres niveles de usuarios compartan el espectro. En el primer nivel se encuentran el ejército de los EEUU y algunos servicios fijos por satélite, los cuales tienen derecho de prioridad para el uso de la misma; en el segundo nivel, se encuentran licenciarios con derechos de acceso secundarios; por último, en el tercer nivel se encuentran usuarios con derechos de acceso general, sujeto a la protección de los otros dos niveles. Esta estructura captura la protección de los incumbentes, el uso bajo licencia y el acceso general bajo una licencia no sujeta a cargas regulatorias excesivas (*lightly-licensed*), todo ello con el fin de promover un uso eficiente del espectro. Aunado a lo anterior, el 2 de mayo del 2019, la FCC³⁸ anunció que ofrecerá incentivos a los proveedores de servicio de telecomunicaciones para que presten el servicio de banda ancha de al menos 25 Mbps de bajada y 3 Mbps de subida en hogares y negocios que se encuentren en zonas rurales.

Por otro lado, la Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información (NTIA, por las siglas en inglés de *National Telecommunications and Information Administration*) mediante el programa "*Broadband USA*"³⁹ promueve la innovación y el crecimiento económico al respaldar los esfuerzos para expandir la conectividad de banda ancha y la inclusión digital en todo EEUU, es así que elaboró una guía de programas federales de financiamiento para proyectos relacionados con la banda ancha. En la guía se destacan programas de agencias federales e invita a las comunidades y partes interesadas a unirse mediante los programas y el procedimiento de aplicación. Los programas federales disponibles pueden financiar proyectos relacionados con la planificación de banda ancha, acceso público, alfabetización digital y despliegue.

³⁷ Disponible para consulta en: <https://www.microsoft.com/en-us/airband>

³⁸ Disponible para consulta en: <https://www.fcc.gov/document/fcc-incentivizes-faster-broadband-over-1-million-rural-locations>

³⁹ Página oficial para consulta: <https://broadbandusa.ntia.doc.gov/>

5. Jamaica

El proyecto: “TV White Spaces”,⁴⁰ propuesto por la industria y diversas organizaciones, procura llevar conectividad a zonas de difícil acceso a través del aprovechamiento del espectro de las señales de televisión que no se utilizan. El desarrollo de este proyecto lo llevó a cabo una empresa de desarrollo de software, en colaboración con la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), el Fondo Universal de Servicios de Jamaica (USF), la Alianza Global de Banda Ancha e Innovaciones (GBI) y NetHope, quienes trabajaron en conjunto para llevar los beneficios de la banda ancha a las comunidades rurales de Jamaica a través de tecnología que aprovecha las señales de televisión disponibles.

Por lo anterior, se desarrolló una solución para identificar y acceder a los canales de TV disponibles para utilizarlos como radiodifusión de banda ancha inalámbrica de alta calidad con menos consumo de energía y con menor costo para los usuarios. Jamaica implementó en Park Hall Primary & Infant, una escuela de educación básica ubicada en el centro de la isla de Jamaica. Ahora, las instalaciones de Park Hall Primary & Infant cuentan con acceso a Internet, el proceso de enseñanza-aprendizaje es interactivo, en tiempo real y divertido para los alumnos, quienes también están aprendiendo a programar con diferentes aplicaciones.



Imagen 27 Proyecto TV White Spaces - Jamaica.

Fuente: Microsoft

⁴⁰ Disponible en <http://whitespaces.microsoftspectrum.com/>

6. Reino Unido

Actualmente, el Departamento de Gobierno de Reino Unido para la cultura, medios y deportes, mediante su programa 5G Testbed & Trial y la estrategia de 5G pretende ser pionero en desplegar conectividad en áreas rurales y comunidades.

El proyecto denominado 5G Rural First⁴¹ consiste en una red central que utiliza diferentes bandas de frecuencias tales como 700 MHz, 3.5 GHz y 26 GHz en combinación con 2.4 y 5 GHz. Lo anterior se pretende llevar a cabo mediante el intercambio dinámico de espectro y el uso compartido del mismo y así comprobar la operatividad en zonas rurales. Reino Unido se centra en dos zonas importantes para implementar esta tecnología, la primera es en las Islas Orcadas, un grupo de 70 islas de las cuales 20 de ellas están habitadas permanentemente, y la segunda es en zonas rurales o aisladas.

Por otro lado, Reino Unido cuenta con proyectos que ayuden a fortalecer la viabilidad de las tecnologías que puedan ser utilizadas para llevar conectividad a zonas desatendidas, uno de ellos es el proyecto en donde se pretende utilizar la gestión de acceso de espectro dinámico complementada con la tecnología de software definido por radio el cual permite crear redes inalámbricas.

Otros proyectos implementados a nivel global

En esta sección se describen algunos proyectos implementados en diferentes regiones del mundo respecto del acceso inalámbrico para la provisión de banda ancha con fines sociales.

GiGA Story

El proyecto "GiGA Story" fue creado por una empresa de Telecomunicaciones Coreana en 2014 debido a la disminución de población en zonas rurales de la República de Corea por la urbanización y el envejecimiento demográfico; sin embargo, fue hasta el 2015 que el sector privado en alianza con la Organización Internacional de Migraciones⁴², lanzaron formalmente este proyecto a nivel global, teniendo como objetivo el desarrollo comunitario de Bangladesh. El proyecto contempla prestar servicios sociales a los habitantes de áreas aisladas utilizando con eficiencia servicios y redes de tecnologías de la información y la comunicación de la empresa de telecomunicaciones coreana.

El GiGA Story se ha extendido a la ciudad de Daeseong-dong en la zona desmilitarizada que divide a Corea del Sur y Corea del Norte, la isla Baengnyeong de Onjin-gun, Incheon y Chunghak-dong, Hadong-gun, provincia de Gyeongsang del Norte y permanece vigente brindando conectividad en otras zonas aisladas de la República de Corea. En la Imagen 28 se muestra el diagrama de red de GiGA Story en donde la sección de GiGA microwave consiste en tecnología inalámbrica que puede proporcionar servicio de GiGA-Internet para zonas aisladas, zonas montañosas sin la necesidad de una conexión de fibra óptica; por otro lado, la GiGA Wire es una tecnología basada en cables de cobre con una cobertura de una milla por hasta 100Mbps.

⁴¹ Disponible en <https://www.5gruralfirst.org/>

⁴² Sitio oficial de la Organización Internacional de Migraciones: <https://www.iom.int/es>

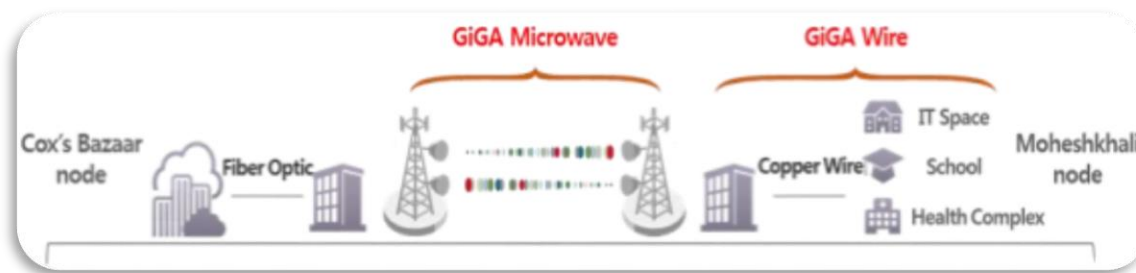


Imagen 28 Diagrama de red.

Fuente: Best Wireless Deployment in Rural or Remote Areas – 2017⁴³



Imagen 29 Ejemplo de logros de la red GIGA Story⁴⁶.

Fuente: Best Wireless Deployment in Rural or Remote Areas – 2017

Los principales logros de la implementación de la red de GIGA Story son:

- Enseñanza a distancia, establecida en escuelas primaria junto con “Jaago Foundation”⁴⁴, para impartir inglés y literatura.
- Cuidado de la salud, consiste en conectar clínicas de salud comunitarias a través de dispositivos de diagnóstico médico.
- Acceso a la información, utilizado por el Ministerio de Bienestar Social de Bangladesh y los espacios de educación
- e-Commerce, consiste en conectar directamente al consumidor en colaboración con una plataforma digital.

⁴³ Imagen obtenida de: https://www.worldwifiday.com/wp-content/uploads/2018/05/Cat-5_Shortlist-KT_2017_Content-1.pdf

⁴⁴ Sitio oficial de ONG: <https://jaago.com.bd/>

Proyecto Loon

En junio del 2013 se lanzó el programa piloto denominado “Proyecto Loon”⁴⁵, con el fin de llevar Internet a diferentes zonas del planeta sin necesidad de implementar infraestructura terrestre. El proyecto consiste en un conjunto de globos de helio que son enviados a 20 km de altitud dentro de la estratósfera; la posición de cada globo se controla mediante software permitiendo que estos sobrevuelen la superficie terrestre. Cada globo envía una señal hacia antenas terrestres que cuentan con dos transceptores de radio, uno para recibir y otro para enviar datos, además de tener un computador de vuelo, localizador GPS⁴⁶, sistema de control de altitud y paneles solares que alimentan a sus componentes electrónicos.

Esta tecnología, en su fase piloto, ha sido implementada en Nueva Zelanda, EEUU y Brasil. En la actualidad se continúa trabajando para mejorar esta tecnología ofreciendo velocidades 4G, vida útil de 187 días, mejora en el lanzamiento y localización de cada globo cuando estos aterricen.



Imagen 30 Proyecto Loon.

Fuente: BBC⁴⁷

⁴⁵ Sitio oficial: <https://loon.co/>

⁴⁶ Sistema de Posicionamiento Global (GPS del inglés *Global Positioning System*)

⁴⁷ Sitio BBC: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151029_tecnologia_google_proyect_loon_globos_ng

BharatNet⁴⁸

En octubre del 2011, el Gobierno de India aprobó la iniciativa de Banda Ancha de red ilimitada, BharatNet (*Bharat Broadband Network Limited*), para conectar a casi 625,000 aldeas a través de fibra óptica subterránea, aérea y conexión mediante satélite, la cual es incorporada a un vehículo de propósito especial llevando conectividad entre Gram Panchayats⁴⁹ y Blocks⁵⁰ para proporcionar banda ancha rural. Este proyecto cuenta con la colaboración de diferentes operadores privados de telecomunicaciones, quienes se han ofrecido para formar parte del proyecto gubernamental. BharatNet pretende reducir la brecha digital en áreas rurales y remotas de la India proporcionando infraestructura robusta y confiable para la proliferación de banda ancha asequible para el desarrollo socio-cultural del país.

Pure-Lifi

Pure-Lifi⁵¹ se estableció en 2012 en seguimiento a una investigación acerca de una tecnológica inalámbrica denominada Li-fi (Light Fidelity) que utiliza luz en lugar de frecuencias de radio para transmitir datos. Dicha investigación se llevaba a cabo desde el año 2008 en la Universidad de Edimburgo. La tecnología está respaldada por un ecosistema global de compañías (Imagen 31) que impulsan la adopción de LiFi, la empresa Pure-Lifi indica que esta tecnología está lista para una integración perfecta con sistemas 5G.



Imagen 31 Ecosistema Li-Fi de Pure Li-Fi.

Fuente: Pure Li-Fi.

⁴⁸ Sitio oficial de Bharatnet: <http://bharatnet.net/>

⁴⁹ Sistema de autogobierno local en la India a nivel de aldea o pequeña ciudad.

⁵⁰ Subdivisión de un distrito o desarrollo comunitario en la India.

⁵¹ Página oficial de Pure Li-Fi: <https://purelifi.com/>

Fuentes consultadas

- Agenda Conectar 2020 para el desarrollo mundial de las telecomunicaciones/TIC de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. https://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2014/62-es.aspx
- Bárcena Alicia; Prado Antonio; Abramo Laís, 2016 "La matriz de la desigualdad social en América Latina". Santo Domingo: Naciones Unidas - CEPAL
- Becvar Zdenek; Mach Pavel; Pravda Ivan, "Redes móviles". República Checa: České vysoké učení technické v Praze.
- Buckwell Matthew; Liberatore Francesco, 2018 "Cobertura rural: hacia el cierre de la brecha digital"
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_060320.pdf
- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias IFT. <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/actualizacioncnaf2018.pdf#overlay-context=espectro-radioelectrico/normatividad>
- Cuestión 10-3/2, 210-2014 "Telecomunicaciones/TIC para zonas rurales y distantes". Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Diario Oficial de la Federación, Ejemplar del día 01/10/2018 https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5539626&fecha=01/10/2018
- Gil, Pablo; Pomares, Jorge; Candelas, Francisco, 2010 "Redes y Transmisión de datos". España: Publicaciones de la Universidad de Alicante
- IMT en México. Más espectro para aplicaciones de Banda Ancha Inalámbrica IFT 2020. http://www.ift.org.mx/sites/default/files/imt_en_mexico_2020va.pdf
- Informes de ecosistema LTE: LTE Ecosystem Report: Status Update March 2020, Global Mobile Suppliers Association. <https://gsacom.com/paper/lte-user-devices-report-status-update-march-2020/>
- Iniciativa de Banda Ancha de red ilimitada BharatNet, <http://bharatnet.net/>
- Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. <http://www.ieee.org.mx/index.html>
- Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2018 "Anuario Estadístico 2018". <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/anuarioacc.pdf>

- Inventario de bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre IFT.
<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>
- ITU Publicaciones 2018, "Informe sobre la Medición de la Sociedad de la Información"
<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2018/MISR2018-ES-PDF-S.pdf>
- Jaago Foundation, Bangladesh. <https://jaago.com.bd/>
- Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61237/LFTR.pdf>
- Lineamientos Generales para el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el Título Cuarto de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.
<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/industria/lineamientos130219.pdf>
- Lineamientos generales sobre la autorización de arrendamiento de espectro radioeléctrico, IFT.
<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/4745/documentos/02-anexounico-lineamientosdearrendamientovplenoscc.pdf>
- Mapa de Satélites Geoestacionarios con Huella en México, IFT. <http://mapasatelital.ift.org.mx/>
- María Elena Villapol, 2010 "Introducción a las redes móviles e inalámbricas". Venezuela: Universidad Central de Venezuela; Facultad de Ciencias, Escuela de Computación Redes Móviles e Inalámbricas.
- Organización Internacional de Migraciones <https://www.iom.int/es>
- Programa Airband ISP, Estados Unidos <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/airband>
- Programa Broadband USA, NTIA, Estados Unidos <https://broadbandusa.ntia.doc.gov/>
- Programa Faster Broadband for Over 1 Million Rural Locations, FCC, Estados Unidos
<https://www.fcc.gov/document/fcc-incentivizes-faster-broadband-over-1-million-rural-locations>
- Programa Nacional de Banda Larga, Brasil. <https://www.siteal.iiep.unesco.org/bdnp/944/brasil-conectado-programa-nacional-banda-larga>
- Programa Nacional de Telecomunicaciones, Perú. <https://www.gob.pe/pronatel>
- Programas Anuales de uso y aprovechamiento de Bandas de Frecuencias IFT.
<http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/politicas-y-programas>
- Proyecto 4G TIM in the Field, Brasil. <https://spacewatch.global/tag/4g-tim-in-the-field/>
- Proyecto 5G Rural First. Reino Unido <https://www.5gruralfirst.org/>
- Proyecto First Nations in Canada, Canadá. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/eng/1307460755710/1536862806124>
- Proyecto Loon. <https://loon.com/>
- Proyecto Pure-Lifi. <https://purelifi.com/>

- Proyecto TV White Spaces, Microsoft, Jamaica. <http://whitespaces.microsoftspectrum.com/>
- Proyectos de Banda Ancha Para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de las Regiones Áncash, Arequipa, Huánuco, La Libertad, Pasco y San Martín, Perú. http://www.proinversion.gob.pe/banda-ancha/docs/TEASER%20TELECOMUNICACIONES_V2.pdf
- Registro Público de Concesiones del Instituto Federal de Telecomunicaciones disponible en el siguiente enlace: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc>
- Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. Disponible para su consulta en: <https://www.itu.int/es/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2016&media=electronic>
- Reygadas, L., 2008 "Tres matrices generadoras de desigualdades" En R. Cordera, P. Ramírez y A. Ziccardi (coords.). Pobreza urbana, desigualdad y exclusión social en la ciudad del siglo xxi (pp. 92-114). México: Siglo xxi y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rigby Pauline; Connolly Bull Eileen, 2018, "Ftth Handbook". Fibre to the Home Council Europe. <https://www.ftthcouncil.eu/>
- Sector Desarrollo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/es/ITU-D/Pages/About.aspx>
- Sector Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/es/ITU-T/about/Pages/default.aspx>
- Toudert, D., 2018 "Brecha digital, uso frecuente y aprovechamiento de Internet en México" (pp.1). México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Understanding the Digital Divide. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). 2001. <https://www.oecd.org/sti/1888451.pdf>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones <https://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>
- Algunos íconos diseñados por Freepik. Sitio disponible en la siguiente ubicación: <https://www.flaticon.es/>